UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID

TESIS

COMPORTAMIENTO MECANICO DE YESO REFORZADO CON POLIMEROS SINTETICOS

por

D. ALFONSO GARCIA SANTOS

ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE MADRID

Madrid, Enero 1988

Nº 25.241

...NICA DE MADRID
...ARQUITECTURA
...TECA

TE - 192

E. T. S. A. de M.
BIBLIOTECA

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID

TESIS

COMPORTAMIENTO MECANICO DE YESO REFORZADO CON POLIMEROS SINTETICOS

POR

D. ALFONSO GARCIA SANTOS

ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE MADRID

MADRID ENERO 1.988

RESUMEN.

RESUMEN.

Se presenta un estudio de la resistencia mecánica del yeso, basado en su refuerzo mediante la adición de polímeros sintéticos, en forma de fibras y dispersiones acuosas.

Se pretende mejorar las características mecánicas del yeso, entre cuyas cualidades se pueden enumerar las siguientes: abundancia en España, bajo coste energético, manejabilidad y propiedades de habitabilidad (acústicas, higrotérmicas, etc.). El aumento de las características mecánicas del yeso permite su utilización como elemento prefabricado laminar, con aplicación, en divisiones interiores, cielorrasos, etc.

La tesis plantea el refuerzo del yeso mediante la utilización de polímeros sintéticos, debido a que ambos materiales presentan un análogo sistema de cohesión en su nivel estructural, por medio de fuerzas de Van der Waals. Este sistema de cohesión es el responsable de la adherencia que se establece entre la matriz de yeso y las adiciones de refuerzo, que provoca la generación de cristales de dihidrato en la superficie de las fibras, consiguiendo una unión íntima de los dos materiales durante su fabricación.

Se realiza un estudio teórico sobre la estructura interna y propiedades de los polímeros sintéticos, que concluye en la selección de aquéllos que se consideran idóneos para su adición al yeso. Este estudio teórico se complementa: con el análisis de cada uno de los polímeros seleccionados en función del proceso de fabricación para

crear fibras o dispersiones, y con un estudio teórico sobre materiales reforzados que sienta los fundamentos que sirven de base para el análisis de resultados.

Se realiza un proceso experimental que comprueba el comportamiento conjunto de cada una de las adiciones previamente seleccionadas y conlleva la selección de la fibra y la dispersión idóneas, así como de su porcentaje óptimo.

Una vez seleccionada y optimizada la adición, se comprueba su idoneidad para la fabricación de placas y se realizan ensayos de resistencia a impacto y tracción.

ABSTRACT.

ABSTRACT.

A study on gypsum mechanical resistance is presented. It is based or its reinforcing by means of synthetic polymer addition, either in fiber or in watery dispersion forms.

The increase of gypsum mechanical characteristics is attempted, due to its relevant qualities like the following: abundace in Spain, low energetic cost, handliness, and household properties (acustical, higrotermical, etc.). The increase of gypsum mechanical characteristics allow its use as a laminar premanufactured element for its applications in interior divisions and handing-ceiling.

The thesis sets up the gypsum reinforcing by means of synthetic polymer use, as both materials show a similar cohesion system at its structural level, by means of Van der Waals forces. That cohesion system is responsible of the adherence established between the gypsum matrix and the reinforcing additions, producing dihydrate's crystals on the fiber surface and achieving a perfect union between both materials during its manufacturing.

A theoretical study on synthetic polymer internal structure and properties is carried out, concluding with the selection of the best to be added with the gypsum. This theoretical study is completd with: the analysis of each one of the selected polymers depending on the manofacturing process to make fibers or dispersion, and with a theoretical study of reinforced materials laying the theoretical fundamentals for the analysis of the results.

An experimental process is made, verifying the joint behaviour of each one of the previously selected aditions. It determines the proper fiber choice and dispersion, as well as this optimum porcentage.

After the aditions has been chosen and optimised, its qualification is tested both for panels and for impact and stress tests.

AGRADECIMIENTOS.

E. T. S. A. de M.
BIBLIOTECA

AGRADECIMIENTOS.

Con mi sincero agradecimiento y reconocimiento a todas aquellas personas que han contribuido, tanto humana como científicamente, a la realización de este trabajo.

Esta tesis ha sido realizada en la Cátedra de Materiales de Construcción del Departamento de Construcciones Arquitectónicas, de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, en el marco del proyecto "Modelo teórico de comportamiento mecánico del yeso con sus adiciones fibrosas y poliméricas", financiado por la C.A.I.C.Y.T., cuyo investigador principal es el Director de esta tesis Dr. D. Luis de Villanueva Domínguez. Director del Departamento, cuyo asesoramiento y orientación han sido fundamentales para el desarrollo del trabajo.

Agradezco a la arquitecto Dª. Elisenda Galcerán Solsona su colaboración en el desarrollo de esta tesis, tanto en la ayuda en la realización de los ensayos mecánicos, como en la recopilación, traducción y clasificación de la información bibliográfica.

Asimismo agradezco al Dr. D. José Schnell Hernández profesor titular del Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la ETSAM y a Dr. D. Rafael Talero Morales, investigador-colaborador del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y el Cemento por la realización de los ensayos químicos y la DRX. A la Drª. Dª. María Teresa Blanco Varela investigador-colaborador del Instituto Eduardo

Torroja de la Construcción y el Cemento por la realización de las micrografías del microscopio electrónico de barrido.

Agradezco también a las casas comerciales que me han suministrado los materiales con los cuales se ha podido desarrollar la parte experimental de esta tesis: Escayolas Marín, Propilán, Nurel, Hoechst, con especial reconocimiento a Dª. Alicia Martínez Jimenez, Licenciada en químicas de ésta última por sus apreciables comentarios sobre el comportamiento de las adiciones tensoactivas.

Por último agradezco la colaboración de mi hermano el Dr. D. Narciso García Santos, profesor titular del Departamento de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones de la E.T.S.I.T. por sus inestimables comentarios y apoyo.

INDICE.

1. INTRODUCCION

pág.

1.0.0. Generalidades..... 2

1.1.0. Situación actual del yeso y sus aplicaciones..... 3

1.1.1. Yesos especiales..... 3
1.1.2. Prefabricados de yeso..... 5

1.2.0. Nuevos materiales..... 6

1.2.1. Relación entre estructura interna y propiedades..... 7
1.2.2. Materiales reforzados..... 8

1.3.0. Yeso reforzado..... 9

1.3.1. Situación de la investigación..... 10
1.3.2. Aplicaciones..... 12

2. ENUNCIADO Y FUNDAMENTACION

2.0.0. Enunciado..... 14

2.1.0. Fundamentación..... 16

2.1.1. Elección de los materiales..... 16
2.1.2. Estados de agregación..... 17
2.1.3. Comportamiento conjunto..... 18

2.2.0. Metodología..... 19

3. MATERIALES REFORZADOS

3.0.0. Generalidades..... 23

3.1.0. Fundamentos..... 25

3.1.1. Concepto de fase..... 25
3.1.2. Superficies..... 27
3.1.3. Estado líquido..... 31
3.1.4. Relación entre líquidos..... 34
3.1.5. Relación líquido-sólido..... 35
3.1.6. Relación sólido-líquido-gas..... 37

3.2.0. Fenómenos superficiales..... 39

3.2.1. Humedecimiento y bañabilidad..... 40
3.2.2. Migraciones superficiales..... 41

3.3.0. Dispersiones..... 43

3.4.0. Adhesión..... 47

3.4.1. Adhesión específica..... 47
3.4.2. Adhesión mecánica..... 48
3.4.3. Fuerza de adhesión..... 48

3.5.0. Comportamiento conjunto..... 49

3.5.1. Elementos de refuerzo..... 50

pág.

4. YESO.

4.0.0. Generalidades 62

4.1.0. Estructura atómica 64

4.1.1. Sistema sulfato cálcico-agua 64
4.1.2. Fases del sistema 66
Dihidrato 66
Semihidrato 67
Anhidrita III 69
Anhidrita II 70
Anhidrita I 71
Yeso hidraúlico 72

4.2.0. Macroestructura 72

4.2.1. Disolución 73
4.2.2. Hidratación 76
Teorías 76

4.2.3. Crecimiento cristalino 78
Tipos de cristales 80
Velocidad de crecimiento 82

4.2.4. Resistencia mecánica 84
Adherencia 86
Mecanismo de adherencia 87

4.3.0. Adiciones 91

4.3.1. Fibras 91

4.3.2. Aditivos en disolución 93
Clasificación de los aditivos 94
Influencia de los polímeros sintéticos 96

4.4.0. Tipos de yesos comerciales 102

5. POLIMEROS SINTETICOS

5.0.0. Generalidades 106

5.1.0. Estructura molecular 107

5.1.1. Organización 107
Fuerzas de enlace 107
Estructura electrónica 108

5.1.2. Macromoléculas 111
Formación 111
Tipos de cadenas 112

5.1.3. Características generales de las moléculas 114
Tamaño 115
Heterogeneidad 116
Constitución 116
Variabilidad estructural 117
Conformación 118
Configuración 119
Polaridad 121

5.2.0. Macroestructura 123

5.2.1. Estructura amorfa 124
Termoplásticos 124
Termoestables 126

5.2.2. Estructura paracristalina 127
Cristalinidad molecular 128
Cristalinidad macromolecular 131

5.2.3. Estructura elastomérica 136
5.2.4. Movilidad molecular 138
Temperatura de transición vítrea 139

pág.

5.3.0. Propiedades 145

5.3.1. Comportamiento viscoelástico 145
Influencia de la temperatura 145
Influencia de la estructura 148
Rotura 150

5.3.2. Comportamiento superficial 152
5.3.3. Durabilidad 154
5.3.4. Comportamiento ante el fuego 156
5.3.5. Influencia del método de transformación 159
Fibras 160
Dispersiones 162

5.3.6. Aditivos 164
Cargas 167

5.4.0. Principales variedades de polímeros 170
Propiedades 172

5.5.0. Estudio comparativo y selección 177
Fibras 180
Dispersiones 182

6. FIBRAS POLIMERICAS

6.0.0. Generalidades 185

6.1.0. Polipropileno 186

6.1.1. Estructura molecular 186
6.1.2. Macroestructura 186
Estructura paracristalina 188

6.1.3. Comportamiento mecánico 189
Comportamiento viscoelástico 189
Transición vítrea 190
Relación entre tensiones y deformaciones 192

6.1.4. Propiedades superficiales 195
6.1.5. Comportamiento térmico 197
6.1.6. Propiedades químicas 199
6.1.7. Durabilidad 201
6.1.8. Procesos de transformación 202
6.1.9. Tipos de fibras 206
Fibras de retracción 206
Fibras elásticas 207
Microfilamentos 208
Fibras resistentes al deterioro superficial 209
Fibras con recuperación de la compresión 209

6.2.0. Poliéster 209

6.2.1. Estructura molecular 209
Componentes ácidos 211
Componentes alcohólicos 213
Monómeros de entrecruzamiento 213

6.2.2. Macroestructura 214
Poliésteres para formar fibras y películas 216
Estructura paracristalina 217

6.2.3. Comportamiento mecánico 219
Comportamiento viscoelástico 219
Transición vítrea 220
Relación entre tensiones y deformaciones 221

6.2.4. Propiedades superficiales 224
6.2.5. Comportamiento térmico 225
6.2.6. Propiedades químicas 226
6.2.7. Durabilidad 228
6.2.8. Procesos de transformación 229
6.2.9. Tipos de fibras 232

6.3.0. Acrílicas..... 234

6.3.1. Estructura molecular..... 234
6.3.2. Macroestructura..... 235
Estructura paracristalina..... 236

6.3.3. Comportamiento mecánico..... 237
Comportamiento viscoelástico..... 237
Transición vítrea..... 238
Relación entre tensiones y deformaciones..... 238

6.3.4. Propiedades superficiales..... 241
6.3.5. Comportamiento térmico..... 241
6.3.6. Propiedades químicas..... 242
6.3.7. Durabilidad..... 243
6.3.8. Procesos de transformación..... 244
6.3.9. Tipos de fibras..... 246

7. DISPERSIONES POLIMERICAS

7.0.0. Generalidades..... 249

7.1.0. Melamina-Formaldehido..... 250

7.1.1. Estructura molecular..... 250
7.1.2. Macroestructura..... 252
7.1.3. Propiedades..... 252

7.2.0. Acetato de polivinilo..... 253

7.2.1. Estructura molecular..... 253
7.2.2. Macroestructura..... 254
7.2.3. Propiedades..... 254

7.3.0. Acido Acrílico..... 256

7.3.1. Estructura molecular..... 256
7.3.2. Macroestructura..... 257
7.3.3. Propiedades..... 258

8. ENSAYOS.

8.0.0. Generalidades..... 261
8.1.0. Descripción de los ensayos..... 261

8.1.1. Condiciones generales de los ensayos..... 261
8.1.2. Confección de probetas..... 262
8.1.3. Ensayo de flexotracción..... 263
Probetas prismáticas..... 263
Placas..... 264
8.1.4. Ensayo de compresión..... 264
8.1.5. Ensayo de tracción..... 265
8.1.6. Ensayo de impacto..... 266
8.1.7. Porosidad..... 267
8.1.8. Tiempos de fraguado..... 267
8.1.9. Análisis químico..... 268
8.1.10. Difracción de rayos X (DRX)..... 270

8.2.0. Ensayos del yeso..... 271

8.2.1. Análisis químico..... 271
8.2.2. Difracción de rayos X (DRX)..... 272

8.3.0. Comportamiento conjunto..... 274

8.3.1. Ensayos previos de flexotracción
con probetas prismáticas..... 276
Resumen de resultados..... 288

8.3.2. Yeso con fibras. Ensayos de flexotracción
y compresión con probetas prismáticas..... 289
Acrílicas..... 290
Poliéster..... 300
Polipropileno..... 305

pág.

8.3.3. Yeso con dispersiones. Ensayos de flexotracción y compresión con probetas prismáticas..... 311
Policondensado de melamina-formaldehido..... 312
Acetato de polivinilo..... 328
Copolímero de ésteres de ácido acrílico..... 336

8.3.4. Mezclas. Ensayos de flexotracción y compresión con probetas prismáticas..... 344
Mezclas binarias de fibra acrílica..... 346
con melamina-formaldehido..... 347
con acetato de polivinilo..... 352
con ácido acrílico..... 357
Mezclas binarias de fibra de poliéster..... 362
con melamina-formaldehido..... 363
con acetato de polivinilo..... 369
con ácido acrílico..... 374
Mezclas binarias de fibra de polipropileno..... 379
con melamina-formaldehido..... 380
con acetato de polivinilo..... 385
con ácido acrílico..... 390

8.3.5. Resumen de resultados con probetas prismáticas. 395

8.3.6. Comprobación con placas a flexotracción..... 397

8.3.7. Comprobación con placas a impacto..... 400

8.3.8. Comprobación con ochos a tracción..... 402

8.3.9. Porosidad..... 405

8.3.10. Tiempos de fraguado..... 406

9. ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS.

9.0.0. Análisis de los ensayos previos..... 408

9.1.0. Análisis del comportamiento mecánico de agregados individuales..... 409

9.1.1. Fibras..... 409
Acrílicas..... 409
Poliéster..... 413
Polipropileno..... 417

9.1.2. Dispersiones..... 421
Melamina-formaldehido..... 421
Acetato de polivinilo..... 426
Acido acrílico..... 429

9.2.0. Análisis del comportamiento mecánico de mezclas binarias..... 432

9.2.1. Mezclas binarias con fibras acrílicas..... 432
Fibra acrílica con dispersión de Melamina-formaldehido..... 432
Fibra acrílica con dispersión de Acetato de polivinilo..... 433
Fibra acrílica con dispersión de Acido acrílico..... 434

9.2.2. Mezclas binarias con fibras de poliéster..... 439
Fibra de poliéster con dispersión de Melamina-formaldehido..... 439
Fibra de poliéster con dispersión de Acetato de polivinilo..... 440
Fibra de poliéster con dispersión de Acido acrílico..... 441

9.2.3. Mezclas binarias con fibras de polipropileno... 446
Fibra de polipropileno con dispersión de melamina-formaldehido..... 446
Fibra de polipropileno con dispersión de acetato de polivinilo..... 447
Fibra de polipropileno con dispersión de ácido acrílico..... 448

pág.

9.3.0. Análisis de las líneas de fractura..... 453

9.3.1. Mezclas binarias con fibras acrílicas..... 453
Fibra acrílica con dispersión de melamina-formaldehido..... 453
Fibra acrílica con dispersión de acetato de polivinilo..... 455
Fibra acrílica con dispersión de ácido acrílico..... 457

9.3.2. Mezclas binarias con fibras de poliéster..... 459
Fibra de poliéster con dispersión de melamina-formaldehido..... 459
Fibra de poliéster con dispersión de acetato de polivinilo..... 461
Fibra de poliéster con dispersión de ácido acrílico..... 463

9.3.3. Mezclas binarias con fibras de polipropileno... 464
Fibra de polipropileno con dispersión de melamina-formaldehido..... 464
Fibra de polipropileno con dispersión de acetato de polivinilo..... 467
Fibra de polipropileno con dispersión de ácido acrílico..... 469

9.4.0. Elección justificada del tipo y porcentaje idóneo de adición..... 471

9.5.0. Análisis en los ensayos de comprobación..... 473
Flexotracción de placas..... 473
Impacto..... 475
Tracción pura..... 477

9.6.0. Análisis de la adherencia entre matriz y agregados.... 479

9.7.0. Interpretación de resultados..... 484

9.7.1. Propiedades mecánicas..... 484
Influencia de las fibras..... 484
Influencia de la dispersión..... 485
Influencia conjunta..... 486

9.7.2. Dureza superficial..... 488
9.7.3. Tiempos de fraguado..... 489

10. CONCLUSIONES

10.0.0. Conclusiones..... 491

11. BIBLIOGRAFIA..... 493

1. INTRODUCCION.

1. INTRODUCCION

1.0.0. Generalidades.

El yeso es uno de los materiales de construcción más antiguos que se conocen, habiendo sido utilizado en las culturas mesopotámicas y en el antiguo Egipto como aparejo de las pirámides, y en particular la de Keops (según Choisy), siendo posteriormente su uso difundido por las culturas islámicas (Daligand lo fija en el año 600 a J.C.).

A pesar de su antigüedad este material sigue manteniendo actualidad debido a sus cualidades, de entre las cuales pueden enumerarse las siguientes:

- Abundancia en la naturaleza.
- Bajo coste de fabricación.
- Manejabilidad.
- Propiedades de habitabilidad (acústicas, higrotérmicas, etc.).

Estas características adquieren particular importancia en España, (que ocupa el quinto lugar mundial y el tercero Europeo en su utilización en construcción), ya que es de yeso aproximadamente el 12% de su superficie.

1.1.0. Situación actual del yeso y sus aplicaciones.

Durante los últimos años ha ido adquiriendo una importancia cada vez mayor la industria del yeso, buscando nuevas aplicaciones dentro del proceso constructivo.

Esta búsqueda de nuevas aplicaciones se realiza en dos líneas de investigación diferenciadas. Una de ellas pretende optimizar las propiedades del yeso adaptándolas específicamente a los nuevos usos. La otra línea actúa sobre el proceso tecnológico produciendo productos prefabricados que puedan ser incorporados a obra.

Subyace en todas estas investigaciones y nuevas realizaciones el mejorar las limitaciones existentes en algunas propiedades del yeso al optimizar la utilización deseada, necesitándose utilizar adiciones que produzcan el efecto deseado.

1.1.1. Yesos especiales.

Se denomina así en contraposición a los normales o usuales, a los yesos que adicionan o aditivan.

Aunque esta definición es globalizadora se suele a veces identificar con aquellos yesos que han sido mejorados en su trabajabilidad o específicamente permiten su proyección mecánica.

La adición se realiza con productos que por el efecto producido se pueden agrupar en: reforzantes, espesantes, modificadores del fraguado, retenedores de agua y fluidificantes.

Las actuales tendencias de adición se orientan en relación con la investigación en las siguientes líneas de mejora de las características del yeso.

- Aumento de resistencias mecánicas.
  Se consigue adicionando fibras. (1.3.0. Yeso reforzado).

- Aligeramiento.
  Se consigue adicionando áridos ligeros (incide en la trabajabilidad de la pasta).

- Hidrofugación.
  Tradicionalmente se aditivaba con cal, y actualmente se investiga el comportamiento de diversos productos químicos.

- Proyección.
  Se utilizan adiciones a base de retenedores de agua y retardadores del fraguado.

- Manuales de fraguado controlado o lento. Se utilizan retenedores de fraguado.

Además de la mejora de las características que pretenden las líneas de investigación enunciadas, se

prodrían citar los siguientes yesos especiales no normalizados en España.

- Yeso Alfa.
- Fosfoyeso.
- Adhesivos de yeso.
- Yeso para revestimientos exteriores.
- Yeso para guarnecidos de alta dureza.

1.1.2. Prefabricados de yeso.

La prefabricación de elementos de yeso se encuentra en gran expansión porque permite obtener productos de gran calidad a bajo coste.

Los elementos prefabricados de yeso pueden clasificarse en los siguientes grupos:

- Paneles de escayola, en sus dos diferentes versiones; tabiques y cielorasos.
- Placas de cartón-yeso.
- Escocias y elementos decorativos.

Los paneles de escayola presentan formas diferentes para las aplicaciones en tabiques o en cielorasos, pero el material en ambos casos está constituido por una escayola, que algunas veces se encuentra aditivada con fibra de vidrio para aumentar resistencia a flexotracción y a impacto.

Los paneles de cartón yeso consisten en un elemento sandwich de yeso, delimitado con dos cartones que determinan las características de la superficie, y contribuyen en gran medida a su resistencia. Estos paneles pueden ser elementos integrantes de diversos productos, incorporando aislamientos térmicos, fibra de vidrio, barrera de vapor, etc.

Los elementos decorativos son prefabricados de escayola con formas especiales destinadas a resolver juntas constructivas o producir decoraciones.

1.2.0. Nuevos materiales.

Actualmente se observa la aparición y creación de nuevos materiales que paulatinamente van siendo utilizados por la industria y la construcción.

El descubrimiento y la creación de nuevas aplicaciones sobre materiales, son debidas a la coordinación de lo que podrían denominarse; ciencias de aplicación como la arquitectura y las ingenierías; y la ciencia de materiales. Las primeras demandan necesidades que son satisfechas por medio de estudios específicos realizados en base a la naturaleza de los materiales, superando así el conocimiento y aplicaciones empíricas de éstos.

1.2.1. Relación entre estructura interna y propiedades

La contribución clave de la ciencia de materiales fue poner en relación las propiedades externas del material con su estructura interna.

Se aplicó a los materiales los descubrimientos de la física y la química sobre la disposición y configuración de sus componentes internos organizándose en tres niveles:

- Subatómico. (en relación con la localización y densidad electrónica y sus interacciones).
- Atómico. (llegando a la disposición precisa de átomos en redes cristalinas o agrupaciones paracristalinas).
- Estructural. (correspondiente a las grandes agrupaciones de átomos, bien por mecromoléculas o por aglomeraciones de átomos con la misma ordenación y características, siendo algunas veces reconocibles a simple vista).

La organización de los componentes de una material unida al tipo de elemento básico que lo integra, determinan las propiedades que el material poseerá, entendiendo por tales las respuestas características ante estímulos externos, así como la manera en que las interacciones mútuas entre los elementos básicos y sus posibles organizaciones se ven afectadas por el proceso de elaboración.

En base a un estudio particularizado de los componentes de un material, de las interacciones que puede realizar con su entorno próximo (a nivel subatómico, atómico

o estructural) y al proceso de elaboración, pueden predecirse las propiedades que el material poseerá, comprobándose éstas posteriormente una vez fabricado.

La aplicación de los conocimientos de ciencia de materiales permite seleccionar teóricamente en función de los requerimientos que se pretenden satisfacer, los elementos que deben integrar el nuevo material, reduciendo los procesos experimentales a comprobaciones y perfeccionamiento de los sistemas de elaboración.

1.2.2. Materiales reforzados.

Los materiales reforzados presentan un punto de referencia para la creación de nuevos materiales, aprovechando las ventajas que muchos materiales presentan en forma de fibra, e introduciendo éstas en una matriz de diferente materia.

Cuando se produce un material en pequeñas partículas o fibras, su resistencia útil se multiplica. Este notable aumento de resistencia a pequeñas escalas es en parte un fenómeno estadístico, (la probabilidad de que una muestra de material contenga un defecto suficiente para provocar una rotura disminuye a medida que se reduce el tamaño de la muestra). Además, si se rompe una fibra la grieta no se propaga y el resto de las fibras permanece intacto. Por el contrario, si se trata de una cantidad similar de material macizo la grieta inicial se expandirá hasta desencadenar la rotura total.

Esta idea del mejor comportamiento de muchos materiales en forma de fibras es válida tmabién para la mayoría de los polímeros orgánicos. Como se analiza en el capítulo 5 (Polímeros sintéticos) las moléculas de los polímeros termoplásticos están constituidas por largas cadenas de átomos de carbono unidos por enlaces covalentes. Estas cadenas se unen entre sí por fuerzas débiles de Van der Waals por lo que pueden separarse con facilidad, dando lugar a materiales poco resistentes. Pero si las cadenas están orientadas en la dirección de la tensión, dan lugar a fibras cuya resistencia es debida a la naturaleza del enlace covalente, siendo por tanto muy resistentes.

La resistencia del material reforzado frente a la tensión es el resultado de un efecto sinergético entre la fibra y matriz, debido a la complementaridad entre las propiedades de ambas y la compatibilidad necesaria para permitir el trabajo conjunto. Por ello es necesario realizar un análisis de compatibilidad en función del contacto que se establece entre sus superficies de todos los componentes de un material reforzado.

1.3.0. Yeso reforzado.

Al producirse un reforzamiento del yeso, éste asume las características de matriz, contribuyendo con sus propiedades a las genéricas del material resultante (aspecto, conductividad eléctrica, etc.).

La estructura interna del yeso (agregado policristalino laminar unido por enlaces secundarios) condiciona en gran medida el comportamiento del material reforzado, al tener que absorber las tensiones internas únicamente mediante enlaces de Van der Waals.

1.3.1. Situación de la investigación.

La investigación sobre procedimientos de reforzamiento del yeso pretende conseguir un aumento de las fuerzas de cohesión intercristalinas que traigan como resultado un aumento de su capacidad resistente.

Debido a las características específicas del material, que se analizan en el capítulo 4 (Yeso), las líneas de investigación pueden estructurarse en los siguientes grupos:

- Refuerzo del yeso por disminución de la separación entre cristales, aumentando la compactación del material por disminución de su porosidad interna. Se consigue disminuyendo la relación agua/yeso de amasado.

- Refuerzo del yeso aumentando la fuerza de cohesión intercristalina. Se consigue añadiendo productos químicos denominados tensoactivos que logran modificar los estados de energía superficial de los componentes, facilitando los fenómenos de adhesión (3.2.0. Fenómenos superficiales).

- Refuerzo del yeso introduciendo materiales en forma de fibras distribuidas homogéneamente en el interior de la matriz cuya función es absorber las tensiones internas que puedan generarse en el interior del material, utilizandose fibra de vidrio (GRG) con gran preferencia.

Asimismo es posible coordinar entre sí los diferentes métodos de refuerzo con el fin de conseguir mejores resultados. En esta línea es interesante observar las investigaciones iniciadas por Karni, J. (107) combinando refuerzos de fibra de vidrio con dispersiones poliméricas y variaciones de la relación agua-yeso.

El origen de las fibras de refuerzo, puede ser animal, vegetal que se van sustituyendo por fibras de origen mineral, o sintético. De entre las fibras minerales son preferidas para las investigaciones las fibras de vidrio debido a sus mejores propiedades respecto a las tradicionales.

La investigación realizada en esta tesis, utilizando fibras y dispersiones de origen sintético se encuentra inserta como una parte del proyecto "Modelo teórico de comportamiento mecánico del yeso con sus adiciones fibrosas y poliméricas" financiado por la C.A.I.C.Y.T. (Comisión de Asesoramiento de Investigación Científica y Técnica del M.E.C.) cuyo investigador principal es el Director de esta tesis D. Luis de Villanueva Dominguez.

1.3.2. Aplicaciones.

La aplicación de elementos de yeso reforzados se centra principalmente en la creación de elementos prefabricados para su utilización en la realización de divisiones interiores y cielorrasos. Estos elementos prefabricados intentan mejorar las características resistentes del yeso ante esfuerzos de flexotracción o impacto, y aumentando su resistencia al agua que permita la realización de núcleos técnicos en locales húmedos.

2. ENUNCIADO Y FUNDAMENTACION.

2. ENUNCIADO Y FUNDAMENTACION

2.0.0. Enunciado.

Actualmente la investigación sobre aumentos de resistencia mecánica del yeso se centra preferentemente en su refuerzo con fibra de vidrio (G.R.G. Glass reinforced gypsum) como analogía de las investigacion es realizadas con cementos y morteros (G.R.C. Glass reinforced concret).

Dado el carácter secundario que el yeso posee en el proceso constructivo, y debido a ser un conglomerante, las investigaciones que con él se desarrollan pretenden basarse en las previamente realizadas con el cemento y sus derivados, comprobando posteriormente por analogía los resultados obtenidos con éstos sin profundizar en la diferente estructura de la materia que ambos presentan (agrupación cristalina el yeso y gel de estructura rígida con inclusiones cristalinas en el caso del cemento hidratado).

El refuerzo del yeso debe basarse en un estudio de la naturaleza del yeso en sus tres niveles, subatómico, atómico y estructural (capítulo 4. Yeso) que clarifique los mecanismos de formación. En base a estos mecanismos y a los fenómenos fisico-químicos que suceden entre las superficies de los materiales que están en contacto (capítulo 3. Materiales reforzados) se debe producir la selección del material de refuerzo, comprobándose posteriormente mediante ensayos la idoneidad de la selección realizada.

La tesis plantea el refuerzo del yeso mediante la utilización de polímeros sintéticos debido a que ambos materiales presentan un análogo sistema de cohesión en su nivel estructural, por medio de fuerzas de enlace secundario como se analiza en sus capítulos correspondientes (4.1.0. Estructura atómica del yeso y 5.1.0. Estructura molecular de los polímeros sintéticos). Estas fuerzas secundarias que los polímeros sintéticos presentan (denominada polaridad) provoca la generación de cristales de yeso en su superficie, consiguiendo una unión íntima entre los dos materiales durante su fabricación.

Cuantitativamente esta unión sería mayor cuando mayor sea la generación de núcleos de yeso en su superficie, y ésta será mayor cuanto más diferencia exista entre las tensiones superficiales del yeso y del polímero sintético (3.1.5. Relación líquido-sólido y 3.2.0. Fenómenos superficiales), lo que nos servirá para la selección de los tipos de polímero que se añaden para su comprobación práctica (5.5.0. Estudio comparativo y selección).

Esta unión puede optimizarse aprovechando el efecto Gibbs (3.2.2. Migraciones superficiales), utilizando dispersiones poliméricas denominadas tensoactivos que aumenten la diferencia entre las tensiones superficiales de los materiales integrantes.

2.1.0. Fundamentación.

El comportamiento mecánico del yeso reforzado con polímeros sintéticos, está basado en una unión interna de los componentes durante su fabricación en función de las relaciones que se establecen entre ellos, y en las características específicas aportadas por los materiales que entran a formar parte.

Debido a esto se analizan los materiales básicos, individual y separadamente, y los fenómenos fisico-químicos que se generan, desde una óptica analítica y de aplicación a los materiales reforzados.

Se pretende mediante el refuerzo del yeso producir un aumento de sus campos de aplicación (1.3.0. Yeso reforzado) permitiendo su inclusión dentro del proceso constructivo como elemento industrializado con forma de placa o panel (1.3.2. Aplicaciones).

Las utilizaciones abarcan desde su uso en interiores para divisiones de espacios, cielorrasos, etc.; hasta su uso en exteriores como tableros de cubierta y como revestimentos verticales.

2.1.1. Elección de los materiales.

Se utiliza al yeso como componente principal o matriz debido a sus cualidades (1.0.0. Generalidades) encargándose de proporcionar, tanto la forma final del producto, como

aquellas propiedades que permanecen en el producto final debido a su mayor contribución de volumen como agregado.

La elección de los polímeros sintéticos como componentes secundarios o agregados está basada en el análogo sistema de cohesión en el nivel estructural que ambos poseen (yeso y polímeros) y en las siguientes propiedades genéricas:

- Altos valores de resistencia mecánica molecular.
- Bajos valores de energía superficial.
- Posibilidad de producir ordenaciones moleculares coincidentes con una dirección o plano determinado.
- Altos valores de adherencia en determinadas condiciones.
- Presencia en su superficie de enlaces secundarios únicamente.

2.1.2. Estados de agregación.

Los polímeros sintéticos pueden ser agregados en estado sólido en forma de fibra, o en estado líquido mediante dispersiones, aprovechando las propiedades de éstos: altos valores de resistencia en la dirección de la fibra, si ésta es coincidente con la dirección de la estructura molecular; y bajos valores de energía superficial en gran parte de ellos que facilitan las posibilidades de adherencia.

E. T. S. A. de M.
BIBLIO

La agregación de los polímeros sintéticos aporta los valores de resistencia mecánica por medio de los valores de adherencia interpuestos entre los cristales de yeso, y entre éstos y las fibras, formando un conjunto unitario con características de sólido polifásico.

En la jerarquización de funciones necesaria en un material reforzado se asigna a las fibras poliméricas la necesidad de absorber las tensiones internas de tracción que la estructura cristalina del yeso es incapaz de resistir, y a las dispersiones la necesidad de aportar la bañabilidad íntima entre los cristales de yeso y entre éstos y las fibras poliméricas.

2.1.3. Comportamiento conjunto.

Si bien el comportamiento conjunto no va a presentar grandes complicaciones desde una óptica química (al actuar entre ellos únicamente enlaces secundarios), desde una óptica físico-mecánica presentarán una problemática específica en cuanto a:

- Adherencia mútua. Relacionada directamente en las dispersiones con las fuerzas electrostáticas que se generan entre la estructura cristalina del yeso y las moléculas del polímero, y en las fibras además por la relación física de tamaños entre la fibra y la *estructura cristalina del yeso.*
- Modificación de la estructura del yeso y de su comportamiento intrínseco, al actuar estas fuerzas

electrostáticas desde el inicio del proceso de cristalización y crecimiento de cristales.

- Deformación armónica bajo carga, relacionada con los sistemas estructurales de absorción de energía, y de adherencia mútua del material reforzado. Viscoelástica en los polímeros sintéticos. Acoplamiento entre cristales y deformación elástica de éstos en el yeso.
- Variación del comportamiento higrotérmico del yeso debido a la disminución de la porosidad, provocada por el relleno de los espacios intercristalinos por moléculas de polímero, disminuyendo su capacidad de absorción de agua en estado líquido, e impidiendo su entumecimiento.
- Aumento de la superficie de contacto de los agregados cristalinos del yeso al disminuir la porosidad interna, conllevando un aumento de las resistencias mecánicas.
- Distribución de los agregados fibrosos para posibilitar una especialización en la absorción de tensiones internas, tracción para las fibras y compresión para el agregado cristalino de yeso.
- Optimización de las cantidades de cada agregado en base a un análisis de los diagramas tensión-deformación-plastificación-rotura.

2.2.0. Metodología.

Esta surge de las conclusiones obtenidas durante los años de docencia de materiales de construcción profundizando en el estudio de ciencia de materiales, estableciendo las

relaciones entre la estructura de la materia y las propiedades de los materiales que conforman.

La tesis realiza un estudio pormenorizado del comportamiento teórico de los materiales reforzados (capítulo 3) fijando las bases de referencia del proceso, y de los fenómenos físico-químicos que van a producirse (3.2.0. Fenómenos superficiales), fundamentando los fenómenos de adherencia en base a las tensiones superficiales de los agregados (3.4.0. Adhesión) producidas por la energía superficial de los límites de cada fase existente, en función de la superficie de cada elemento constitutivo. El comportamiento conjunto depende de las relaciones entre agregados (3.5.0. Comportamiento conjunto) pero también de las propiedades intrínsecas de cada uno de ellos y del estado físico que poseen en el momento de producirse ésta, por lo que es necesario realizar un estudio pormenorizado de los componentes (4. Yeso; 5. Polímeros sintéticos).

Del yeso necesitamos describir su naturaleza química (4.1.0.), su estructura física (4.2.0.) y su proceso de formación durante los fenómenos de hidratación (4.2.2.), el comportamiento mecánico una vez fraguado (4.2.4.) y los factores que lo alteran, con la influencia de los parámetros externos como adiciones (4.3.0.), etc.

En los polímeros sintéticos debido a su gran variedad es necesario estudiarlos desde una óptica general,

descendiendo paulatinamente hasta cada uno de ellos, para poder realizar una relación de aquellos que añadidos al proceso de hidratación del yeso, sean capaces de producir los fenómenos anteriormente expuestos. Para ellos necesitamos conocer la naturaleza química (5.1.0.), las posibilidades de formación de estructuras (5.2.0.), el comportamiento mecánico y los fenómenos físicos que lo modifican, la influencia que producen los parámetros externos y el método de transformación (5.3.0.), y por último los tipos de polímeros existentes y sus propiedades genéricas (5.4.0.).

Una vez conocido el mecanismo interno de funcionamiento de los componentes es necesario estudiarlos como agregados, para lo cual es necesario conocer la estructura de cada uno de ellos.

Es necesario conocer el tipo de composición del yeso comercial (4.4.0.), el tamaño del grano, los tiempos de fraguado, etc., y en los polímeros las propiedades y forma de las fibras (capítulo 6) y las propiedades de las dispersiones (capítulo 7) con la configuración molecular y cargas que posea el producto polimérico que se agrega de entre los relacionados.

Definidos teóricamente los fenómenos que intervienen en la agregación de los componentes se realiza una serie de ensayos que comprueban los planteamientos enunciados anteriormente.

3. MATERIALES REFORZADOS.

3. MATERIALES REFORZADOS.

3.0.0. Generalidades.

Es interesante analizar el término de "material reforzado" cuyo significado hace referencia al fin que se persigue, aumentar los valores de resistencia mecánica del nuevo producto

Genéricamente puede hablarse de un producto realizado en base a una mezcla de diversos materiales, que aportan características diferenciadas, consiguiendo un comportamiento conjunto.

El término usualmente utilizado en inglés y francés es el de "composite materials" o "materiaux composites", respectivamente, que surgen como evolución de la palabra "composit", cuyo significado es orden compuesto, referido a la arquitectura.

En español el término no se encuentra claramente definido, pudiéndose hablar de materiales compuestos, complejos, híbridos o combinados, dependiendo del fin perseguido y de las características del nuevo material.

El término "compuesto" hace referencia en su acepción química a "radical compuesto", y en nuestro caso a "agregado de cosas que componen un todo", y "agregado" a "conjunto de cosas homogéneas que se consideran formando un cuerpo.

El término "complejo" se define como "conjunto o unión de dos o más cosas", "dícese de lo que se compone de elementos diversos".

El término "híbrido" hace referencia a "todo lo que es producto de elementos de distinta naturaleza", "producto" se utiliza en el sentido de "fabricar o elaborar cosas útiles", y "naturaleza" como "esencia y propiedad característica de cada ser".

"Combinar" significa "unir cosas diversas de manera que formen un compuesto agregado".

De todos ellos, combinar hace referencia a la acción de unir o mezclar, complejo no condiciona la consecución de una unión íntima que es buscada por estos materiales, compuesto parece el término más adecuado ya que condiciona la consecución de un "todo" por mezcla de agregados y obliga a que éstos sean homogéneos e híbridos, sin embargo implica proceso de elaboración y permite que los elementos sean de distinta naturaleza.

En el caso del yeso reforzado con polímeros sintéticos podría hblarse estrictamente de material "híbrido", ya que el origén de la matriz es mineral y el del refuerzo es sintético, aunque también es válida la utilización del término "material compuesto".

3.1.0. Fundamentos.

El comportamiento conjunto de los materiales reforzados depende tanto de las propiedades intrínsecas de cada agregado, del estado físico que posean en el momento de producirse la agregación (que se analizarán en los capítulos 4, 5, 6 y 7), como de las relaciones que se establezcan entre ellos, fundamentando los fenómenos de adherencia en base a las tensiones superficiales de los agregados, producidas por la energía superficial de los límites de cada fase existente, en función de la superficie de cada elemento constitutivo.

El análisis se realiza de modo genérico, definiendo conceptos que posteriormente serán de aplicación en el estudio del comportamiento conjunto de los agregados.

Debido a que los diversos agregados tendrán que ser incorporados al polvo de yeso y participar de todo el proceso de fraguado de éste, produciendo un conjunto unitario en presencia de agua, es necesario estudiar de modo genérico los fenómenos que suceden entre las superficies de los diversos estados de la materia (sólido y líquido).

3.1.1. Concepto de fase.

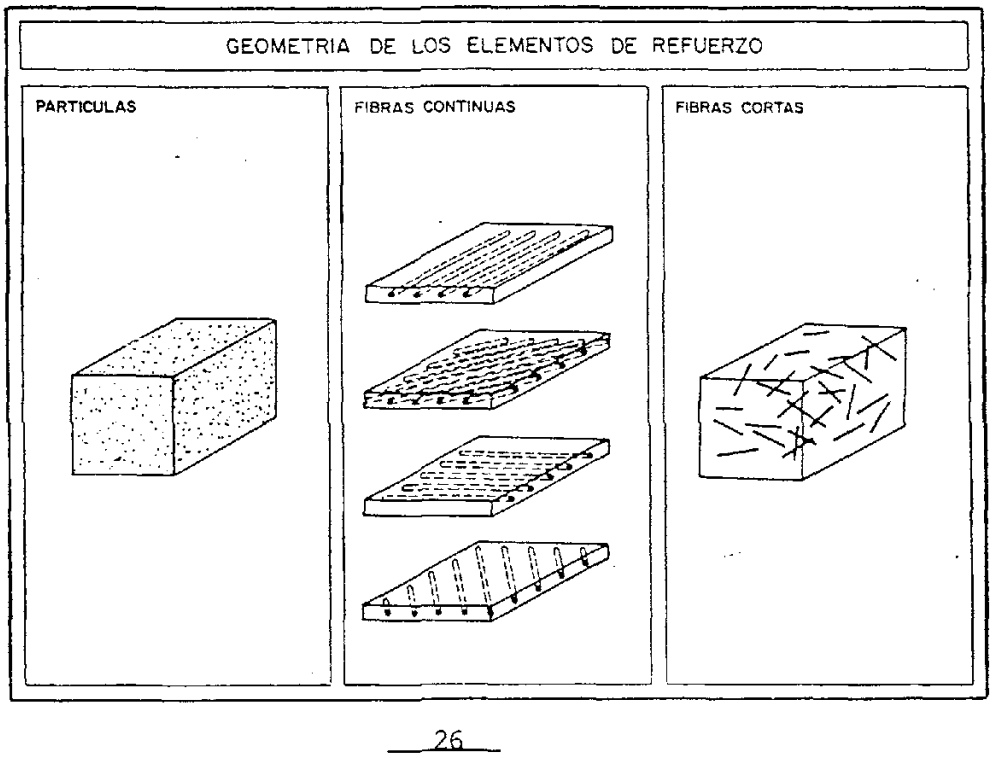
Para estudiar estos efectos necesitamos definir el concepto de fase como una porción homogénea de materia con una determinada estructura física y química diferenciada.

Cada fase tiene una estructura de ordenación de la materia (cristalina, vítrea, amorfa, etc.) y una composición química, que la hacen diferente de las demás.

Un sólido es monofásico si presenta únicamente una fase, estando dotado de la misma estructura físico-química en todos sus puntos; y es polifásico si posee más de una fase, siendo el caso más frecuente.

En los materiales polifásicos, las fases pueden estar mezcladas formando soluciones, o reunidas formando compuestos. Pueden también estar formando sistema, de forma que la variación de cada una de las fases influya en un cambio radical de las propiedades específicas del material.

En caso de que las fases no formen sistema, el comportamiento del material dependerá: de la naturaleza de cada elemento que lo constituya, de su proporción, del tamaño, de la forma, de la homogeneidad de su distribución, y de la orientación que presenten.



Debido al contacto directo entre las superficies, es necesario conocer el mecanismo de formación de cada uno de los agregados, su comportamiento superficial, así como las variables que lo puedan modificar.

3.1.2. Superficies.

Se entiende la superficie de un material como el límite de su estado.

Si se encuentran dos materiales en contacto, independientemente del estado físico en que se encuentren (sólido, líquido, o gas), la superficie que exista entre ellos será el límite entre sus fases.

En un sistema heterogéneo, los límites son de importancia fundamental para el comportamiento del sistema como totalidad, fijando las tareas de los fenómenos de adhesión, emulsión, etc.

Consideraciones geométricas simples demuestran que una superficie existe nada más que entre dos fases. Tres o más fases pueden tener una línea en común, pero no una superficie. Este hecho simplifica el tratamiento teórico de los sistemas complejos, reduciendo el análisis al estudio de binomios.

Existen por tanto cinco tipos de enfrentamientos de fases.

1) Líquido-gas.
2) Sólido-gas.
3) Sólido-líquido.
4) Sólido-sólido.
5) Líquido-líquido.

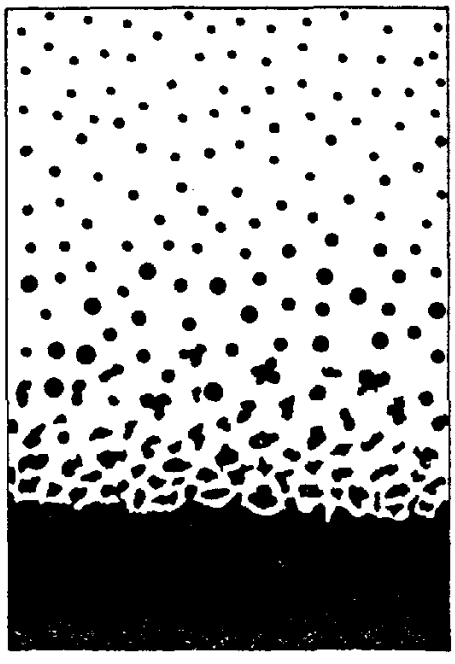
De entre ellas estudiaremos únicamente las que involucran al estado líquido, por ser a través del agua donde se producirá el material compuesto.

La relación entre superficies se fundamenta en tres principios generales que posteriormente desarrollaremos.

a) La transición de una fase a otra es un fenómeno superficial.
b) La superficie está relacionada con la existencia de energía libre.
c) La superficie está relacionada con la existencia de un potencial eléctrico.

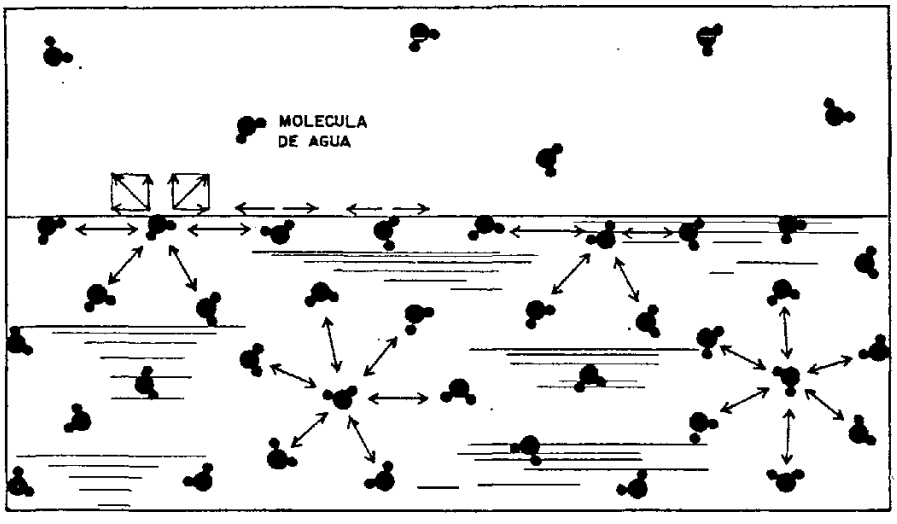
La transición entre fases involucra normalmente a un gran número de moléculas, existiendo a temperaturas ambientales un gran intercambio.

El espesor del límite entre fases es estáticamente no mayor de una o dos moléculas.



El segundo principio hace referencia a la energía de enlaces no estabilizada. Enlaces que tienen que compensarse con otros exteriores a la fase y que se encuentren en circunstancias análogas.

Esta energía es matemática y dimensionalmente equivalente a una tensión superficial; por ello los términos de energía superficial y tensión superficial son usados indistintamente. La tensión superficial es el resultado de los campos de fuerzas que actúan en las moléculas superficiales.



Representación grafica de los enlaces superficiales no estabilizados que provocan los fenomenos de tensión superficial

Los bajos valores de energía superficial están asociados a los límites de fases fáciles de formar, y a los pares de fases equilibrados, que por ello son difícilmente separables.

El tercer principio hace referencia a la diferente energía de enlace que posee cada sistema para permanecer en equilibrio, que se manifiesta por una diferencia de potencial entre cada fase. (aunque pueden existir casos, en que la energía de enlace de ambos sistemas sea la misma, y no exista diferencia de potencial observable).

La existencia de esta diferencia de energía de enlace es importante para entender el funcionamiento de las dispersiones y suspensiones, en donde las fases están muy finamente divididas y existe por tanto una gran superficie de contacto. Si estas partículas están cargadas, se pueden producir fenómenos electrolíticos.

Las características de energía y carga superficial de un sistema están influidas, en general, por variables termodinámicas (temperatura y presión) y principalmente por las características químicas de los componentes de cada fase.

Las características de la carga pueden ser modificadas por la adición al sistema de componentes solubles iónicos.

3.1.3. Estado líquido.

Los líquidos se diferencian de los sólidos en la libertad de movimiento molecular. Las moléculas en el estado líquido cambian contínuamente sus posiciones relativas, al contrario que en el sólido, donde éstas están fijas, pudiendo únicamente vibrar en función de la temperatura.

Todas las moléculas ejercen una fuerza atractiva entre ellas. Esta atracción molecular es contrarrestrada por la agitación térmica existente.

Estas fuerzas atractivas son debidas a fuerzas de Van der Waals, cuya eficacia va en aumento según se van reduciendolas distancias intermoleculares, pudiéndose considerar que varían inversamente a la sexta potencia de la distancia; al contrario que las fuerzas de tipo culombiano, que son efectivas también a grandes distancias.

Estas fuerzas de Van der Waals son las responsables de las desviaciones de las leyes de los gases perfectos

F. T. y S. de d. M.
BIBLIOTECA

los efectos de Joule-Thompson, y de la cohesión del estado líquido. También contribuyen las fuerzas de atracción electrostáticas en el caso de existir iones o dipolos, pero la acción combinada de ambas puede denominarse indistintamente por unas u otras.

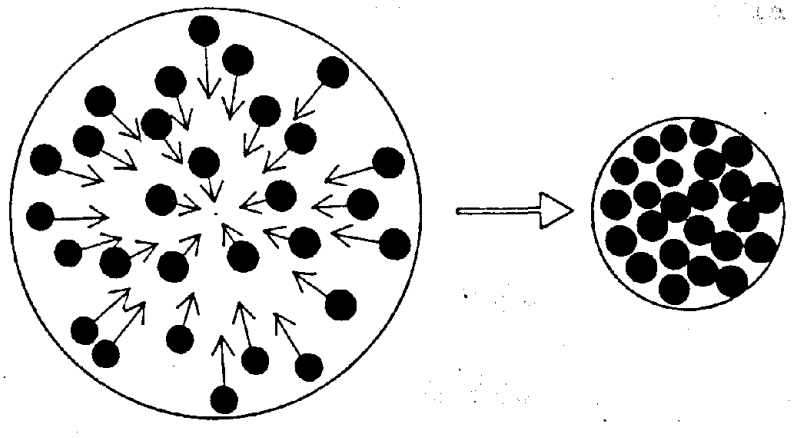
Una molécula individual en el interior de un líquido está sometida a un campo de fuerzas de atracción con sus vecinos y a una vibración dependiente de la temperatura. Se puede suponer que el campo de fuerza será por término medio, y durante un período relativamente corto de tiempo, esféricamente simétrico, considerando que la molécula en cuestión es el centro de la esfera.

En el interior del líquido la resultante de estos campos de fuerzas es nula, existiendo un equilibrio mientras el líquido esté en reposo.

En la superficie del líquido, sin embargo, no existe equilibrio de fuerzas. Del lado del líquido la atracción de las otras moléculas es similar al interior, mientras que en la superficie sólo existe la atracción de las moléculas de gas, que se encuentran muy espaciadas.

Como la densidad molecular de la fase líquida es del orden de mil veces mayor que la de la fase gaseosa, las fuerzas de Van der Waals prácticamente no actúan; luego, la atracción de líquido ejercida por el aire es de escasa importancia.

Existe una fuerza resultante en cada molécula superficial tendente a empujarla perpendicularmente hacia el interior. Esta resultante actúa de tal forma, que la superficie tiende a asumir la forma que presente menor área.



La fuerza resultante no estabilizada en la superficie tiende a comprimir al líquido, asumiendo éste la forma que presente menor superficie.

En un líquido cuya superficie ha sido sometida a un proceso de agitado por una acción mecánica externa, se produce una migración molecular oscilante, mayor en el exterior que en el interior.

Estas oscilaciones continuan disminuyendo paulatinamente el recorrido molecular, hasta que se reduce la superficie de la fase líquida a su mínimo valor, momento en que se restablece el equilibrio.

Los factores externos influyen en el estado de equilibrio: acciones exteriores, gravedad, influencia del recipiente, etc. Si el líquido es una gota en caida libre en el vacío, o si está suspendido en otro líquido de la misma

densidad, asumirá una forma esférica por ser la que presenta la mínima superficie por unidad de volumen.

Para expandir una superficie hace falta suministrar una energía equivalente o mayor a la resultante superficial del sistema, que manifiesta una tendencia a la contracción, generando una presión en el interior.

Esta energía se puede medir aportando energía calorífuga hasta producir la vaporización de las moléculas superficiales.

En valor absoluto esta energía coincide con la tensión superficial. Las superficies actúan como si una fuerza estuviera siendo ejercida tangencialmente a ellas, como si existiera una capa superficial comprimida en la superficie del líquido que produce su minimización.

3.1.4. Relación entre líquidos.

Cuando se mezclan dos líquidos insolubles entre sí, los límites enfrentados tendrán unas características semejantes, con una energía libre asociada a cada unidad de área, opuestas y contrarias.

La mezcla sólo puede existir asociada a límites entre líquidos, siempre que las fuerzas cohesivas de ambos sean mayores que la resultante superficial.

Una regla general propuesta por Antonoff establece que cuando dos líquidos se encuentran saturados entre sí, la tensión superficial entre las fases es igual a la diferencia entre las tensiones superficiales medidas separadamente. Por tanto podríamos decir que dos fases se mantienen unidas en función de la diferencia de tensiones superficiales, estando la fuerza de unión directamente relacionada con esta diferencia.

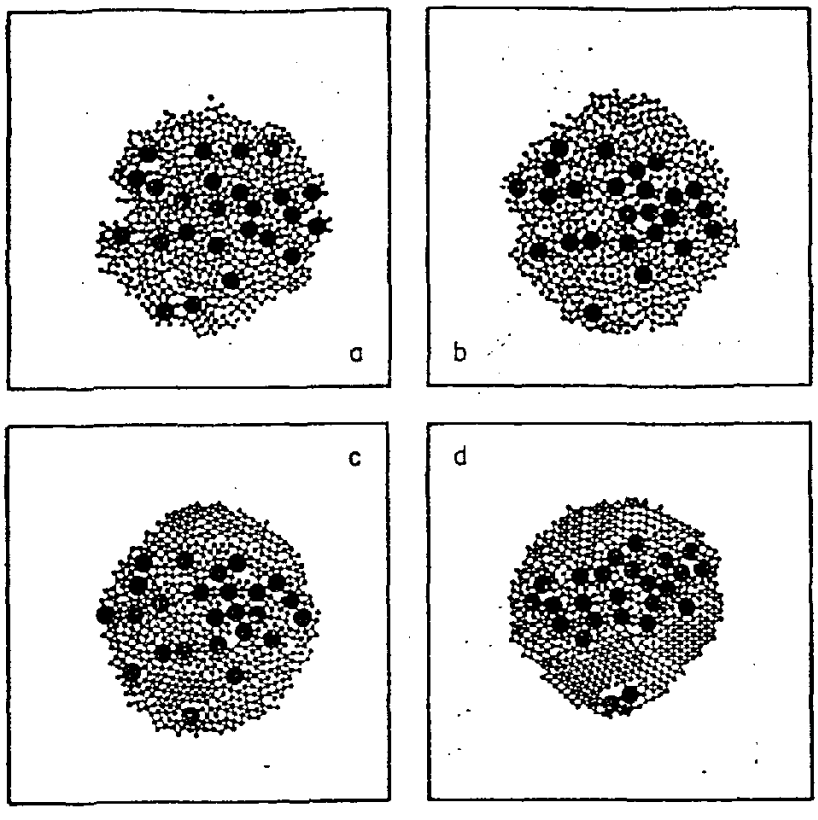
Esta regla nos sirve para analizar los fenómenos que suceden entre las superficies de un sólido y un líquido, fundamentar los fenómenos de adherencia, y predecir el comportamiento conjunto de los agregados.

3.1.5. Relación Líquido-Sólido.

Las superficies de los sólidos, como las de los líquidos, poseen una energía libre debida a los desequilibrios existentes en el sistema de fuerzas superficiales.

En condiciones normales la mayoría de los sólidos nunca alcanzan una igualdad superficial de condiciones, como los líquidos, variando la energía superficial de un punto a otro.

La diferencia entre los valores de tensión superficial en diversas zonas está directamente relacionada con la estructura del sólido, siendo estos valores más dispares cuanto más policristalina, y menos cuanto más amorfa sea.



a:- ESTRUCTURA AMORFA (Valores homogéneos de tensión superficial)
b,c:- ESTRUCTURAS INTERMEDIAS (Valores de tensión superficial en dispersión creciente)
d:- ESTRUCTURA POLICRISTALINA (Valores diferentes de tensión superficial)

En la superficie de un sólido las moléculas permanecen fijas en sus posiciones, viéndose modificadas las propiedades de la verdadera superficie limpia por: la suciedad, materiales adheridos y el desgaste superficial.

La energía superficial libre en los sólidos se puede obtener por comparación con la energía de cambio al estado líquido; o por métodos indirectos, por no existir buenos métodos directos.

Como las distancias intermoleculares son parecidas entre sólidos y líquidos, las fuerzas de Van der Waals serán de órdenes de magnitud muy próximos.

Por ello podemos deducir que la energía superficial de ambos estados será muy parecida, y únicamente la alta entalpía de la fase líquida puede provocar la menor energía superficial de éstos.

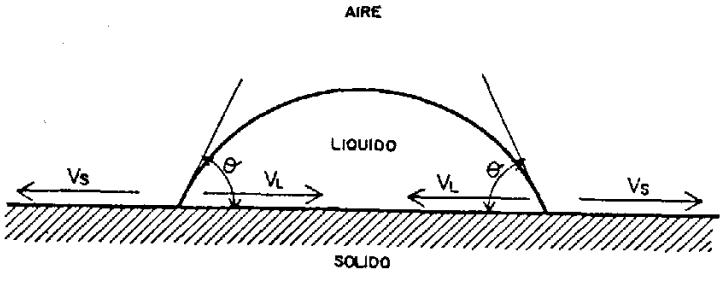
Cuando se ponen en contacto las superficies de un líquido y de un sólido insoluble, las moléculas de ambas fases se atraen, a lo largo de toda la superficie de contacto. Esta atracción permite suponer que de modo genérico existe una diferencia de tensiones superficiales de cada fase.

Aunque el conjunto molecular entre sólido y líquido es diferente del conjunto entre líquidos, se pueden aplicar las conclusiones obtenidas anteriormente, por ser estáticas las condiciones del lado del sólido y prácticamente no existir intercambios moleculares.

3.1.6. Relación sólido-líquido-gas.

A pesar de que en una misma superficie no pueden coexistir tres fases distintas, es interesante analizar los fenómenos que se establecen entre estas tres fases.

Para analizar este sistema, estudiaremos los efectos de una gota de líquido descansando sobre una superficie sólida, rodeada de aire, y despreciaremos los efectos de la gravedad, que tenderán a ser nulos, si ésta es lo suficientemente pequeña en relación con las fuerzas superficiales.



La relación líquido-aire, actuará como un sistema aislado, tendiendo a minimizar su área, como se analizó anteriormente.

Esta tendencia provoca una fuerza que presiona, al líquido en sí, y a éste contra el sólido.

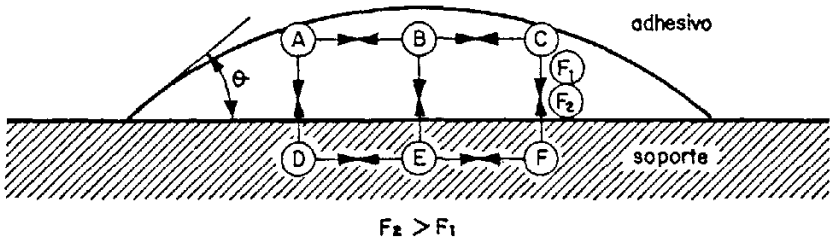
En la superficie del sólido, la fuerza del líquido antes mencionada se convertirá en una fuerza tangencial a la superficie, que intentará presionar al líquido y minimizar la superficie entre él y el sólido. Esta fuerza está representada en la figura con el vector V_L.

La relación sólido-gas, en función de los mismos fundamentos, intentará minimizar su superficie de contacto, en la medida que esto sea posible; en la figura anterior, ésto sólo es factible extendiendo el líquido por la superficie. Esta fuerza está representada por el vector V_s, equivalente a la energía superficial de esta relación.

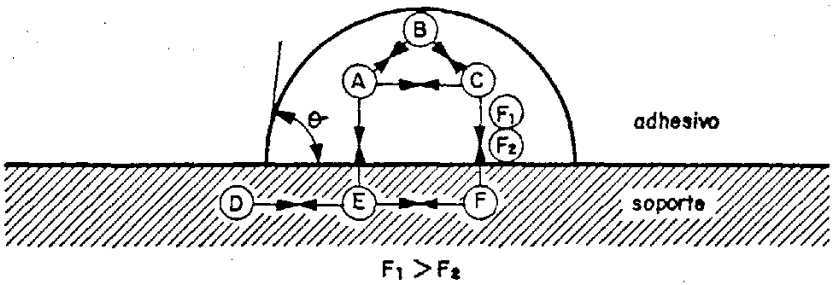
Cuando el sistema se encuentra en equilibrio, la fuerza resultante de la diferencia de las tensiones superficiales producirá una compresión del líquido en la zona de contacto diferente de la compresión en el resto de su superficie en contacto con el aire, y por tanto provocará un ángulo de encuentro entre el líquido y el sólido representado en la figura como θ.

Este ángulo está directamente relacionado con la diferencia de tensiones superficiales, siendo 180° para tensiones superficiales iguales del sólido y del líquido, y

0° cuando el líquido no posee ninguna tensión superficial. El ángulo será menor cuanto mayor sea la diferencia entre tensiones superficiales.



$F_2 > F_1$



$F_1 > F_2$

La presencia de cargas electrostáticas en la superficie de cualquier fase produce modificaciones en el estado de equilibrio del sistema.

Las relaciones de contacto y de unión están directamente relacionadas igual que en las relaciones anteriores, con la diferencia de tensiones superficiales, siendo aquéllas mayores cuanto mayor sea esta diferencia.

3.2.0. Fenómenos Superficiales.

Debido a los fenómenos analizados entre superficies aparecen los siguientes efectos superficiales que influyen en el comportamiento conjunto de los materiales compuestos.

a) Humedecimiento y bañabilidad.

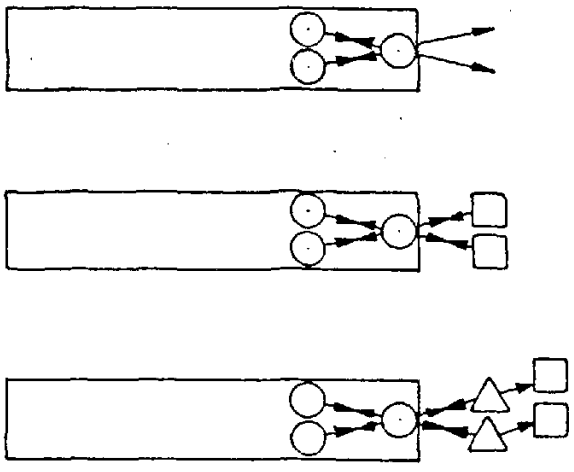
b) Migraciones superficiales en soluciones.

3.2.1. Humedecimiento y bañabilidad.

El humedecimiento y la bañabilidad son los efectos que aparecen entre dos fases que entran en contacto, y hacen referencia a la extensión de superficie que estas fases enfrentan una vez equilibradas.

Los términos humedecido o bañado se aplican indistintamente al contacto entre líquidos o entre éstos y sólidos. Estos efectos se pueden medir por el ángulo de contacto que forman las fases analizadas, en presencia de aire, como se analiza en el capítulo 3.1.6. Si el ángulo tiende a cero quiere decir que existe una buena "bañabilidad" entre ellos, y si es mayor de noventa grados indica una dificultosa "bañabilidad". En este caso el líquido rodará en gotas por la superficie sólida.

La bañabilidad existente entre dos fases está relacionada con la diferencia de tensiones superficiales, aumentando con la diferencia de éstas. Este efecto está también relacionado con la sustitución de los posibles enlaces superficiales que el sólido tenga, establecidos con impurezas ambientales, por enlaces con el líquido. Por el hecho de que el líquido sea extendido por la superficie del sólido, cambia su carácter, estableciendo las relaciones de energía con el nuevo elemento que entra en contacto por sustitución de enlaces superficiales.



Esquema de las secuencias del proceso de establecimiento de enlaces superficiales.

Esta teoría está directamente relacionada con el cálculo de la energía de adhesión. Un adhesivo en estado líquido produce una buena adhesión sobre una base, cuando existe una buena bañabilidad entre ambos, y ésta es mejor cuanto mayor es la diferencia entre sus tensiones superficiales, como es el caso del yeso y los polímeros orgánicos.

3.2.2. Migraciones superficiales.

En las relaciones entre líquidos hemos determinado que existirán fuerzas de unión en relación con la diferencia de tensiones superficiales, con minimización de su superficie

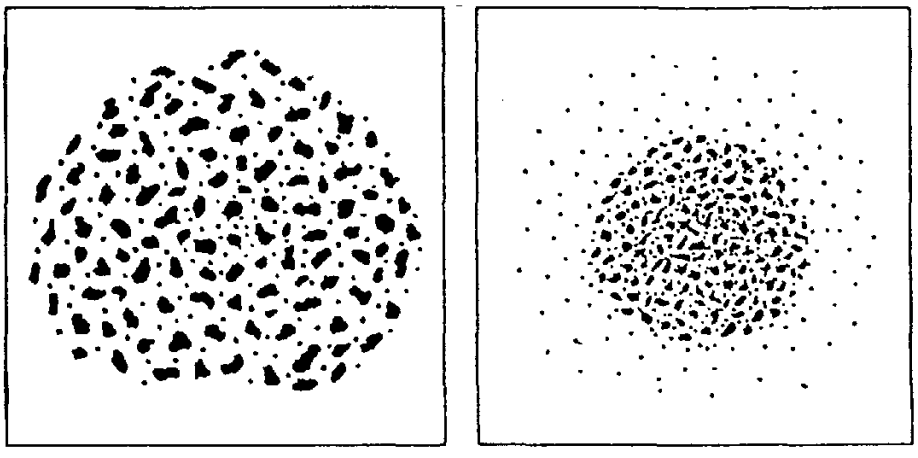
exterior; pero no se analizaron las influencias de estas fuerzas en la movilidad del estado líquido.

Vímos que en un líquido compuesto por moléculas de la misma especie, los campos de fuerzas son uniformes y las moléculas superficiales son atraidas desde el interior de la misma forma.

En el caso de una solución el resultado es bastante diferente, siendo las moléculas libres para emigrar y establecer fuerzas de Van der Waals con sus vecinas.

Si los tipos de moléculas que entran en la solución son distintos, presentarán diferentes campos de fuerzas de cohesión entre sí, siendo expulsados hacia la superficie (zona de mínima energía) aquéllas cuyas fuerzas de cohesión sean de menor intensidad, produciéndose una disgregación de la disolución; disminuyendo el grado de solución en el interior, por acumulación estática en la superficie de aquéllas que presentan menor energía cohesiva.

Este fenómeno da como resultado una disminución de la energía superficial de la disolución. Por lo que una disolución puede disminuir su energía superficial, concentrando en su superficie a aquellos componentes que posean moléculas con menor tensión superficial, produciendo disminuciones en su superficie exterior debido a los enlaces no estabilizados. Esta tendencia a contraerse es conocida como efecto Gibbs o elasticidad Gibbs. (15).



Concentración de la fase dispersa de mayor energía cohesiva quedando en la superficie la de menor cohesión.

La gran mayoría de los compuestos orgánicos solubles en agua tienen una tensión superficial más baja que ésta, presentando una tendencia a ocupar zonas próximas a la superficie. Esta tendencia da como resultado una tensión superficial de la mezcla menor que la del agua pura, facilitando como veremos su adhesión a otros productos.

Estas adiciones que modifican el estado de energía superficial se denominan sustancias tensoactivas.

A esta tendencia a emigrar a la superficie, se oponen la agitación térmica y las fuerzas ósmicas o de difusión.

3.3.0. Dispersiones.

Una dispersión puede ser definida como la suspensión de partículas dentro de un líquido. La fase suspendida o dispersa está en función de la forma y el tamaño de sus

moléculas, debiendo poseer una gran estabilidad, permaneciendo la dispersión invariable a lo largo del tiempo.

La eficiencia de una dispersión dependerá del grado de agitación, temperatura, del procedimiento de la mezcla, electrolitos, etc.

El objeto de la agitación es dividir las fases y producir un contacto íntimo, de tal modo que entre ellas formen los glóbulos más pequeños posibles. A menor tensión superficial de la fase dispersa en agua, menor será la cantidad de energía mecánica necesaria para mezclarlas, por existir una mayor diferencia entre sus fuerzas cohesivas.

En estos tipos de dispersiones, la fase dispersa debe añadirse sobre el agua, completándose la dispersión de modo lento, para lo cual la velocidad de agitado es muy importante; debiendo evitarse la incorporación de aire, que provocaría un espumado perjudicial.

El agente dispersante en nuestro caso además de rebajar la tensión superficial del agua que se añade al yeso, debe formar una película interfacial en la superficie del agua, a base de polímeros orgánicos; sirviendo éstos como elementos puente entre las moléculas de agua y las nucleaciones incipientes de los cristales de yeso, que quedarán interconectadas a lo largo de las cadenas moleculares de los polímeros (aspecto que se analiza detalladamente en el estudio de los fenómenos de hidratación del yeso).

Los factores que influirán en la estabilidad de una dispersión son: el tamaño de las partículas; la viscosidad, siendo más estables cuanto más viscosas sean; la proporción y solubilidad del dispersante, la estabilidad de éste en agua; la facilidad del dispersante de formar finas películas, elásticas y adhesivas; la diferencia entre las tensiones superficiales del elemento disperso y del agua; y las características hidrófugas o hidrófilas, de aquél, siendo preferibles estas últimas.

Estos factores pueden verse alterados con la presencia de cambios bruscos de temperatura, que aumentará el grado de agitación molecular provocando un cambio en los estados de equilibrio de fuerzas, o con la presencia de electrolitos, cuyo efecto dipolar alterará también el equilibrio de fuerzas, siendo importante las características polares que puedan presentar los polímeros sintéticos y que se estudian en el capítulo correspondiente.

A causa de los electrolitos la superficie del agua es portadora de una diferente energía dipolar.

La carga eléctrica de éstas es proporcional a su superficie; cuanto más pequeño es el volumen de agua, mayor es la superficie relativa y mayor es la carga relativa.

La adición de electrolitos modificará el estado de equilibrio de la emulsión, por modificación de la carga eléctrica de la película interfacial.

Los polímeros orgánicos presentan bajos valores de energía superficial, y en el caso de que fueran inferiores a los del agua, serán desplazados hacia la superficie de las gotas, formarán la película interfacial y reducirán la tensión superficial de la dispersión incrementando la diferencia de ésta con el sólido.

Al ser capaces de rebajar la tensión interfacial, podemos denominar tensoactivos a los polímeros orgánicos.

Los tensoactivos están compuestos teóricamente de una parte de hidrófila y una lipófila, variando sus propiedades según prevalezca una u otra, siendo la primera la que prevalece en el caso de los polímeros orgánicos.

Estos productos podemos clasificarlos en función de su carga polar en; aniónicos, catiónicos, anfóteros y no iónicos, y en función de los diferentes efectos que producen en: aglutinantes, fluidificantes, dispersantes, humectantes, aireantes, etc..., cualidades específicas de los productos que añadiremos al yeso.

Estas dispersiones se pueden desecar para obtener productos en polvo, volviendo posteriormente a formar una dispersión estable el añadirles agua, estribando la dificultad en conseguir una correcta homogeneización.

3.4.0. Adhesión.

En el análisis de los epígrafes anteriores hemos obtenido como conclusión la existencia de un campo de fuerza que actúa en las superficies de contacto, dando como resultado la fuerza de adhesión, por diferencia entre sus tensiones superficiales.

3.4.1. Adhesión específica.

Esta fuerza de adhesión debida a fuerzas moleculares, se denomina adhesión específica. Este tipo de adhesión puede considerarse una fuerza activa, que mantiene juntos a los materiales y es efectiva bajo cargas de tensión de corte.

La adhesión específica está relacionada con la estructura molecular de los materiales, estando ésta analizada en los siguientes capítulos.

Para que la adhesión específica actúe entre dos materiales, produciendo su unión, es necesario algún grado de presión que mantenga ambas partes en contacto íntimo hasta que se equilibren los estados de fuerza.

La cantidad de presión necesaria dependerá del tipo de superficie, de la temperatura y del aspecto formal de éstas.

En nuestro estudio las fuerzas que producirían este tipo de unión serán las electrostáticas y polares. Por ser éstas de origen molecular, al tender los polímeros disueltos

a ocupar las zonas superficiales de las dispersiones en agua, como hemos analizado anteriormente, aumentarán la diferencia de tensión superficial con el yeso, incrementando la energía de adherencia. Exactamente dependerá de la diferencia de tensiones superficiales existentes entre el yeso deshidratado y los polímeros sintéticos añadidos.

3.4.2. Adhesión mecánica.

Existe también otro tipo de fuerza de adhesión debida al rozamiento o enlace físico, por irregularidades en las superficies, denominada adhesión mecánica. Esta fuerza de adhesión depende: de la altura de las irregularidades, del radio de las mismas, y de su distribución homogénea.

3.4.3. Fuerza de adhesión.

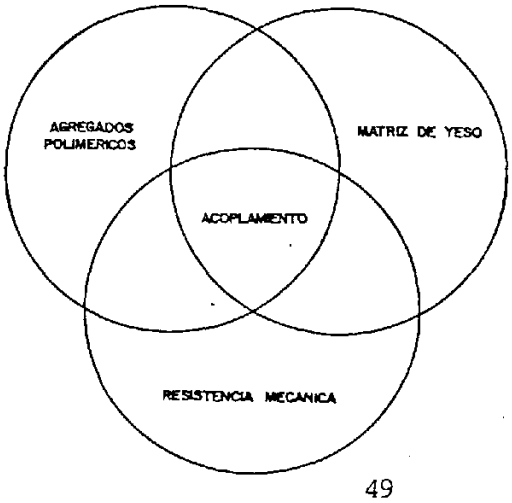
Teóricamente la fuerza de adhesión será la suma de las dos vertientes, la mecánica y la específica. Sin embargo las irregularidades superficiales pueden reducir la superficie de contacto íntimo, viéndose reducida la fuerza de adhesión con respecto a la específica. La adherencia mecánica es pasiva, actuando sólo ante acciones exteriores de tipo cortante, siendo efectiva cuando la adherencia específica es muy reducida.

3.5.0. Comportamiento conjunto.

Una vez estudiados los fundamentos de los fenómenos existentes entre superficies y sus efectos en el comportamiento de éstas, así como su aplicación a las relaciones de adhesión y al funcionamiento de las dispersiones, pasaremos a analizar el comportamiento conjunto de los materiales compuestos en relación a los fenómenos de interfase y a la contribución de los elementos de refuerzo.

Estos materiales constan de diversos agregados que se incorporan a una matriz para lograr producir un aumento de las características de comportamiento (mecánicas en nuestro estudio), produciendo un efecto sinergético que provoque una mayor efectividad de las características individuales en favor del trabajo conjunto.

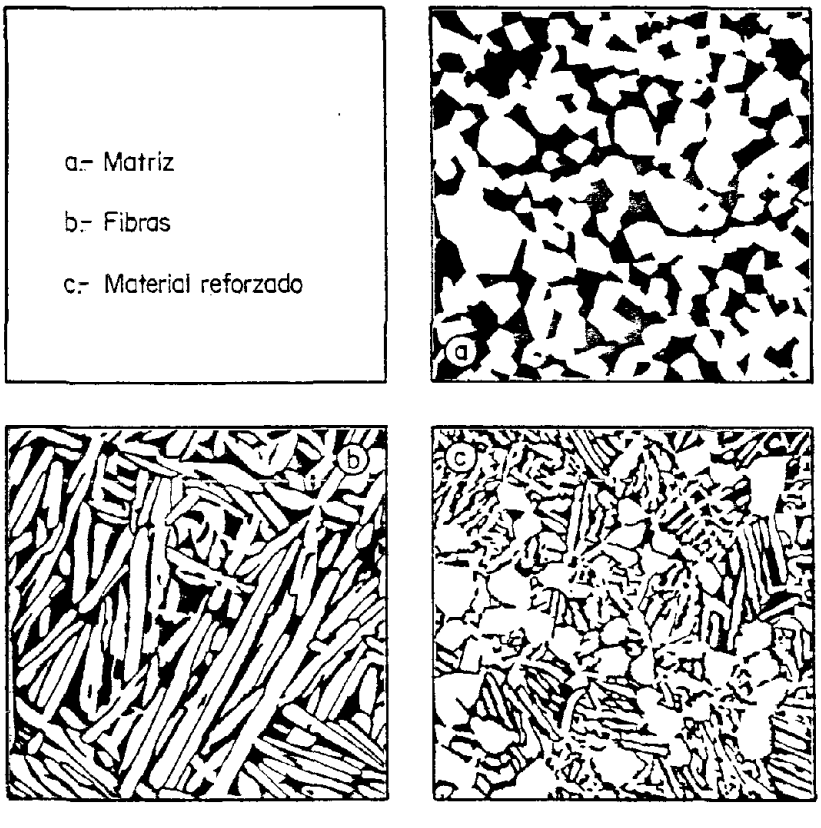
Para lograr este objetivo es fundamental el buen comportamiento de las interfases, donde deberá producirse una buena adherencia; y una buena interacción de las propiedades individuales de los agregados. Todos los factores que esto implica están relacionados entre sí de una forma compleja. Una simplificación de estas interacciones puede quedar representada en el siguiente esquema.



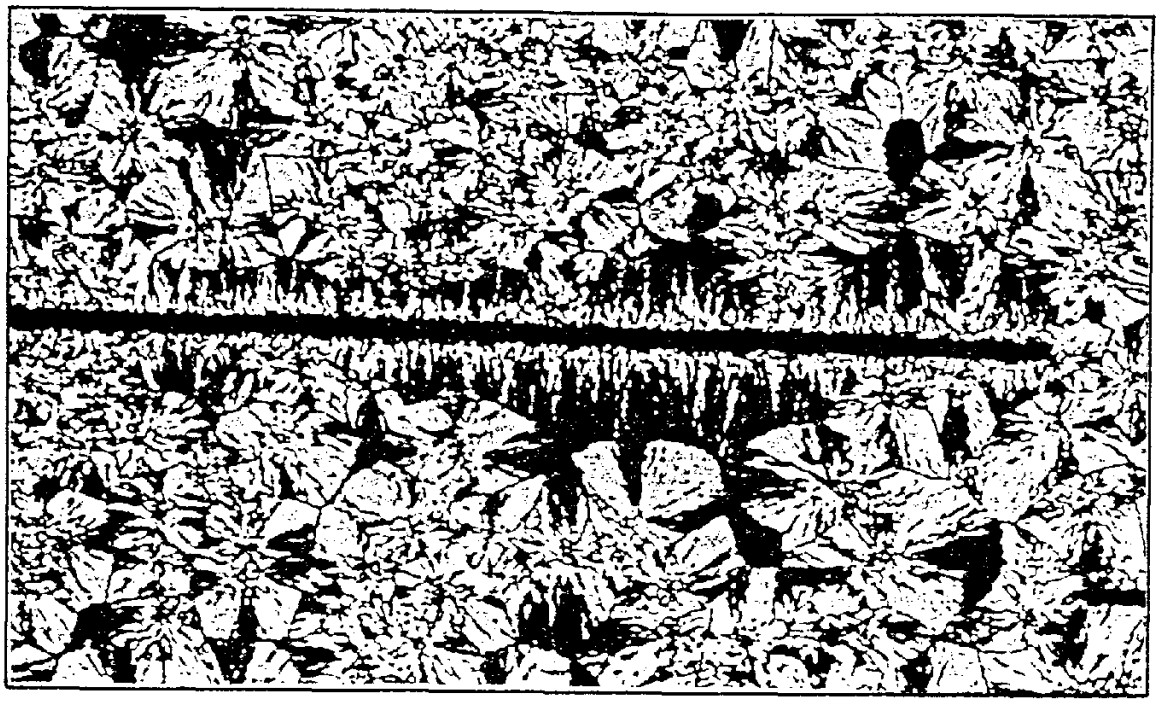
El área central determina la resistencia mecánica del compuesto siempre que puedan controlarse los demás factores.

3.5.1. Elementos de refuerzo.

Debido a sus características peculiares en cuanto a polaridad, flexibilidad de su estructura y bajos valores de energía superficial, utilizaremos a los polímeros sintéticos como agentes de acoplamiento. En forma de dispersiones añadidas en el proceso de hidratación del yeso, serán los polímeros sintéticos los encargados de crear los fenómenos de adhesión de las interfases. Estas relaciones se producen en presencia de agua y quedarán fijadas entre sólidos una vez finalizado el proceso de fraguado.



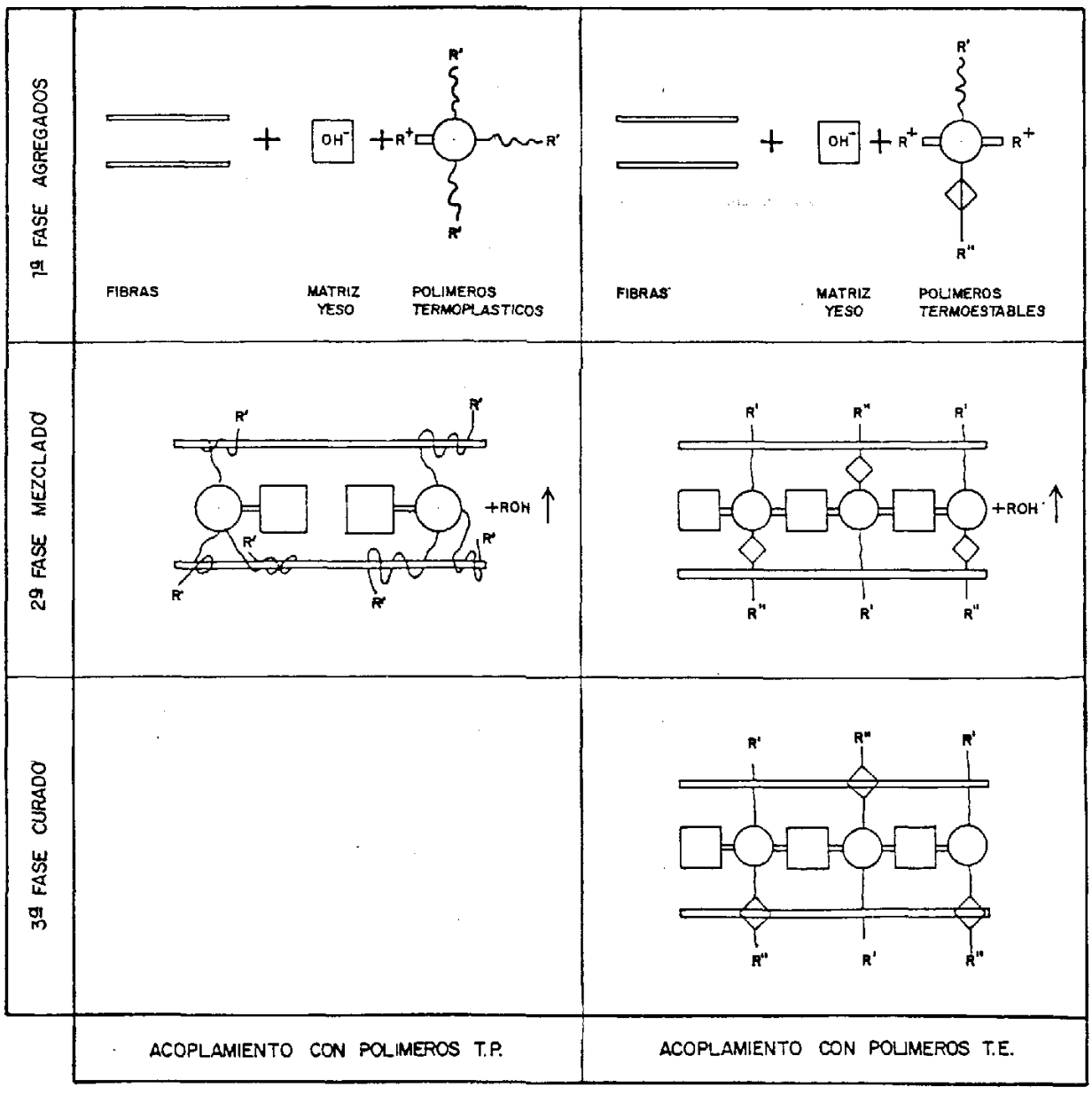
Dada la estructura del yeso fraguado, formada por cristalizaciones entremezcladas, estos agentes de acomplamiento actuarán entre las formaciones cristalinas produciendo un conjunto homogéneo. Se formará un conjunto con matriz de yeso y agregados poliméricos que molecularmente producirán conexiones entre las diversas formaciones cristalinas. Para ello se seguirá un proceso de interacción, o de organofilización de las superficies cristalinas, que dará como resultado la optimización de las propiedades mecánicas del yeso, y una modificación de los fenómenos de cristalización que se detallan en el siguiente capítulo (4. Yeso).



Crecimiento cristalino nucleado alrededor de una fibra

Si se pretende conseguir aumentos importantes en las resistencias mecánicas necesitaremos agregar fibras poliméricas que sean capaces de absorber las tensiones internas de tracción, logrando que establezcan relaciones de adherencia con las superficies cristalinas organofilizadas, e involucrando a las superficies de las fibras en los procesos de crecimiento cristalino del yeso. En este compuesto, los polímeros sintéticos en forma de dispersiones o de emulsiones actuarán como agentes de acoplamiento entre cristalizaciones de yeso, estableciendo las relaciones de adherencia en función de las diferencias entre sus tensiones superficiales. Las fibras poliméricas por el mismo principio se adherirán a las cristalizaciones de yeso, produciéndose además un entrelazamiento físico con las cadenas moleculares de los polímeros añadidos en dispersión. Este proceso simplificado se complejiza al producirse las cristalizaciones del yeso por hidratación con el agua en la que se encuentra disperso el polímero, que es desplazado a su superficie por poseer menor energía superficial que el agua, entrando en primer lugar en contacto con el yeso deshidratado; estos factores están analizados en el estudio sobre el yeso como componente.

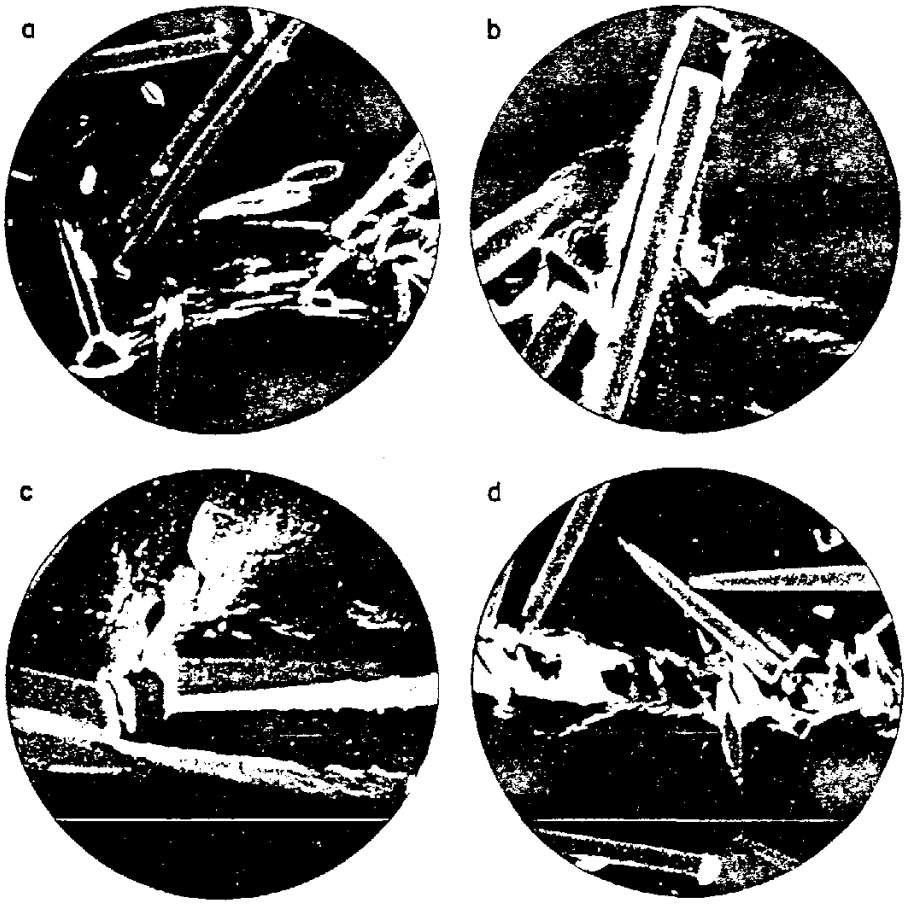
Estos mecanismos de actuación de las fibras y los polímeros agregados al yeso se representan en los siguientes esquemas.

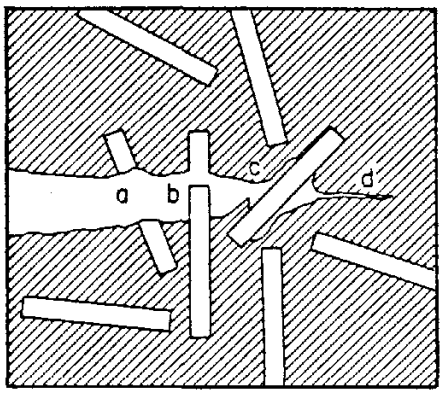


Estas condiciones ideales son difícilmente conseguibles, por lo que es necesario analizar su comportamiento mecánico en base a las diferentes teorías existentes, y su comportamiento real en base a una relación de ensayos normalizados.

A pesar de todos estos mecanismos de adherencia y de la acción efectiva de los agentes de acoplamiento, es lógico suponer que estos materiales, sometidos a esfuerzos

exteriores, interrumpen su trabajo por fractura de la interfase; (en las dos vertientes de compuestos antes mencionados), produciéndose un agotamiento de la labor realizada por los polímeros agregados en dispersión acuosa.

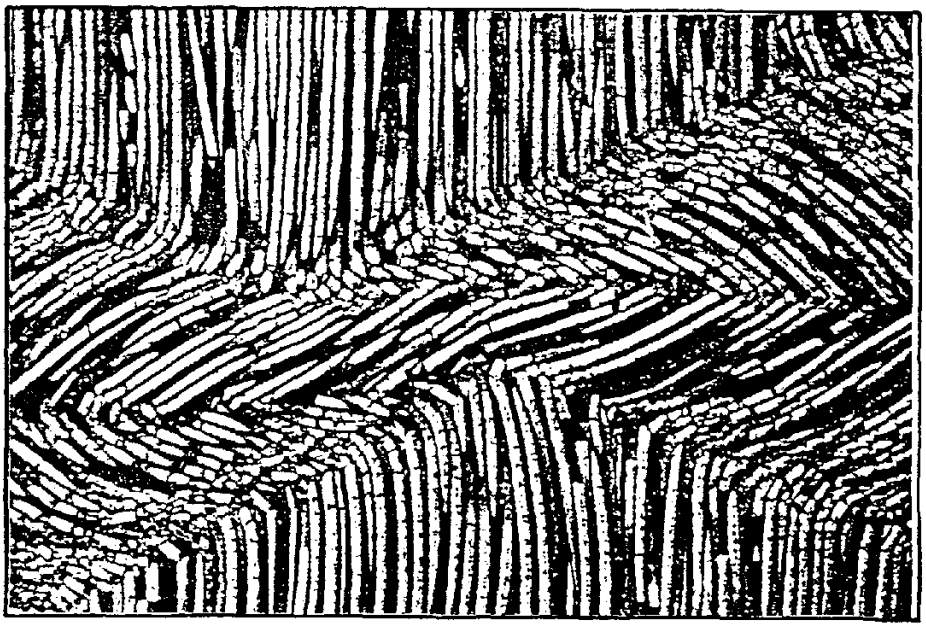




a.- FIBRA REFORZANTE ROTA
b.- FIBRA FUERA DE LA MATRIZ
c.- MATRIZ SEPARADA DE LA FIBRA
d.- FRACTURA DE LA MATRIZ

La cantidad de estos polímeros no puede incrementarse indefinidadmente (4.3.0. Adiciones), con el fin de absorber la misma propoción de tensión que cada cristal de yeso o

cada fibra polimérica, porque a partir de una determinada proporción inhibirían los procesos de fraguado del yeso, no consiguiéndose la formación de la matriz del compuesto.



Fallo por compresión de un material hibrido reforzado con fibras unidireccionales

La contribución de las fibras en el incremento de propiedades mecánicas está relacionada con la influencia de los siguientes factores:

a) Tipo de fibra utilizada.
b) Forma y tamaño de las fibras.
c) Cantidad de fibras añadidas.
d) Orientación dentro de la matriz.
e) Distribución.
f) Naturaleza de la interfase.

El tipo de fibra utilizada se obtendrá como conclusión del estudio teórico de los polímeros sintéticos.

El tratamiento teórico de la influencia de la cantidad y de los parámetros de las fibras presenta una gran

complicación debido fundamentalmente a las características de la matriz según su comportamiento elástico y el índice de porosidad que tenga.

P. Stroeven (192-193), analiza esta influencia en base a un concepto de espacio teórico aunque los conceptos de homogeneidad e isotropía en relación a los materiales reales sólo pueden ser justificados en una base estadística.

Se han realizado numerosos estudios teórico-prácticos para obtener la influencia de los anteriores parámetros con diferentes resultados para los compuestos con fibra discontinua orientada al azar y con filamento contínuo orientado en una dirección.

Para A. Kelly (110), el tratamiento teórico está basado en una simple regla de mezclas, siempre que la matriz presente una elasticidad uniforme y las fibras queden orientadas uniaxialmente. En este caso, el módulo elástico del compuesto ante tensiones de tracción es la suma de los productos de los módulos elásticos a tracción por las respectivas fracciones de volumen de los componentes (fibras y matriz).

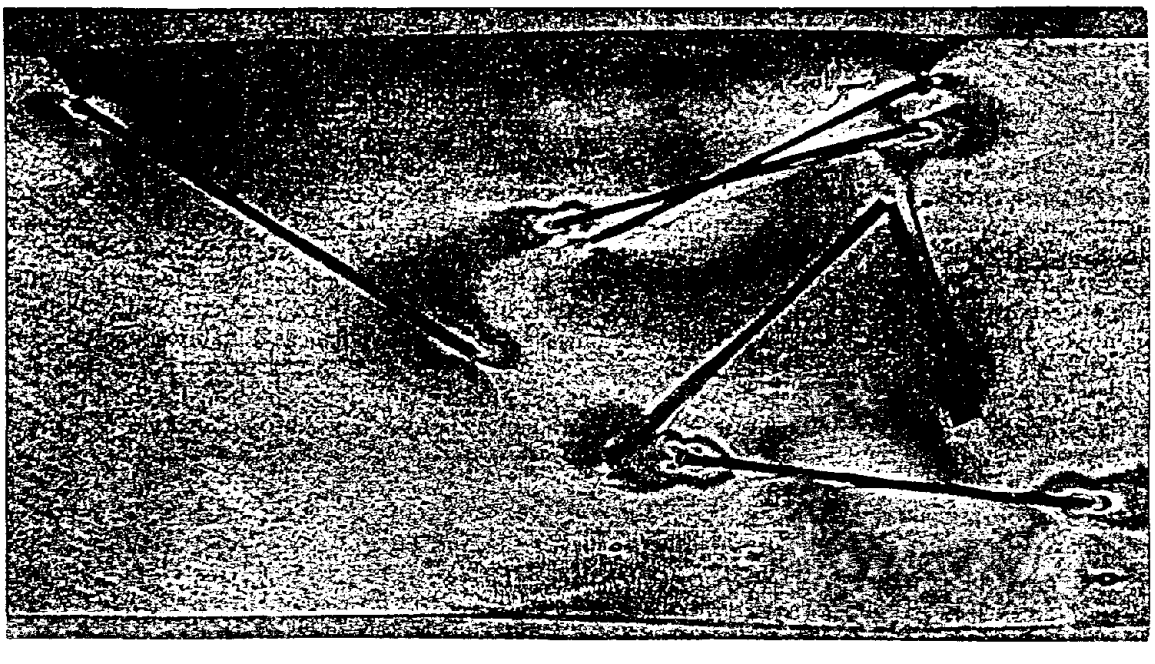
$$E_c = \alpha \cdot E_f \cdot V_f + E_m \ (1-V_f).$$

$$\sigma_c = \alpha \cdot \sigma_f \cdot V_f + \sigma_m \ (1-V_f).$$

Donde E es el módulo elástico, V el volumen, σ la resistencia a tracción, y los subíndices "c, f, m" hacen referencia al compuesto, fibra y matriz, respectivamente.

En las ecuaciones anteriores se ha introducido un factor de alineación "α", que tiene en cuenta los efectos combinados de la desorientación de la fibras y el ángulo que forman con la dirección del esfuerzo exterior, siendo de valor unidad para fibras paralelas.

Posteriormente se extendió la anterior aproximación al caso de fibras discontínuas de longitud finita. En este caso el esfuerzo es transferido desde la matriz a la fibra a través del efecto de cizallamiento de la interfase, teniendo muy en cuenta la longitud y diámetro de la fibra, así como su adhesión en la interfase.



Interacción entre fibra y matriz de un material hibrido sometido a tensión

Los compuestos con fibras discontínuas presentan grandes complicaciones en su estudio, debido al hecho de que el esfuerzo a lo largo de la fibra no es uniforme. Hay que tener en cuenta en estos casos la relación crítica entre la longitud y el diámetro de la fibra. (l/d) Como el esfuerzo

E. T. S. A. de M.
BIBLIOTECA

prácticamente no existe en los extremos, únicamente si la fibra es lo suficientemente larga para superar un valor crítico determinado, el esfuerzo en la zona central será análogo al de una fibra contínua. Si la fibra es de menor longitud que el tamaño crítico, no se producirá una trabazón efectiva con la matriz y no existirá una distribución de esfuerzos.

La longitud crítica debe tener en cuenta la porosidad interna de la matriz, ya que la contribución a la resistencia de la fibra es nula mientras está envuelta por un poro.

A. S. Argón (205), estudia la influencia de la longitud de la fibra en los procesos de fisuración, llegando a la conclusión de que existe una longitud crítica, espresada en la siguiente ecuación.

$$l = \frac{r\,\sigma_t}{T}$$

Siendo; l la longitud de la fibra; r el radio de la fibra, σ_t su resistencia a tracción y T la adherencia entre la fibra y la matriz.

H. Krenchel (114) estudia la influencia de las fibras en el interior de la matriz, llegando a la conclusión de que los dos principales parámetros a tener en cuenta son:

a) La distancia entre las fibras y su orientación.

b) La cantidad total de fibras por unidad de volumen.

El primer parámetro influye en las propiedades mecánicas y el segundo en la fisuración.

Plantea que el producto entre la cantidad total de fibras por unidad de volumen y la distancia entre las fisuraciones es una constante.

$$\frac{D\ V_F}{V_T} = \text{Const.}$$

D: distancia entre las fisuraciones.

V_F: volumen total de fibras.

V_T: volumen del compuesto.

Por tanto la distancia entre fisuraciones será menor cuanto mayor cantidad de fibras exista en el compuesto, reduciéndose las tensiones acumuladas en ellas.

M. Dehousse (205) establece que el aumento de resistencia a flexión estará directamente influido por la longitud y la cantidad de fibras en relación con su diámetro.

$$\Delta\sigma_F = \frac{l}{d}\ V_f$$

Siendo; l, longitud de la fibra; d, diámetro de la fibra y V_f: el porcentaje en volumen de fibra en el compuesto.

La orientación de las fibras influye en la eficacia de éstas para contribuir al aumento de resistencias mecánicas, R.N. Swamy (194, 195) lo resume en el siguiente cuadro.

ORIENTACION	EFICACIA %
UNIDIRECCIONAL	100
ORTOGONAL	40—50
BIDIRECCIONAL	30—40
ESPACIAL	15—20

Sin embargo, J.P. Romualdi y J.A. Mandel (175) valoran la eficiencia de la orientación espacial en un 41%.

El siguiente cuadro resume de modo genérico cuál de los componentes prevalece ante determinadas acciones.

CONDICIONES EN QUE PREVALECEN LAS PROPIEDADES DE LA MATRIZ	CONDICIONES EN QUE PREVALECEN LAS PROPIEDADES DE LAS FIBRAS
ALTO ESFUERZO	BAJO ESFUERZO
TIEMPOS LARGOS	TIEMPOS CORTOS
ALTAS TEMPERATURAS	BAJAS TEMPERATURAS
MALA ADHESION	BUENA ADHESION
FIBRAS CORTAS	FIBRAS LARGAS
ALTAS RELACIONES DE MODULO	BAJAS RELACIONES DE MODULO

En materiales frágiles porosos no elásticos como el yeso, la contribución de las fibras se relaciona con la fuerza de extracción de ésta y con la compacidad de la matriz, como se estudia en el capítulo (4.3.1., fibras).

4. YESO.

4. YESO.

4.0.0. Generalidades.

El yeso va a ser el componente principal y, por esto, la matriz del material resultante, por tanto se va a analizar en todos los aspectos que se consideren fundamentales para una mejor comprensión del comportamiento conjunto con los polímeros sintéticos.

Tradicionalmente el yeso se define desde una análisis constructivo como un conglomerante aéreo. Es decir un material que por sus características intrínsecas tiene la propiedad de unir o trabar a otros sueltos y a sí mismo formando un conjunto sólido y estable (propiedad fundamental en la decisión de utilizarlo como matriz), excepto en medio acuoso donde es incapaz de producir la cohesión interna necesaria, diluyéndose en su totalidad.

Industrialmente el yeso se define como un material pulverulento que se produce por calcinación del aljez o piedra de yeso y molturación posterior con mezcla de los diversos estados intermedios que se obtienen durante el proceso de deshidratación. También se puede obtener como subproducto de fabricación del ácido fosfórico (fosfoyeso), del fluorhídrico (fluoryeso), del bórico (boroyeso), de ácidos orgánicos, etc.

Lingüísticamente la palabra yeso se utiliza con una visión globalizante, abarcando tres conceptos diferentes:

- materia prima, por tanto el material natural o piedra de yeso en todas sus variedades, tanto monocristalinas (selmita, yeso lenticular, yeso fibroso, etc.), como microcristalinas o granulares (Alabastro, sacaroides, fibrolaminar, etc.), hasta los mal cristalizados y los impuros (arcillosos, calcáreos, silíceos, dolomíticos, salinos, etc.).

- Producto deshidratado y molido, conteniendo uno o varios estados intermedios del proceso, independientemente de las proporciones en la que éstos pudieran estar. Es denominado yeso en polvo.

- Producto sólido obtenido por hidratación o fasgado del yeso en polvo.

Desde nuestro proceso de análisis interesa conocer los fenómenos que se producen entre cada uno de estos estados, con especial dedicación a los fenómenos de hidratación, ya que éstos se verán condicionados por los agregados que se añadirán al producto en polvo.

4.1.0. Estructura atómica.

El yeso natural es un material con una estructura física variable en función de las condiciones de formación, tanto físicas como mecánicas. Puede encontrarse en diversas variedades, desde un monocristal hasta una estructura policristalina.

El yeso es un sulfato cálcico hidratado que denominamos dihidrato. Posteriormente veremos que también químicamente su estructura en estado natural puede variar.

4.1.1. Sistema sufalto cálcico-agua.

Para analizar el sistema sulfato cálcico-agua y poder entender los diversos estados que se sucederán, que son fases del sistema, vamos a estudiar los estados de fuerzas de enlace, que actúan en la molécula y en la formación del sistema y su influencia en la estructura física de cada una de las fases.

El sistema está compuesto por dos tipos de moléculas, sulfato cálcico y agua.

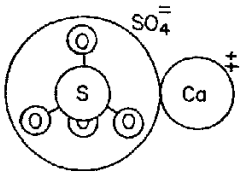
Descomponiendo la molécula de sulfato cálcico, se observa la existencia de un enlace iónico doble entre el ión sulfato y el ión calcio, y unos enlaces covalentes entre el átomo de azufre y los átomos de oxígeno, con un comportamiento exterior dipolar.

SULFATO CALCICO

a.- Esquema

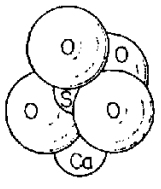
b.- Configuración

c.- Comportamiento dipolar

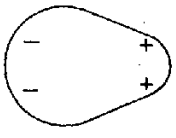


a

b



c



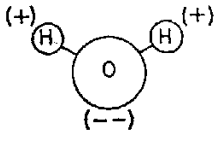
La molécula de agua es conocida por su configuración híbrida, de enlace mixto iónico-covalente entre los átomos de hidrógeno y el de oxígeno, y un comportamiento exterior de tipo dipolar.

AGUA

a.- Esquema

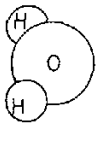
b.- Configuración

c.- Comportamiento dipolar

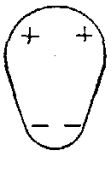


a

b



c

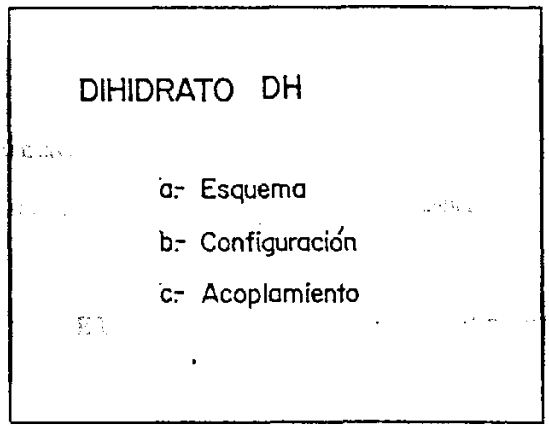


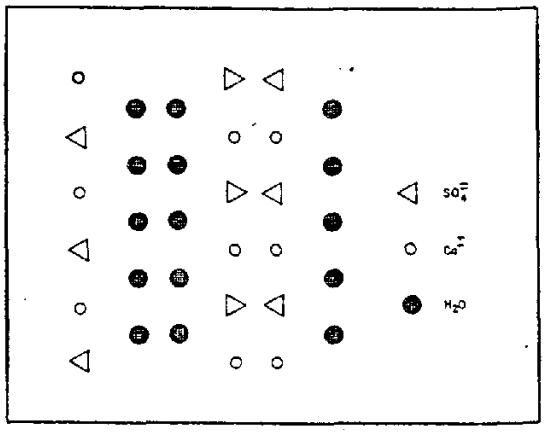
Debido a ese comportamiento externo dipolar, se produce entre ambas moléculas una unión de tipo secundario de origen electrostático, (Van der Waals y Puentes de Hidrógeno), que genera un acoplamiento físico entre ellas, en función de la forma y el tamaño de cada molécula. Este acomplamiento produce la organización cristalina y varía en función de la cantidad de moléculas de agua existentes, dando como resultado cada una de las fases del sistema sulfato cálcico-agua, que analizamos a continuación.

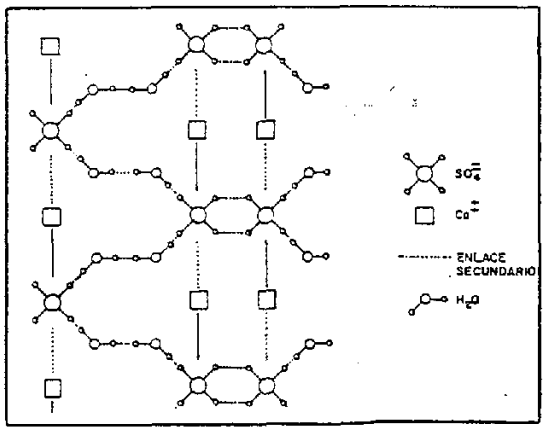
4.1.2. Fases del sistema.

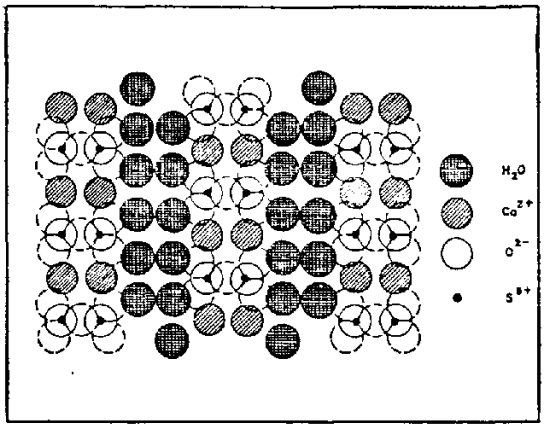
Dihidrato.

El aljez presenta la estructura de dihidrato, es decir, sulfato cálcico dihidratado ($SO_4Ca\ 2H_2O$) DH, cristalizando en el sistema monoclínico, con una organización laminar con capas alternas de sulfato cálcico y agua unidas mediante enlace secundario, con la siguiente configuración.









Semihidrato.

Por calentamiento y a partir de 100°C hasta 130°C, se produce un aumento de la energía interna capaz de contrarrestar y anular las fuerzas cohesivas de tipo secundario, liberando algunas moléculas de agua, que absorben energía al transformarse en vapor de agua y equilibran el sistema, con lo que aparece la fase denominada semihidrato (SO_4Ca $1/2H_2O$ + $3/2$ H_2O) SH.

$$SO_4Ca\ 2H_2O + Q \quad SO_4Ca\ 1/2H_2O + 3/2H_2O - Q'$$

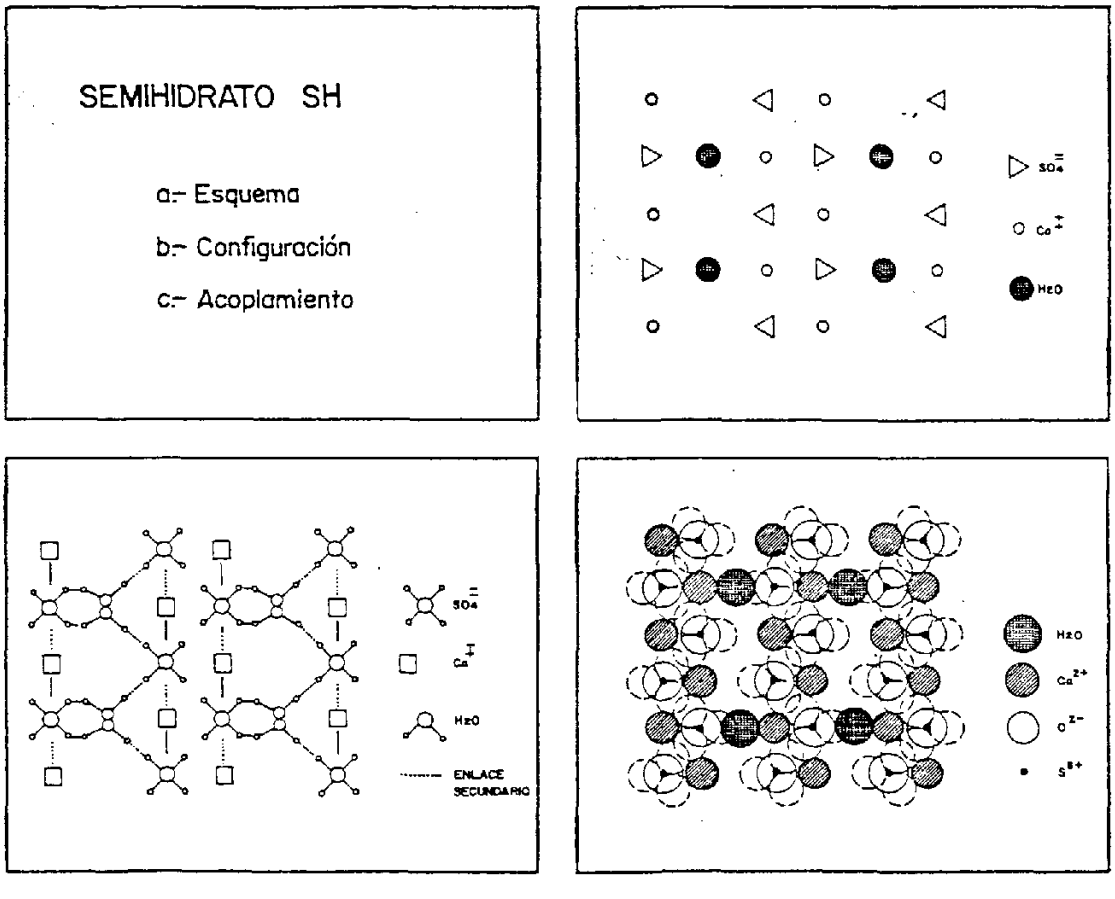
Esta reacción es reversible, ya que la configuración cristalina, adoptada por el semihidrato en el sistema pseudo-hexagonal, presenta una menor compacidad molecular con un aumento de espacios entre ellas, en las capas

ocupadas por las moléculas de agua, suponiendo un mayor ajuste con mayor enfrentamiento con las de sulfato cálcico.

El sistema cohesivo de tipo secundario es análogo a la fase anterior. El agua es capaz de ocupar los espacios intermoleculares, y debido a su carga dipolar desestabiliza el equilibrio de fuerzas existentes, produciendo una vuelta al sistema cristalino del dihidrato con desprendimiento de energía calorífica.

Esta disipación de energía demuestra que la configuración cristalina del dihidrato es más estable que la del semihidrato, pues necesita menor energía interna para su estabilización.

El semihidrato adopta una organización laminar con la siguiente configuración.



Según las condiciones de presión durante el proceso de calentamiento, se obtienen dos variedades de SH (semihidrato) el SH_β, que se produce a presión atmosférica, y el SH_α, producido bajo presión, con una única diferenciación en el tamaño de los cristales, mayores en este último, necesitando menos agua de amasado para producir la lubricación de los cristales. Se obtiene así un producto final más compacto al ser menos poroso, y más resistente, con un fraguado más rápido y mayor expansión durante la hidratación.

Anhidrita III.

Por calentamiento a partir de 160°C hasta 250°C, el aumento de la energía interna es suficiente para contrarrestar la práctica totalidad de las fuerzas cohesivas, que establecen las moléculas de agua, evaporándolas con una absorción de energía que equilibra el sistema. Aparece así la fase denominada Anhidrita III (SO_4Ca H_2O) An III. (siendo muy pequeño)

$$SO_4Ca\ 1/2H_2O + Q \qquad SO_4Ca\ H_2O + 1/2H_2O - Q'$$

Esta reacción es también reversible, adoptando el mismo sistema cristalino que el SH, con un gran aumento de los espacios intermolecualres en las capas ocupadas por las moléculas de agua, y manteniendo el mismo enfrentamiento entre las de sulfato cálcico. Este gran aumento de los espacios intermoleculares, unido a la cantidad de energía que se ha necesitado para la creación de la estructura

cristalina, hacen que ésta sea muy inestable y reaccione con avidez de agua, buscando configuraciones más estables y liberando la energía sobrante.

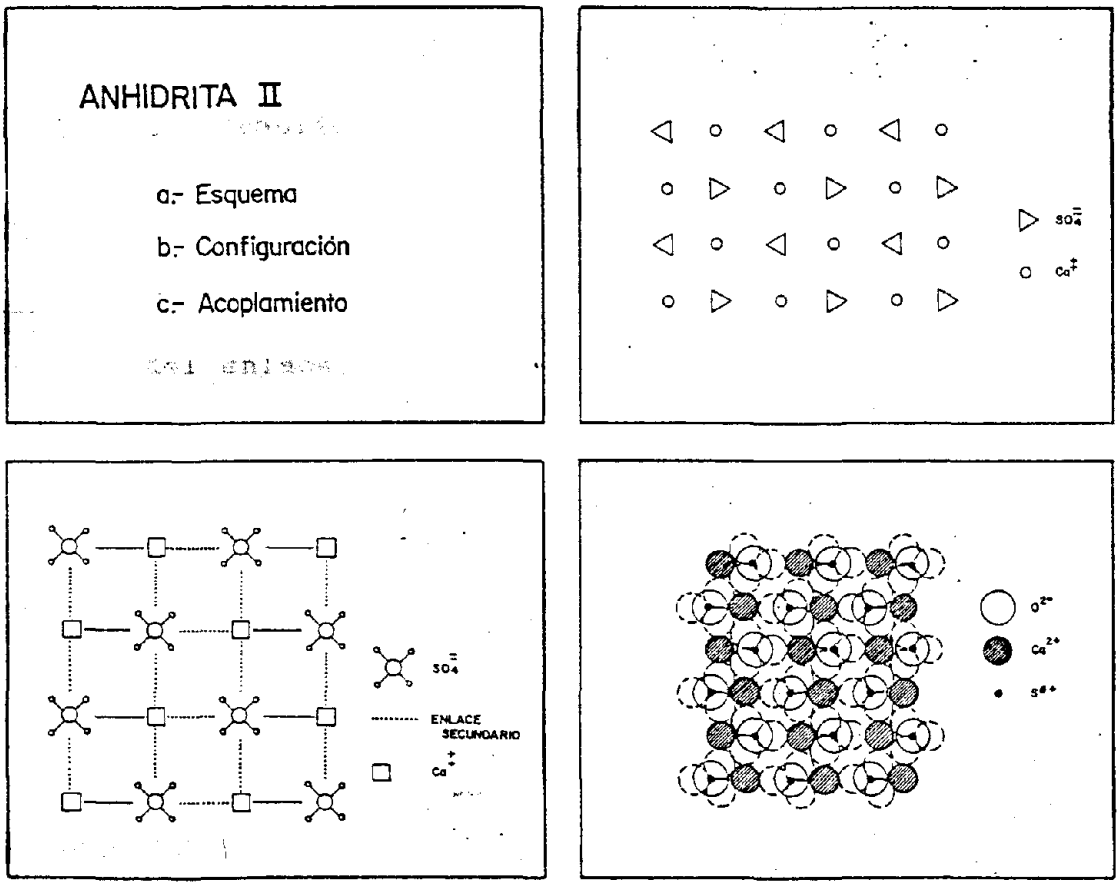
La Anhidrita III adopta una organización laminar, con una configuración análoga al SH descargado de moléculas de agua.

Anhidrita II.

Por calentamiento a partir de 350°C y hasta 800°C, el aumento de la energía interna es suficiente para asegurar la ausencia total de moléculas de agua y permitir la movilidad de la totalidad de los dipolos existentes, que se reagrupan en una nueva organización estructural, apareciendo la fase denominada Anhidrita II (SO_4Ca) An II.

$$SO_4Ca \quad H_2O + Q \qquad SO_4Ca + H_2O + Q'$$

Esta reacción es también reversible, pero la hidratación se produce de forma muy lenta, ya que la nueva organización cristalina ortorrómbica que adopta es estable al producirse una reacción exotérmica, adoptando una configuración dipolar compacta, con ausencia de grandes espacios intermoleculares. De esta forma pasa de una organización laminar a una espacial.



Esta fase del sistema se corresponde a la anhidrita natural.

Calentando entre los 900°C y los 1250°C, el aumento de la energía interna produce un acople más perfecto de los dipolos. Aparece así la fase denominada Anhidrita I (SO_4Ca) An I.

$$SO_4Ca + Q \quad SO_4Ca$$

Esta nueva fase no presenta cambio de la estructura cristalina con respecto a la An II, manteniendo el mismo enfrentamiento entre las moléculas de sulfato cálcico. Por tanto, son análogas las propiedades y no tienen excesiva importancia práctica.

Yeso hidraúlico.

Calentando por encima de los 1250°C, el aumento de la energía interna es suficiente para contrarrestar la energía cohesiva del enlace iónico que existía entre el sulfato y el calcio. Produce también la anulación de la relación covalente de los electrones compartidos entre el átomo de azufre y los de oxígeno, apareciendo dos nuevas moléculas más simples de carácter iónico y, por tanto, con comportamiento externo dipolar.

$$SO_4Ca + Q \quad CaO + SO_2 + 1/2O_2$$

Este producto se denomina yeso hidraúlico, debido a las características de hidraulicidad que confiere la cal, y realmente no pertenece al sistema sulfato cálcico-agua que hemos analizado.

4.2.0. Macroestructura.

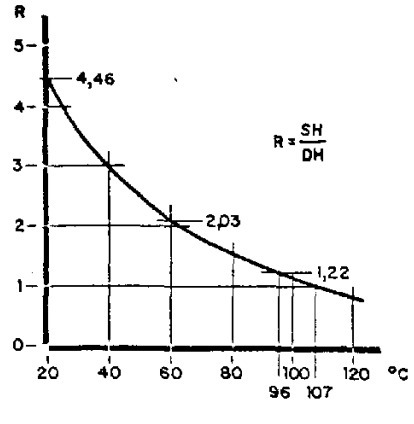
Conocido el sistema y cada una de las fases que lo componen, vamos a analizar los fenómenos que se producen al pasar desde los estados más inestables hasta los más estables, y a determinar sus valores de resistencia mecánica. Para lograrlo necesitamos añadir agua, ya que la obtención de cada una de las fases a partir del dihidrato conlleva su deshidratación.

4.2.1. Disolución.

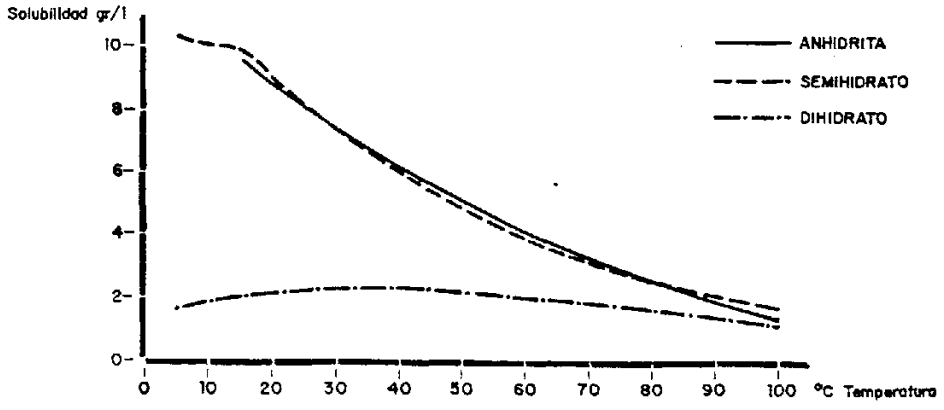
Previo al fenómeno de hidratación, aparece el fenómeno de disolución en agua de las fases que constituyan el yeso comercial, que será en realidad una mezcla de las diversas fases (4.4.0. Tipos de yesos comerciales).

Cada una de estas fases, y debido a la acción dipolar ejercida por las moléculas de agua, presenta una solubilidad distinta, que está directamente relacionada con la temperatura que produce la sobresaturación y la pérdida de solubilidad del sistema.

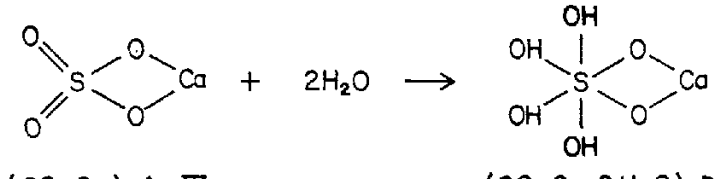
Utilizando los datos observados por M. DABUISSON (56), M.L. CHASSEVENT (55) y A. BAOUMAN (19, 20, 21) para la anhidrita, semihidrato y doble hidrato, respectivamente, puede observarse en la siguiente tabla la diferencia de solubilidad entre ellos, siendo bastante análoga para los dos primeros.



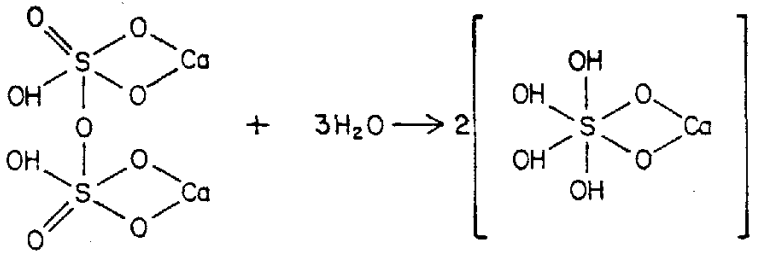
Se establecen unas relaciones de solubilidad de las fases anhidras con respecto al dihidrato.



En la sobresaturación de una disolución, la precipitación del dihidrato se producirá con mayor facilidad y de modo previo, bien porque exista en el yeso comercial, o bien porque se produzca como resultado de hidratación de fases anhidras.



(SO_4Ca) An III $\qquad\qquad$ $(SO_4Ca \cdot 2H_2O)$ DH



$(SO_4Ca \cdot 1/2\,H_2O)$ SH $\qquad\qquad$ $(SO_4Ca \cdot 2H_2O)$ DH

La diferencia de solubilidad viene determinada por la capacidad de cada fase de formar una solución ionizada, y ésta está en relación directa con la energía interna de la fase disuelta, siempre que se trate de pequeñas agregaciones.

En soluciones acuosas las moléculas de agua envuelven a los iones con coordinaciones tetraédricas y octaédricas muy poco móviles, debido a la intensidad de la atracción electrostática, y forman una analogía esférica, que puede ser de gran tamaño para pequeños iones o para iones fuertemente cargados.

Cuando los iones son de pequeño tamaño y están fuertemente cargados, se produce una agrupación central hacia el ión más cargado (que se sitúa en el centro de la misma) con una ordenación electrostática de signo contrario.

Existe también la tendencia a formar uniones fuertes de parejas de iones en las soluciones acuosas, cuando la energía de activación es pequeña.

Cuando existen iones relativamente poco cargados y de larga longitud, como son los polímeros orgánicos empleados en esta tesis, las agrupaciones que pueden formar y la atracción con otros iones se producen de forma más aleatoria, estableciendo interacciones de orden secundario a las descritas anteriormente. Dichas interacciones empiezan formando pareamiento de iones con los que existan libres o con agrupaciones ya formadas, siempre que la carga elctrostática de éstas sea pequeña, estableciendo uniones entre varias nucleaciones y fijando los iones libres.

Estos fenómenos pueden ser observados como una penetración de las moléculas del agregado en las de agua, defendiéndose éstos con un esfuerzo proporcional a la tensión superficial del agua y ejerciendo las moléculas del

agregado una fuerza contraria en función de su tensión superficial, hasta alcanzar un equilibrio de fuerzas que denominaremos tensión de la disolución.

4.2.2. Hidratación.

Estos arracimamientos iónicos, conducen a la formación de una solución sobresaturada, llamada también "solución intersticial" ya que se están hidratando las fases anhidras. Estas coexisten con el dihidrato, que neutraliza su carga iónica con respecto al exterior, pierde solubilidad y precipita en un estado sólido que denominaremos gérmenes, núcleos o cuerpos de fondo.

La velocidad de hidratación estará relacionada con: la diferencia de solubilidades para cada temperatura, la cantidad de fases anhidras disueltas en cada instante, y la presencia de sustancias extrañas (4.3.2. Aditivos en disolución).

Teorías.

La teoría más antigua y ampliamente aceptada del mecanismo de hidratación del yeso se debe a Lavoisier, quien la formuló en 1765, suponiendo la solución del semihidrato y la posterior precipitación de cristales aciculares del dihidrato por ser menos soluble.

E. T. S. A. de M.
BIBLIOTECA

Según la teoría de Le Chatelier (121, 122), el fraguado y endurecimiento del yeso se produce por la formación alrededor de las partículas de éste, de una solución saturada respecto al semihidrato, pero fuertemente sobresaturada respecto al dihidrato. Comienza así rápidamente la cristalización del yeso, bien espontáneamente o, lo que en general es más probable, a partir de núcleos de dihidrato que han permanecido sin modificar a través del proceso de cocción. Se disuelven entonces nuevas cantidades de semihidrato, continuando este proceso hasta su hidratación y cristalización total en forma de dihidrato. La contínua disolución de nuevas cantidades de yeso cocido compensa el empobrecimiento de la solución causado por la separación de cristales de dihidrato. Los cristales se desarrollan en muchos puntos contíguos, dando lugar a agrupaciones de forma radial y de interposiciones de éstas, formando un entramado cristalino, que constituye el conglomerante endurecido y es una de las causas de su resistencia.

Hayden supuso que la hidratación consistiría en una consolidación física debida a fenómenos de absorción y de unión de zonas cristalizadas por efecto capilar.

Existe una teoría debida a Cavazzi (44), Baykov (26), Traube (200), Ostwald y Wolski (158) y Neville (151), según la cual la hidratación del yeso consiste en un proceso coloidal. Según Cavazzi, al mezclar yeso con agua se forma un gel intermedio, a partir del cual se desarrollan los cristales aciculares de éste. Traube mantiene, igualmente, que el fraguado del yeso es debido a la coagulación del gel

del yeso. Tanto Cavazzi como Baykov prepararon y describieron materiales que se suponen son geles de yeso. Cavazzi produjo un "gel" con la adición de alcohol etílico a una solución saturada de yeso. Baykov formó una masa gelatinosa, que decía, parecía un gel de sílice, a base de agitar una suspensión de yeso en una solución de sulfato de amonio.

Posteriormente Chassevent (55) investigó los efectos termodinámicos en la hidratación del yeso y no encontró evidencia alguna de la formación de gel. Weiser y Moreland (213) coincidieron con Chassevant en que el período inicial de inhibición de la hidratación estaba causado por la falta de núcleos de yeso sobre los cuales pudieran formarse cristales de yeso, y no por una fase intermedia de gel.

Algunas observaciones recientes referentes a la formación intermedia de polihidratos termodinámicamente inestables, podrían explicar lo que observaron los promotores de la teoría coloidal.

A falta de confirmaciones de las teorías coloidales, utilizamos las teorías de Le Chatelier para analizar el comportamiento conjunto del yeso reforzado con los polímeros sintéticos.

4.2.3. Crecimiento cristalino.

En la teoría de la nucleación está postulado que los agregados de iones o moléculas se forman por fluctuaciones

estadísticas en la solución. Para pequeños agregados el crecimiento sucede inversamente al gradiente de energía libre, pero después de cierto tamaño de los agregados el componente de energía libre de los iones o moléculas en la masa de sólido crece predominantemente, de modo que un mayor crecimiento del agregado es acompañado por una disminución de la energía libre y una formación estable del precipitado.

El gradiente de crecimiento de pequeños precipitados iónicos en soluciones acuosas está relacionado con la presencia de ordenaciones de moléculas de agua agrupadas alrededor de un ión central, como veíamos anteriormente con las diferencias que se establecían en función del tamaño y de la carga.

El crecimiento cristalino es un fenómeno relativamente complejo debido a la aparición de los denominados gérmenes, núcleos o cuerpos de fondo. Estas nucleaciones son estables ya que están formados por la fase hidratada del sistema, creciendo hasta que sobrepasa su tamaño crítico o contiene un número suficiente de moléculas, en función de los fenómenos descritos en el apartado anterior.

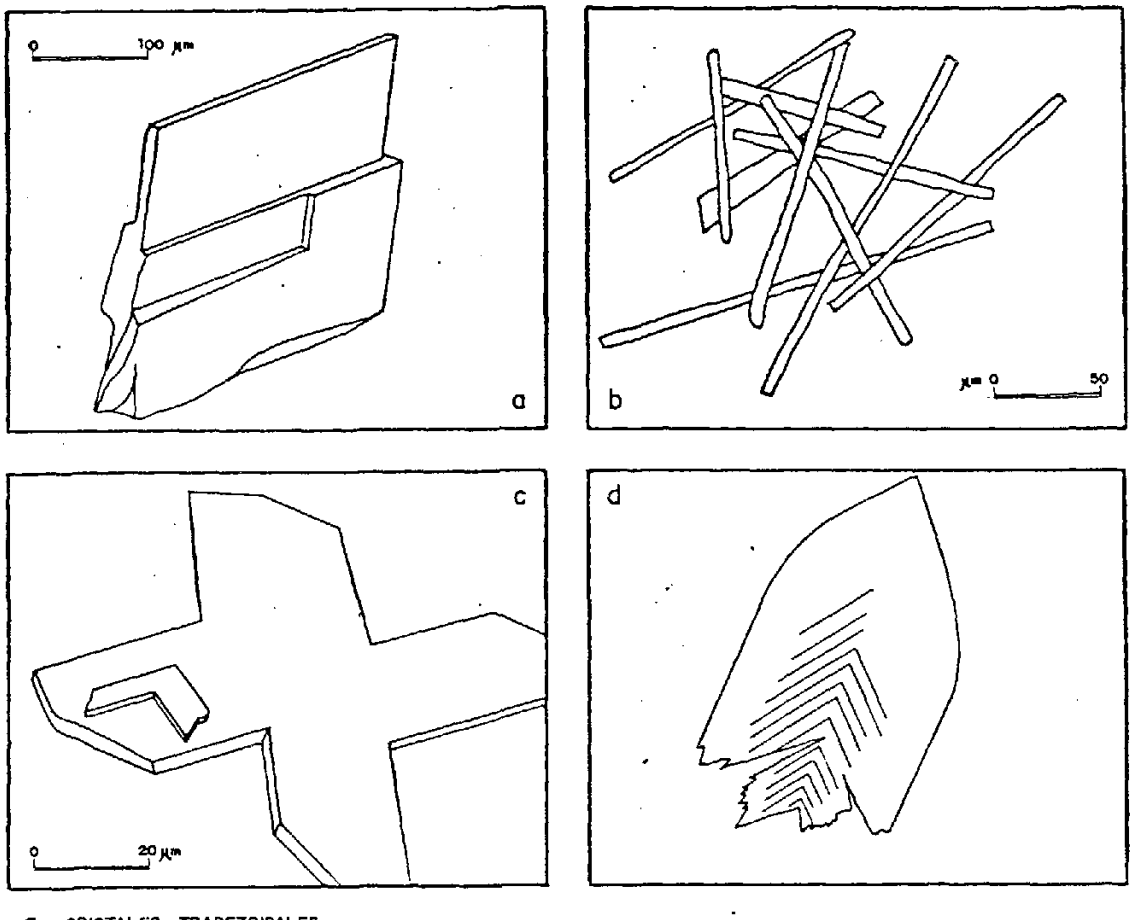
Como estas nucleaciones crecen por aporte de cristales, a partir del estado líquido sobresaturado que los rodea, cabe esperar dos casos en relación a su tamaño:

- La formación de muchas nucleaciones de tamaño bastante reducido con un crecimiento uniforme en la fase líquida intersticial a causa de la concentración del agregado existente.

- La formación de pocas nucleaciones, con un crecimiento mayor, formando cristales de gran tamaño.

Tipos de cristales.

Formalmente, y dependiendo de la agregación iónica formada en la disolución, los cristales de dihidrato pueden presentar aspectos muy variados; desde los cristales trapezoidales masivos de Häny (45), hasta las formas prismáticas alargadas de tipo circular, pasando por las mallas de Dejong y Bouman (145) (cuyos cálculos cristalográficos fueron realizados por Simón y Bienfait (115)), o por las maclas, lisas, escalonadas, o gemelares como es el caso de las de frac o de cola de golondrina.



a CRISTALES TRAPEZOIDALES
b CRISTALES CIRCULARES
c MACLAS
d CRISTALES GEMELARES

La existencia de estas maclas depende de la sobresaturación existente en la disolución, de la velocidad, de la temperatura y de las impurezas existentes.

Es también importante el proceso que siguen las nucleaciones en su cristalización, ya que según Burton, Cabrera y Frank (38) el mecanismo de crecimiento de los arracimamientos iónicos en espiral es el responsable de la aparición de las dislocaciones de tornillo, estando el número de éstas relacionado con la velocidad de crecimiento.

Si se crea un sistema coloidal en el cual existan unos límites de fase muy dilatados, aparecerán dos tipos de cristales, unos prismas monoclínicos aciculares delgados y unos ligeros cristales gemelos en forma de cola de golondrina (o de frac).

Según W.A. Cunningham, R.M. Dunham y L.L. Antes (54) estos cristales son formaciones de dihidrato, y no productos resultantes de una evaporación del agua. Estos cristales gemelos comunican al sistema características de coloide, pero nunca de gel (en el sentido de la definición clásica del mismo), siendo probable que su presencia sea responsable en gran medida de las conclusiones de Cavazzi (44).

La estructura de estos cristales gemelos presenta una superficie estriada, probablemente causada por formas aciculares monoclínicas extremadamente pequeñas, dispuestas paralelamente unas con otras, y unidad entre sí por una hilera de enlaces iónicos, posiblemente por intermedio de moléculas de agua.

Según los citados autores (54) con la formación de cristales gemelos el yeso adquiere una tercera simetría, alcanzando de este modo una configuración más estable. Consecuentemente la variedad gemelar del yeso tiene un contenido de energía libre más bajo que los demás. Por esta razón la presencia de cantidades mayores o menores de cristales de yeso gemelos puede explicar las diferentes temperaturas de calcinación aparente de algunos tipos de yeso.

Velocidad de crecimiento.

La velocidad de crecimiento cristalino está relacionada con la velocidad de hidratación de las fases anhidras (4.2.2. Hidratación), en donde según la teoría de precipitación de Weirmarn:

$$W = \frac{Q - L}{L} = \frac{P}{L}$$

W: Velocidad de la precipitación inicial.

Q: Cantidad de sustancia que se precipita.

L: Solubilidad del precipitado.

P: Sobresaturación absoluta.

La modificación de la velocidad de fraguado estará relacionada con la variación de cualquiera de los parámetros anteriores, y con la agrupación de cualquier sustancia en la

fase de hidratación que modifique la velocidad de nucleación según Weiser y Moreland (213).

En general la hidratación se acelera con la adición de un electrolito y se retarda con la adición de polímeros sintéticos, según indica el bajo coeficiente de solubilidad del semihidrato. Las moléculas de larga cadena son incorporadas participando del fenómeno de hidratación, reduciéndose la solubilidad y disminuyendo la sobresaturación, aminorando por tanto la velocidad de nucleación, y ralentizándose la formación de la estructura cristalina.

La velocidad de crecimiento es un factor que rige las propiedades mecánicas del producto final. Un crecimiento rápido conduce a la aparición de cristales de pequeño tamaño con imperfecciones. Un crecimiento lento favorece la formación de cristales de mayor tamaño con organizaciones atómicas equilibradas que evitan la aparición de defectos cristalinos.

Determinados factores físicos ejercen también cierto influjo sobre la velocidad de crecimiento cristalino, como son la temperatura del agua de amasado, la relación agua-yeso, el tiempo transcurrido desde la cocción y molido, el tamaño de las partículas, etc. Según L.E. Chassevent (55) si se amasa el yeso con agua caliente de modo que la masa prmanezca por encima de los 60°C, se puede mantener fluida durante horas, si se evita la evaporación del agua; fraguando rápidamente al enfriar a 40°C, debido a la inestabilidad de dihidrato por encima de los 42°C. Ostwald

(158) afirma que el yeso recién cocido fragua más rápidamente que el mismo material transcurrido un cierto tiempo.

4.2.4. Resistencia mecánica.

Es lógico pensar que tanto el tamaño como la forma de los cristales o la existencia de imperfecciones cristalinas afectarán a la resistencia final del yeso hidratado.

Las razones exactas de la resistencia del yeso son difíciles de determinar; tanto por un examen visual, (con dificultad de preparación de láminas delgadas debido a su escasa resistencia al corte, y de observación por la falta de contraste entre los diferentes cristales), como por las técnicas convencionales.

Haddon (10) afirmó que la existencia de una película intercristalina es la responsable de la resistencia mecánica del conjunto. Este fenómeno es similar al que en los metales causa la adhesión entre los cristales adyacentes y los une en una masa con cohesión interna.

Se puede atribuir entonces el aumento de las resistencias mecánicas a la cristalización de la fase acuosa intersticial, fenómeno que provoca un refuerzo de la solidez de la estructura cristalina en los puntos de contacto existentes entre las nucleaciones, mejorándose el estado cristalino por la eliminación de las tensiones internas. Este fenómeno está lógicamente muy ligado con la formación

de meniscos en la fase líquida, que desaparecerán posteriormente con esta cristalización, aceptando la hipótesis de Le Chatelier, según la cual la trabazón existente entre los cristales es la base de la resistencia del yeso fraguado.

Luego las propiedades mecánicas dependen, no sólo de la forma, tamaño y distribución, sino también de las relaciones de proximidad física que se establecen entre ellos; es decir, de los fenómenos de adherencia, ya que el entretejido y trabazón entre los cristales, (que se sitúan unos con respecto a otros sin regularidad ni orientación, sino de forma aleatoria) está provocado por fuerzas de atracción intercristalinas en los puntos de contacto entre éstos.

Con respecto a las cristalizaciones son preferibles los cristales de menor tamaño para lograr mayores valores de resistencia, porque los defectos cristalinos se manifiestan con mayor incidencia en las grandes organizaciones cristalinas, disminuyendo notablemente su resistencia mecánica.

La presencia de maclas no es deseable, por generar materiales más frágiles que los formados por cristales trapezoidales o aciculares. La frecuencia de aparición de estas maclas depende de la sobresaturación, de la velocidad, de la temperatura y de las impurezas, siendo mayor cuando se hidrata un semihidrato (α o β) puro, que cuando se hidrata uno de tipo industrial (con anhidrita II), ya que éstos generan un entrecruzamiento de cristales aciculares.

Adherencia.

Se han analizado anteriormente los fenómenos que se producen durante el fraguado del yeso, en relación directa con el aumento de resistencia mecánica, comprobándose que tanto la naturaleza como la cantidad, forma y disposición relativa de los cristales de dihidrato, y de las distintas fases presentes en la estructura de sulfato cálcico, son factores importantes para las propiedades que se obtendrán de resistencias mecánicas.

Vamos a analizar los fenómenos que suceden en la capa límite exterior, o interior cuando está en contacto con un elemento extraño, que podemos denominar fenómenos de adherencia.

Como el comportamiento de los cristales de dihidrato y su estructura son los responsables de la resistencia interna y por tanto de las fuerzas cohesivas o adherencia interna, es necesario que la capa límite superficial esté convenientemente ligada con la estructura interna. Pueden existir interferencias en base a las distorsiones que las tensiones superficiales existentes provoquen durante el proceso de disolución e hidratación, entre la masa de yeso y las superficies, bien del molde o de elementos agregados.

Debido a los insuficientes conocimientos relativos al comportamiento de las estructuras de dihidrato, sólo será posible establecer interpretaciones cualitativas.

La estructura de la zona de contacto viene determinada fundamentalmente por la naturaleza del soporte, al que se puede considerar como generador de nucleaciones. Este comportamiento está favorecido por la porosidad del soporte absorbiendo agua de amasado con moléculas de sulfato cálcico disueltas.

Por tanto la formación de la estructura de dihidrato comienza directamente sobre el soporte, siempre que éste sea de estructura porosa o presente una atracción dipolar superficial. En ambos casos las nucleaciones se producen a partir de la superficie con un desarrollo hacia el interior de la masa, provocando un anclaje global de la estructura cristalina bien en el sistema de poros o bien basándose la unión en las fuerzas de valencia secundaria, principalmente por puentes de hidrógeno o fuerzas de Van der Waals.

Mecanismos de adherencia.

Ohnemüller (154) recapituló los mecanismos de adherencia en lo referente a la adherencia con superficies pétreas, agrupándolas en dos tipos fundamentales: adherencia mecánica y adherencia química. La adherencia mecánica supone, como veíamos antes, que la estructura del dihidrato se adapte al soporte, constituyendo una estructura de enganche. La adherencia química la estudia en función de la solidez de la unión química, no existiendo zonas límites. Este es el caso que describíamos anteriormente, el más simple, produciéndose la adherencia o fuerza de unión por fuerzas de Van der Waals o puentes de hidrógeno, que

podríamos denominar unión directa por intercrecimiento cristalino.

H. Sholze (182) afirma en su ponencia sobre "la estructura de contacto y de la superficie en los enlucidos de yeso" que esta estructura secundaria es la responsable de la adherencia a materias compactas, encontrándose buenas adherencias con superficies muy pulidas, casi especulares, en donde la rotura se ha producido siempre en la estructura del dihidrato.

Estas fuerzas secundarias son responsables no sólo de generar nucleaciones de dihidrato, sino también de producir orientaciones de los cristales subsiguientes, durante su proceso de crecimiento. A esto está ligado el fenómeno esencial de la inserción de cristales superficiales en la estructura límite próxima. Este fenómeno es determinante desde el punto de vista de ensamblaje con la estructura del dihidrato en el interior de la pasta que está fraguando; por tanto es determinante también la adherencia, luego la formación de la adherencia es un proceso que no se produce instantáneamente sino que va evolucionando durante el proceso de fraguado.

Ludwing (128, 129) piensa que el afieltrado o el solapamiento de los cristales en formación puede conducir a una unión mecánica consistente después de la hidratación, es decir, tras el desarrollo individual de los cristales o de las redes cristalinas. Sin embargo, este proceso no se ha comprobado experimentalmente en relación con el aumento de resistencias mecánicas.

Resumiendo, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- El problema de la adherencia no tendrá una solución completa hasta que se conozca mejor la estructura del dihidrato.

- La adherencia viene determinada por la naturaleza de la formación de la estructura del dihidrato.

- Para una buena adherencia es imprescindible la unión entre los cristales de dihidrato superficiales y los internos, estando relacionada con la velocidad de su formación.

- Las variaciones de volumen que se puedan producir después de la formación de la estructura del dihidrato, pueden provocar tensiones que influyan en los valores de adherencia conseguidos e incluso anularlos.

- Las variaciones de volumen que suceden pueden provocar la anulación de la adherencia.

- La adherencia depende de las características del material con el que se establezca el contacto, hidrófilo o hidrófobo, saturado o seco, no correspondiendo a un valor fijo y siendo función, entre otros datos, del tiempo y del medio ambiente.

- La estructura del dihidrato en la superficie formada libremente se distingue mucho de la estructura de la superfice de contacto, ya que esta última es más plana, pudiéndose hablar de una estructura bidimensional de la superficie. Sin embargo, la estructura límite próxima presenta una gran analogía con la estructura tridimensional interna, siendo por tanto aquélla más densa que ésta.

- Las características de la adherencia dependen también de la relación de escalas entre la estructura del dihidrato y el tamaño de los materiales con los que se establezca el contacto. Esta adherencia puede producirse por relación directa de los cristales de dihidrato al soporte, o por incorporación de la superficie del soporte en la estructura cristalina del dihidrato.

Es interesante observar las conclusiones obtenidas por H. Sholze (182, 183) con respecto a la influencia en la estructura del yeso de un soporte de cemento.

- La estructura del dihidrato inmediatamente adyacente a la superficie del cemento es más densa que la estructura que se prolonga en el interior del enlucido.
- La estructura del dihidrato se adapta a la rugosidad de la superficie de cemento, lo que conduce a un anclaje muy íntimo.
- Los altos valores de adherencia corresponden a la resistencia a tracción propia del yeso para enlucir, porque las roturas no se producen en la zona de contacto sino en la estructura del yeso. Incluso con

saturación completa se puede observar alguna adherencia.

4.3.0. Adiciones.

La adherencia macroscópica se puede analizar en base a contactos superficiales con otros materiales e internos con fibras.

En las relaciones entre superficies la adherencia mejora con superficies hidrófilas, con aquéllas que contengan grupos OH y con aquéllas que presenten una superficie rugosa o porosa.

4.3.1. Fibras.

En las relaciones internas como es el caso de la fibras, el comportamiento puede apreciarse determinando su fuerza de extracción.

$$F_{ad} = 2\pi\ r\ l\ \tau$$

Siendo r el radio de la fibra, l la longitud de la fibra y τ la tensión tangencial de adherencia.

Dividiendo por la superficie de la sección se obtiene la fuerza de adherencia unitaria.

$$F_{adu} = \frac{l\ \tau}{r}$$

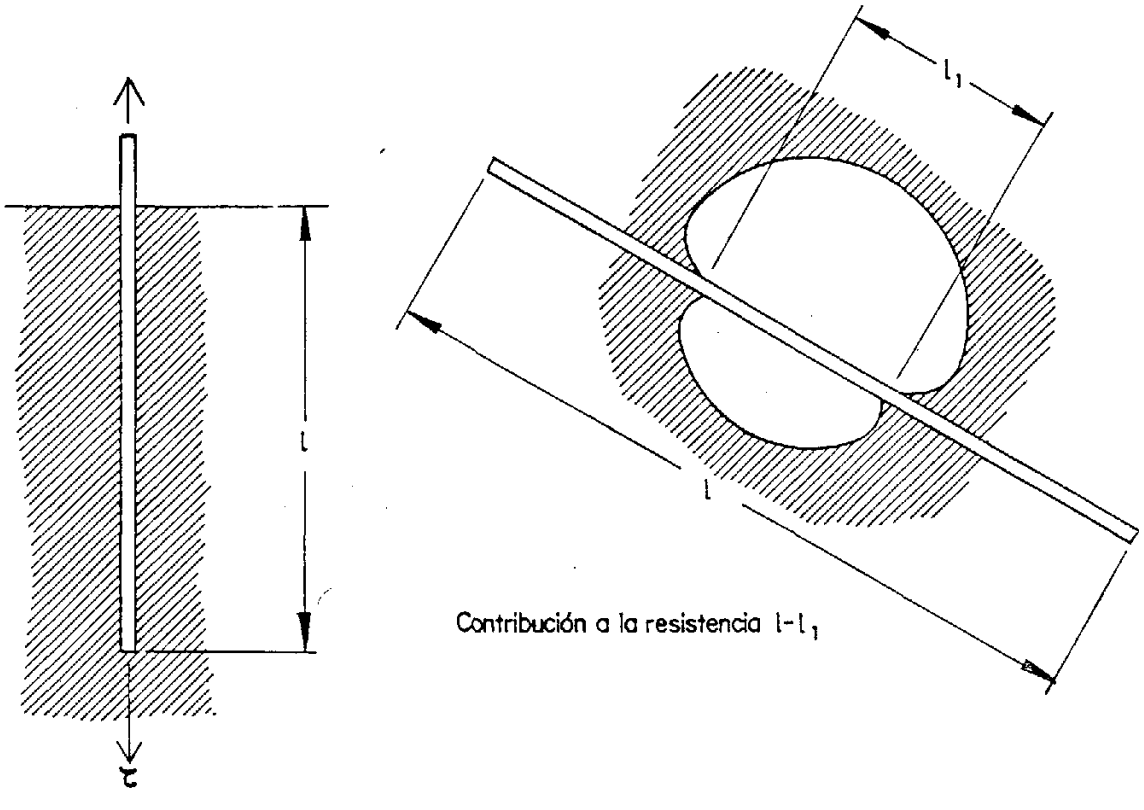
E. T. S. A. de M.
BIBLIOTECA

Multiplicando por el volumen global de las fibras V_F, se obtiene la contribución al aumento de resistencia en función de las fuerzas de adherencia.

$$R = F_{ad}\ V_F = \frac{l\ \tau\ V_F}{r}$$

Siempre que V_F sobrepase un valor mínimo.

La contribución a la resistencia es tanto mayor cuanto mayor sea la fuerza de adherencia y cuanto más compacto sea el interior de la matriz, ya que esta contribución al aumento de resistencia es nulo en la longitud en que ésta está envuelta por un poro.



Contribución a la resistencia $l-l_1$

Las propiedades mecánicas finales no dependen sólo del porcentaje de fibras añadido, sino también de la adherencia

específica entre la fibra y la matriz, cuya contribución es fundamental en la resistencia del material híbrido.

4.3.2. Aditivos en disolución.

Un tipo especial de aditivos está formado por los agentes de pegado, que son dispersiones de materia sintética que, tras su aplicación, proporcionan una capa compacta. La materia sintética rodeará totalmente a los distintos cristales de dihidrato (4.2.1. Disolución).

Este fenómeno favorece la formación de cristalizaciones extensas de generación lenta, desapareciendo gran parte de las nucleaciones iniciales de dihidrato. Esta precristalización posibilita el ensamblaje macroscópico con otros elementos.

Si esta recristalización se realiza sin la presencia de polímeros sintéticos en dispersión se produce una disminución sistemática del yeso fraguado.

En base a estas conclusiones se podría pensar sin un fundamento sólido, como se vería más adelante, que la aportación de aditivos en disolución no sólo modifica los tiempos de fraguado al producir recristalizaciones sino que provocan irremisiblemente y de modo sistemático disminuciones de la resistencia mecánica. Esta conclusión no tiene en cuenta elefecto aglutinador en la fase de dispersión que algunos aditivos poliméricos poseen con respecto a las nucleaciones de dihidrato.

Esta modificación del tiempo de fraguado es coherente con la teoría de Le Chatelier que explica los fenómenos de fraguado en función de las diferencias de solubilidad de las distintas fases. La presencia de cuerpos extraños lógicamente puede aumentar o disminuir la solubilidad y velocidad de disolución del semihidrato, y modificar el grado de saturación preciso para que comience la cristalización del dihidrato.

De acuerdo con esto, Rohland (173) afirma que las sustancias que disminuyen la solubilidad del semihidrato son retardadores y las que la aumentan son acelerantes, coincidiendo con Desch (65).

Traube (200) mantiene que la coagulación del yeso es acelerada por la adición de electrolitos y retardada por los coloides.

Genéricamente se puede afirmar que los acelerantes producen una cierta disminución en los valores de resistencia finales, y los retardadores elevan la dureza y resistencia, posibilitando, la disminución de la cantidad de agua añadida. Sin embargo F.C. Welch afirma que los retardadores tienen un marcado efecto debilitante, por lo que es necesario establecer un análisis más detallado.

Clasificación de los aditivos.

F. Graf, F. Rausch, F.C. Welch, (108) agrupan a los aditivos en dos grupos, con la siguiente clasificación:

- Retardadores.

1er grupo: Sustancias que disminuyen la solubilidad del yeso: glicerina, alcohol, acetona, éter, azúcar, ácidos acético, bórico, cítrico, fosfórico y láctico y, sus sales; sosa.

2° grupo: Compuestos orgánicos de elevado peso molecular que actúan como coloides protectores: queratina, caseína, cola, albúmina, goma arábiga, gelatina, proteínas, etc.

3er grupo: Sustancias que influyen en la estructura cristalográfica del yeso; acetato cálcico, quizá también carbonato cálcico y carbonato magnésico.

- Acelerantes: Todos los sulfatos, con excepción del ferroso y del férrico; ácidos sulfúrico, clorhídrico y nítrico; nitratos, cloruros, bromuros y ioduros alcalinos y de amonio; cloruro de aluminio; dicromato potásico; silicato sódico; tartratos y oxalatos en concentraciones elevadas; y jabón.

Influencia de los polímeros sintéticos.

De la totalidad de posibles aditivos, vamos a analizar únicamente los polímeros sintéticos cuya comprobación práctica realizamos.

Packter (159) estudió la disminución en el tamaño de l partículas de los depósitos de diversas soluciones s esaturadas, de sales metálicas insolubles, causadas por l ıdición de polipéptidos, ácidos polisacáridos, coloides n iónicos polohidroxílicos y simples agentes activos s rficiales.

Moilliet, Collie y Black (141) interpretaron los resultados de Packter en relación con los agentes activos superficiales, reduciendo la tensión interfacial de las partículas muy pequeñas que se formaron al comienzo de la precipitación, pero sin interferir con la sedimentación. Ellos sugieren (estudio de los fenómenos de disolución e hidratación 4.2.1., 4.2.2.) que la presencia de esta energía superficial favorece la formación de un buen precipitado porque incrementa el número de nucleaciones efectivas en las fases iniciales de la precipitación, y reduce la tendencia de las grandes partículas a crecer a costa de las pequeñas.

Como las soluciones están nucleadas heterogéneamente, hay dos posibles explicaciones para el incremento del número de partículas causadas por el aditivo:

- En ausencia de aditivo sólo los núcleos mayores crecen para formar cristales macroscópicos; la

sobresaturación baja demasiado rápidamente para que los núcleos menores se desarrollen hasta el punto donde la tensión interfacial es significativamente más elevada que la de los grandes núcleos. En presencia de aditivo con un índice de absorción finito, parece probable que los núcleos mayores sean retardados porque sus superficies serán medianamente viejas. Esto capacita a los núcleos menores para crecer, incorporando aditivo y continuando el proceso. Cuando la mayor parte de aditivo ha sido incorporado y comienza el crecimiento normal, el número de núcleos disponibles es mayor que en caso de ausencia de aditivo.

- En ausencia de aditivo el número final de cristales es una fracción del número de núcleos iniciales a causa de la coagulación y subsiguiente recristalización durante la precipitación. En presencia de aditivo incorporado, la coagulación es evitada y el número final de cristales es aparentemente superior.

Ambos mecanismos pueden operar simultáneamente, en base a la actuación de los polímeros sobre los efectos de disolución analizados. Sobre todo para altas concentraciones de aditivos y cuando éstos son de elevado pero molecular, la agregación tiene lugar por un mecanismo puente en el cual algunas moléculas de polímero son incorporadas simultáneamente en más de un cristal pequeño. Este mecanismo puente ha sido tratado extensamente por La Mer y Healy (116).

Los efectos de estabilización de polímeros en sistemas dispersos han sido analizados por Heller (94), según el cual las interferencias estéricas de las moléculas de polímero incorporadas en dos partículas evitaría su coagulación. El polímero incorporado aumenta el campo electrostático alrededor de las partículas.

La prevención de la coagulación (o maduración de la incorporación) por moléculas incorporadas de polímeros puede contribuir por sí misma a la retardación del crecimiento cristalino producido por el aditivo. Albon y Dunning (4) han sugerido que un importante mecanismo de producción de las dislocaciones de tornillo puede implicar el contacto de dos caras de cristal, escalonadas con un ligero desalíneamiento. Esto podría dar como resultado un incremento permanente del índice de crecimiento en el plano de contacto, tal como se forma una parrilla entrecruzada de dislocaciones, interfiriendo el crecimiento de los cristales.

De modo parecido, la difusión superficial podría ser retardada, por la presencia de moléculas extrañas en las capas incorporadas, especialmente por las moléculas del polímero fuertemente adheridas en la superficie del cristal.

Entre los aditivos incorporados a la superficie Cabrera y Vermilyea (40) distinguieron dos grupos: móviles e inmóviles; los móviles deberían retardar mucho menos el fraguado.

Algunos aditivos podrían reducir el índice de difusión interna, por reducción del área de cristal no incorporada por las moléculas de aquél.

Se puede extraer como conclusión que los aditivos modifican el hábito de cristalización, aumentando la fuerza de adherencia en las caras de los cristales.

Otro efecto aparente es la reducción del tamaño medio de los cristales, en relación directa con el aumento de aditivos en la concentración, incrementándose el período de inducción y reduciéndose el índice de crecimiento global.

El aumento de la fuerza de adherencia está en relación directa a la polaridad molecular del aditivo, estando relacionado con la modificación de la tensión interfacial entre los cristales.

De toda la amplia variedad de tensoactivos se puede sacar un denominador común: se componen de una parte hidrófila y de una parte lipófila, variando las características según predomine una u otra (dispersantes, espumantes, humectantes, etc.). Se pueden clasificar en función de su carga iónica en aniónicos, catiónicos, no iónicos y anfóteros.

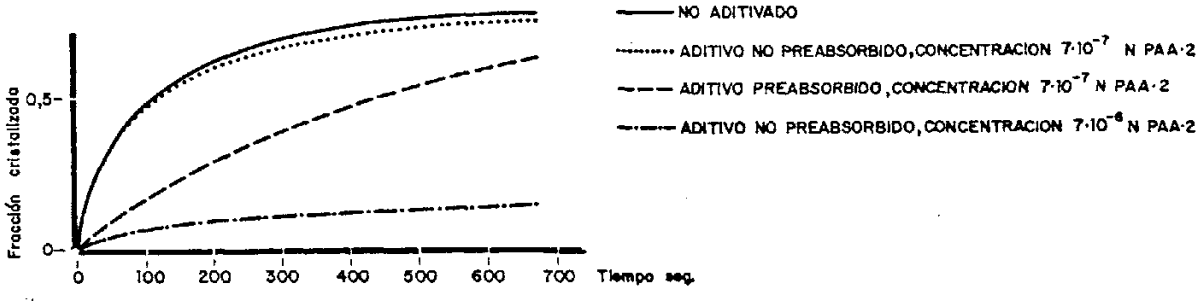
Williams y Ruehrwein (219) han sugerido que el peso molecular influye en la velocidad de incorporación del polielectrolito en el crecimiento del cristal. Postularon que podría existir un peso molecular óptimo para un aditivo dado, con el cual se conseguiría el máximo efecto. Este

óptimo sería el resultado del incremento del grado de incorporación con el incremento del peso molecular, mientras que ellos esperaban que decreciera.

R.A. Kuntze (115) afirma que el tamaño molecular de los hidrolizados es insignificante con tal de que puedan estar hechos para disolver en el agua.

Sin embargo es más importante el efecto de la polaridad de la cadena que la longitud de la misma, siempre que ésta no sobrepase un cierto umbral, en cuyo caso debiera estudiarse su efecto como adición y no como aditivo.

Mc. Cartney y Alexander (148) estudieron el efecto de un gran número de aditivos con el fin de caracterizar los inhibidores más activos y aclarar el mecanismo de su acción. Descubrieron que los polímeros con grupos "carboxyl", ácido poliacrílico y ácido polimetacrílico eran particularmente efectivos, y que el ácido polimetracílico mostraba mucha menos actividad que el ácido poliacrílico en igual concentración, pudiendo deberse en parte al peso molecular más elevado del primero. Otro punto más de diferencia entre ambos es que el ácido poliacrílico posee una molécula más flexible que el ácido polimetacrílico. R.A. Kuntze (115) observó que la retardación sólo es posible cuando existen en una molécula al menos 2 grupos Carboxyl.



Efecto en la cristalización sobre acido poliacrilico segun Mc. Cartney y Alexander.

También realizaron ensayos con poliacrilamina para descubrir si un aditivo polimérico que no fuera polielectrolito, es decir, sin cargas polares, podría tener algún efecto en los fenómenos de fraguado, llegando a la conclusión de que éstos eran prácticamente inexistentes, al igual que en el caso de los aditivos compuestos por polieletrolitos catiónicos.

De todos los aditivos ensayados, únicamente los poliectrolitos aniónicos han actuado como elementos activos.

Estudiando la influencia del ph en la solución de cristalización postularon que el grado de incorporación estaba gobernado por la fracción de grupos ionizados en la molécula y que, por el contrario, las repulsiones intramoleculares entre los grupos cargados podrían causar cambios en las dimensiones moleculares globales en la solución, y tener probablemente efectos similares en el área de la superficie del cristal ocupada por una molécula de polímero incorporado.

Nosotros estudiaremos las influencias que ejercen los polímeros sintéticos seleccionados en el epígrafe 5.5.0.

(estudio comparativo y selección) sobre la variación de propiedades del yeso fraguado.

4.4.0. Tipos de yesos comerciales.

La tipificación y normalización de los yesos está establecida en el Pliego General de Condiciones para la Recepción de Yesos y Escayolas en las Obras de Construcción (RY-85).

YG: yeso grueso de construcción.

Está constituido fundamentalmente por sulfato cálcico semihidrato (SO_4Ca $\frac{1}{2}H_2O$) y anhidrita II artificial (SO_4CaII) con la posible incorporación de aditivos reguladores del fraguado.

YF: yeso fino de construcción.

Está construido fundamentalmente por sulfato cálcico semihidrato (SO_4Ca $\frac{1}{2}H_2O$) y anhidrita II artificial (SO_4CaII) de granulometría más fina que la anterior, con la posible incorporación de aditivos reguladores del fraguado.

YP: yeso de prefabricados.

Está constituido fundamentalmente por sulfato cálcico semihidrato (SO_4Ca $\frac{1}{2}H_2O$) y anhidrita II artificial (SO_4CaII) con una mayor pureza y resistencia que los yesos de construcción (YG e YF).

E30: escayola.

Está constituida fundamentalmente por sulfato cálcico semihidrato (SO_4Ca $\frac{1}{2}H_2O$) con la posible incorporación de aditivos reguladores del fraguado y con una resistencia mínima a flexotracción de 30 Kg/m^2 según apt. 6 UNE 102.031.

E35: escayola especial.

Está constituida fundamentalmente por sulfato cálcico semihidrato (SO_4Ca $\frac{1}{2}H_2O$) con la posible incorporación de aditivos reguladores del fraguado, con mayor pureza que la escayola E30 y con una resistencia mínima a flexotracción de 35 Kg/cm^2 según apt. 6 UNE 102.031.

TIPOS DE YESOS COMERCIALES SEGUN RY·85									
CARACTERISTICAS	TIPOS Y CLASES								
	Y6	Y6/L	YF	YF/L	YP	E·30	E·30/L	E·35	E·35/L
QUIMICAS									
Agua combinada en % maximo	6		6		6	7		7	
Indice de pureza (contenido teorico de sulfato cálcico y agua) en % minimo.	75		80		85	90		92	
Sulfato calcico semihidratado en % minimo.	—		—		—	85		87	
P H minimo	6		6		6	6		6	
FINURA DE MOLIDO									
Retención en el tamiz 0,8 U.N.E. 7.050 en % máximo.	—		—		—	0(*)		0	
Retención en el tamiz 0,2 UNE. 7.050 en % máximo.	50		15		30	5(*)		1	
Resistencia a flexotracción minima en kg./cm^2 (M.Pa) (**)	20(2,0)		25(2,5)		30(3,0)	30(3,0)		35(3,5)	
TRABAJABILIDAD									
Tiempo en pasar del estado liquido al plástico, máximo en minutos	8	20	8	20	8	8	20	8	20
Duración del estado plastico, minimo en minutos	10	30	10	30	10	10	30	10	30

Los subíndices L de los tipos de yesos diferencian la clase lenta, denominada así en función de los períodos de trabajabilidad.

(*) Cuando la E 30 se emplea para ejecutar elementos prefabricados para tabiques (UNE 102020) puede admitirse hasta un 30% en el tamiz 0,2 sin limitar la retención en el 0,8.

(**) los valores en (MPa) son aproximados y tienen carácter indicativo.

5. POLIMEROS SINTETICOS.

5.0.0. Generalidades.

En la tesis los polímeros sintéticos son los agregados que se añaden a la matriz de yeso para reforzar sus propiedades mecánicas.

En el enunciado y fundamenación de la tesis, así como en el estudio de los materiales reforzados, se justifican los criterios de su elección, además de las características que de modo genérico presentan, y que los hace idóneos para el futuro comportamiento conjunto con la matriz de yeso. Debido a la complejidad que presentan, no sólo desde un análisis químico que resulta evidente, sino también desde un análisis de los estados de agregación en los que pueden incorporarse a la matriz, es necesario realizar un estudio en profundidad que clasifique la totalidad de las variables que puedan influir en el comportamiento conjunto, y que se conviertan del mismo modo en herramientas de análisis del proceso experimental de comprobación de la hipótesis enunciada.

Este estudio sobre los materiales poliméricos y su comportamiento mecánico servirá también para ofrecer un amplio espectro sobre la tipología existente y, desde su gran variedad, proceder a un proceso de selección y elección, en base a un estudio comparativo entre las propiedades genéricas que poseen, para proceder posteriormente a su comprobación práctica.

5.1.0. Estructura molecular.

5.1.1. Organización.

Se entiende por polímeros sintéticos a aquellos materiales de naturaleza orgánica, (es decir, basados en la química del carbono) que se organizan en base a moléculas de elevado peso molecular. Estos polímeros debido a la complejidad de sus estructuras moleculares, sólo se pueden obtener desde un proceso industrial de origen químico, siendo por tanto materiales artificiales no existentes en la naturaleza.

Debido a esta organización molecular, son materiales de estructura polimérica y, por ello, clasificables como sólidos no cristalinos; con lo cual, en caso de ser agregados como elementos en dispersión acuosa, no interferirán a los fenómenos de crecimiento cristalino que se generan en la hidratación del yeso, influyendo solamente en las conexiones entre las diversas nucleaciones, como se analiza en el capítulo anterior (4. Yesos).

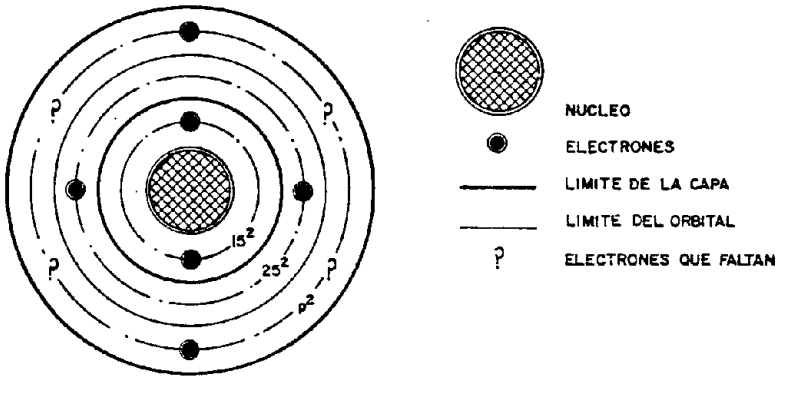
Fuerzas de enlace.

Al estar basados en la química del carbono, utilizan a éste como elemento básico en la organización de la molécula, por tanto, necesitamos analizar sus características y sistemas de enlace, para entender el comportamiento molecular posterior y las posibilidades de formación de las

diferentes moléculas, con el fin de seleccionar los polímeros que agregamos al yeso.

Estructura Electrónica.

Al analizar la estructura electrónica del carbono se observa que le faltan cuatro electrones para completar su orbital extremo y presentar una configuración de gas noble.

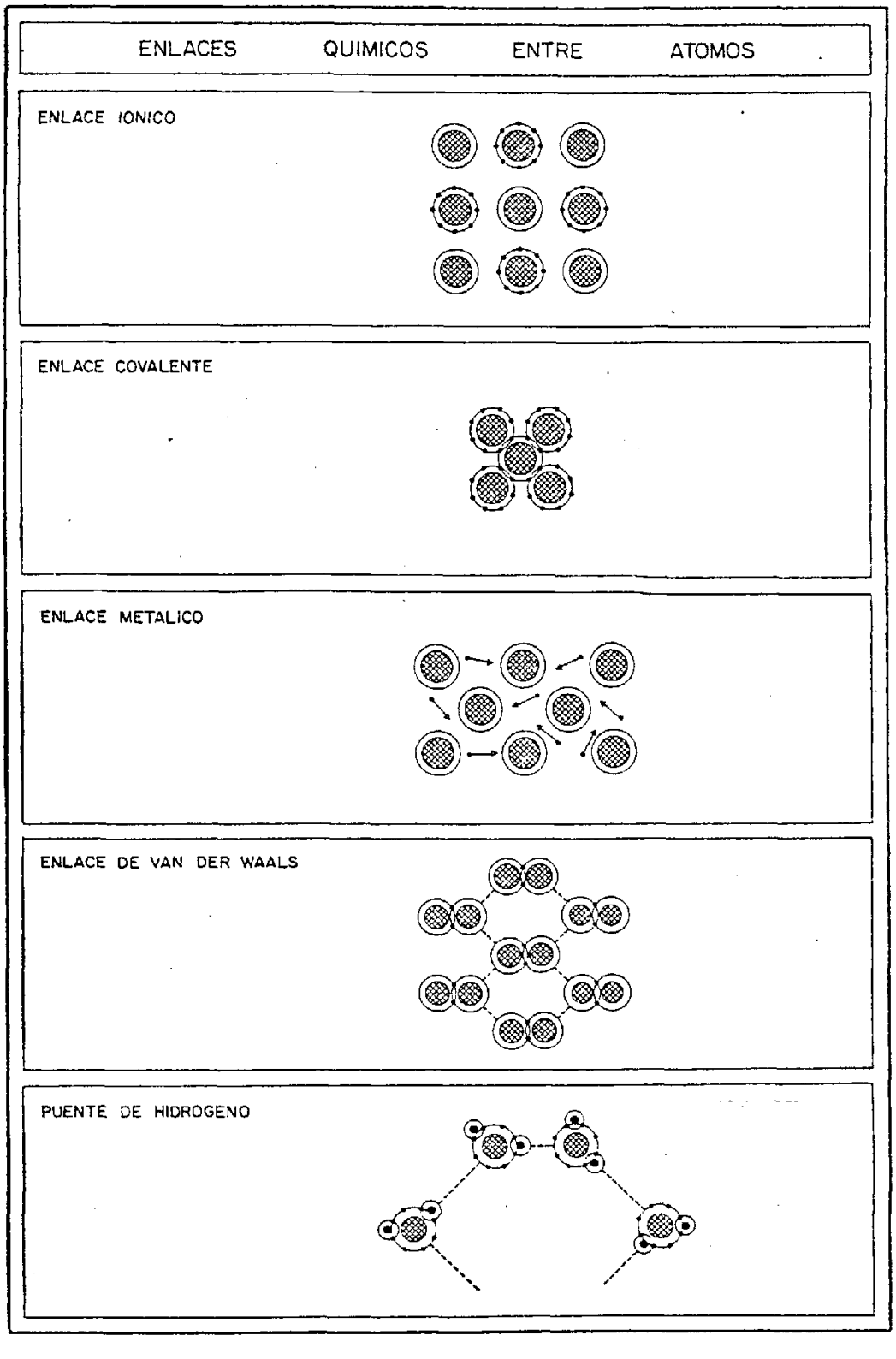


Representación grafica de los orbitales del carbono

Pertenece a aquel grupo de elementos que no poseen energía suficiente para poder captar los electrones que le faltan (ionizándose con cargas negativas), y que tampoco son capaces de ceder los que les sobran en la última capa (ionizándose con cargas positivas) por estar éstos muy cerca del núcleo, necesitándose una gran energía para lograrlo.

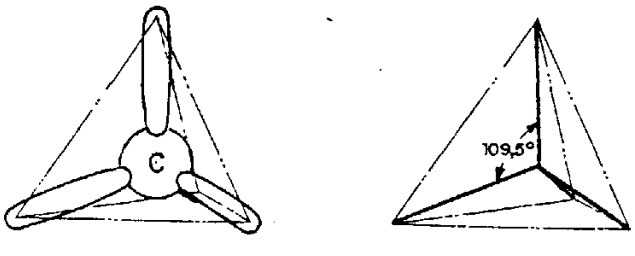
Para completar el orbital exterior, comparte los electrones que necesita con los átomos colindantes que se encuentren en una situación análoga.

Esta posibilidad de compartir electrones se logra modificando las nubes electrónicas que los contienen, que serán comunes para cada pareja de átomos compartidos.



Estas nubes electrónicas modificadas se prolongan hacia el exterior de la región del espacio ocupada por el núcleo y la primera capa electrónica completa. Al poseer una densidad de carga negativa, ejercerán entre ellas una repulsión electrostática, provocando su posicionamiento espacial, y dando origen a lo que se denomina enlace covalente. Este enlace queda definido por la orientación espacial de los enlaces que pueda establecer y por los electrones compartidos en las nubes electrónicas comunes.

El carbono orienta sus nubes electrónicas debido a los cuatro electrones que posee en su segunda capa y los cuatro que le faltan para completarla, distorsionándolas lo más alejadas que puedan entre sí debido a fuerzas de repulsión, formando entre ellas un ángulo de 109,5°, orientándose hacia los vértices de un imaginario tetraedro que tuviese al núcleo y a la primera capa en su centro.



Distorsión de los electrones de valencia en el carbono

Este enlace puede establecerse con cualquier átomo que cuantitativamente presente una electronegatividad pareja al carbono, y se encuentre por ello en igualdad energética para atraer electrones.

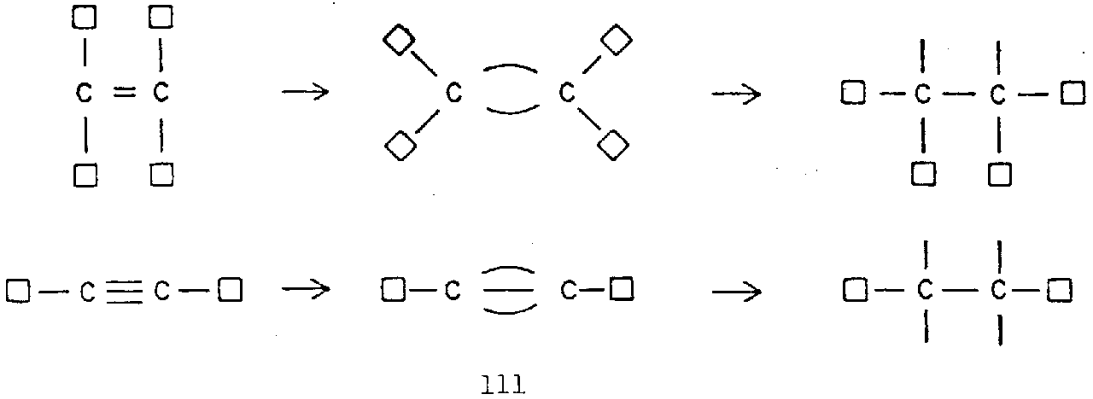
5.1.2. Macromoléculas.

Los polímeros se forman por uniones entre carbonos encadenados consecutivamente, formando grandes organizaciones moleculares.

Formación.

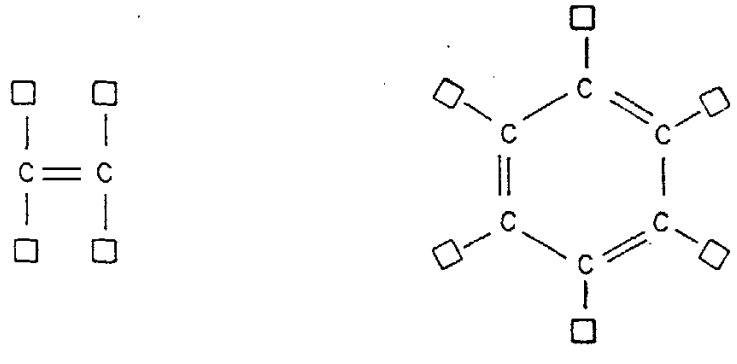
Los polímeros sintéticos se organizan en base a repetición de unidades elementales denominadas monómenos que se repiten en base a leyes periódicas.

Los monómeros presentan características específicas que los definen como elementos inestables, al caracterizarse por poseer enlaces covalentes duplicados o triplicados (denominados también monómeros bifuncionales o trifuncionales); enlaces que, debido a las características anteriormente enunciadas, estarán sometidos a una repulsión muy fuerte entre las dos o tres nubes electrónicas compartidas.



Esta repulsión provocará la rotura de estos enlaces compartidos liberando nubes electrónicas y posibilitando su unión con aquellos elementos que se encuentren próximos y en situación análoga. Este proceso se denomina polimerización y da lugar a largas cadenas moleculares, cuya delimitación depende más de las condiciones formales del molde que de las características del enlace en sí.

Como es evidente, la existencia de enlaces dobles o triples en los monómeros y las características de éstos (constituidos por relaciones de pareja o por anillos del tipo bencénico, independientemente de los elementos que existenen el resto de las nubes electrónicas o enlaces disponibles), da lugar a diferentes tipos de cadenas moleculares, bien lineales en el caso de los primeros, o espaciales en los segundos.



Tipos de monomeros

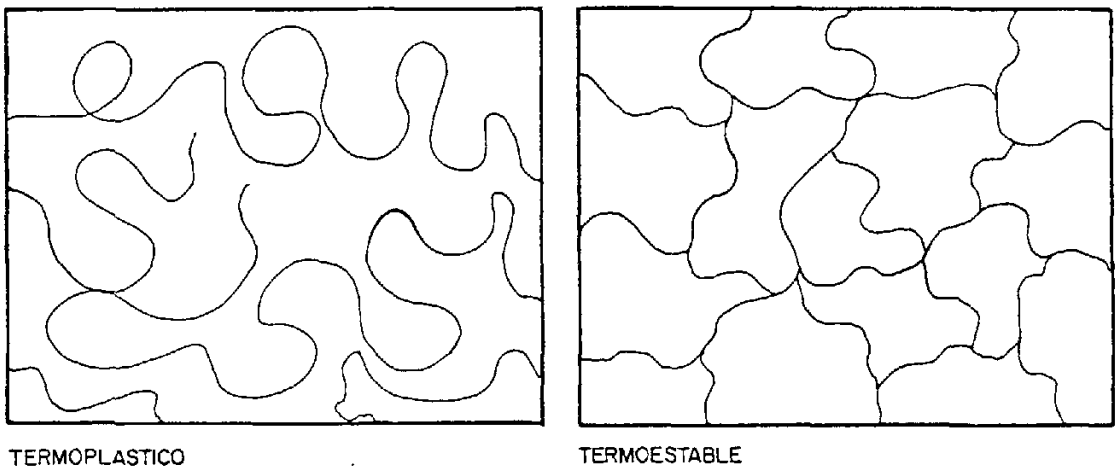
Tipos de cadenas.

El tipo de cadena molecular influye decisivamente en las propiedades del polímero, siendo los responsables de la existencia de la diferenciación en dos grandes grupos de

polímeros sintéticos, llamados termoplásticos y termoestables.

Los termoplásticos son aquellos polímeros sintéticos que poseen moléculas de tipo lineal, y se obtienen por adición de monómeros simples en un proceso de polimerización denominado de adición.

Los termoestables son aquellos polímeros sintéticos que poseen moléculas espaciales, obteniéndose por unión de monómeros complejos en un proceso de polimerización denominado de condensación debido a la presencia de vapor de agua con el polímero obtenido, producida por la presencia de grupos OH en los monómeros.



TERMOPLASTICO

TERMOESTABLE

TERMOPLASTICO

TERMOESTABLE

Existe también un tercer grupo denominado polímeros termoendurecidos o termoendurentes, como estadio intermedio entre los anteriores, que se obtiene por conversión de termoplásticos en termoestables mediante la adición de

catalizadores que provoquen el entrelazamiento de las cadenas moleculares.

Hasta ahora hemos analizado la formación de las moléculas en base a la repetición de una unidad genérica de monómero, pero debido a la no selectividad del enlace con respecto a los grupos laterales que pueda presentar el monómero colindante, es posible producir moléculas que presenten una disparidad de monómeros, denominándose copolímeros, y homopolímeros a aquéllos constituidos por la repetición del mismo.

Por tanto existirán homopolímeros y copolímeros tanto termoplásticos, como termoestables o termoendurentes.

5.1.3. Características generales de las moléculas.

Una vez definidas las características del enlace y los tipos de moléculas, es necesario analizar las características genéricas que presentan las moléculas de los polímeros sintéticos y sus posibilidades de estructuración como son:

a) Gran tamaño del polímero como resultado de la polimerización y de los altos valores de los pesos moleculares.
b) Heterogeneidad de los tamaños de cadenas moleculares.
c) Posibilidad de crear homopolímeros y copolímeros.
d) Estructuras diferenciadas.

e) Variabilidad de las estructuras en función de las características del enlace.

Tamaño.

El tamaño de la molécula está directamente relacionado con las propiedades que el producto posee.

La configuración molecular determina fundamentalmente: el punto de fusión, los aspectos de cristalinidad y su velocidad de crecimiento, la rigidez a la temperatura ambiente y la temperatura de transición vítrea; aspectos que desarrollaremos en el epígrafe 5.2.4. (Movilidad molecular).

El peso molecular incidirá directamente sobre la fluidez, viscosidad, elasticidad y tenacidad.

La mayor longitud de las cadenas moleculares produce un mejor comportamiento mecánico, siempre que se eviten las tensiones residuales y los defectos que se pueden producir durante el flujo del polímero en la fabricación del producto, ya que con aumentos del peso molecular se producen aumentos de la viscosidad y aumentos de los tiempos de relajación que dificultan la movilidad de la masa y generan tensiones internas. Este peligro puede evitarse aumentando la temperatura de transformación, con el riesgo de una posible degradación térmica (epígrafe 5.3.5.), o añadiendo lubricantes que provocarían cambios en sus propiedades físicas. Por tanto con el aumento del peso molecular se dificulta el proceso de fabricación.

Heterogeneidad.

La heterogeneidad de los tamaños de las cadenas moleculares, si no se controla durante el proceso de fabricación, conllevará generalmente una no uniformidad en su distribución interna, empeorando el comportamiento mecánico con la aparición de puntos débiles, pero favorecerá la trabajabilidad en fundido del producto.

Constitución.

La posibilidad de crear copolímeros provoca la aparición de una nueva organización, hasta ahora limitada a su componente lineal o espacial, siendo en ambos casos un producto químicamente homogéneo.

homopolímero A - A - A - A - A - A - A - A

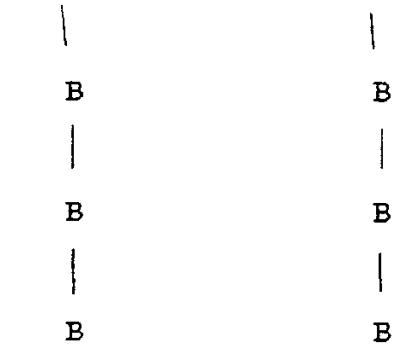
Siendo A el monómero polimerizado.

Los copolímeros, al introducir la posibilidad de mezclar varios monómeros en el proceso de polimerización, abren nuevas posibilidades de diferenciación, que si bien son fácilmente racionalizables para los polímeros termoplásticos, no lo son para los termoestables dada su condición tridimensional de espacialidad.

Esta disposición puede ser: totalmente al azar, produciendo los copolímeros aleatorios; regular o alterna, cuando se produce una secuencia alternante entre los monómeros; en bloque, siempre que la alternancia se produzca

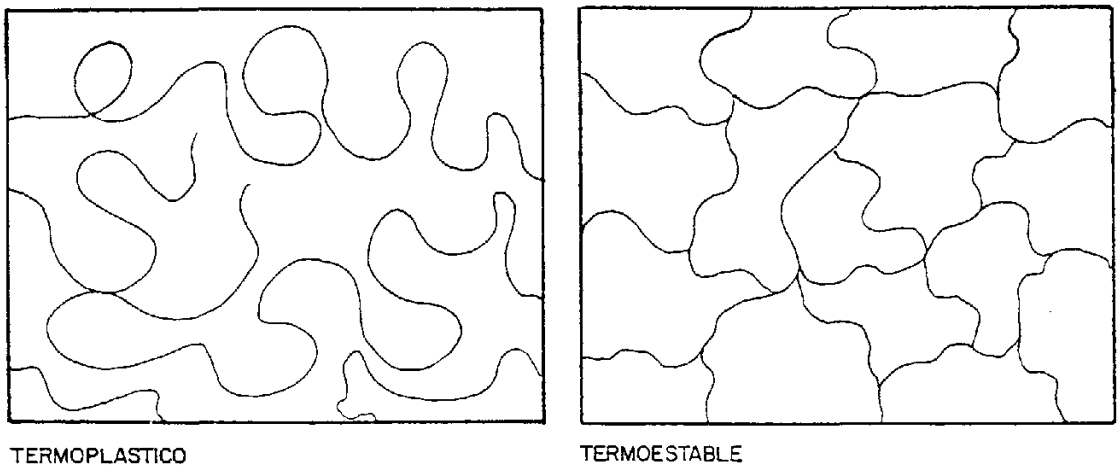
por secuencias de grupos de monómeros; o ramificados, cuando se producen conexiones entre homopolímeros de diferentes monómeros.

Regular	A - B - A - B - A - B -
Aleatorio	A - B - B - A - A - B - A - A - A -
Bloque	A - A - B - B - B - A - A - B - B - B
Ramificado	A - A - A - A - A - A - A - A - A



Variabilidad estructural.

La posibilidad de formación de estructuras diferenciadas aparece desde la división de los polímeros en lineales y espaciales o reticulados.



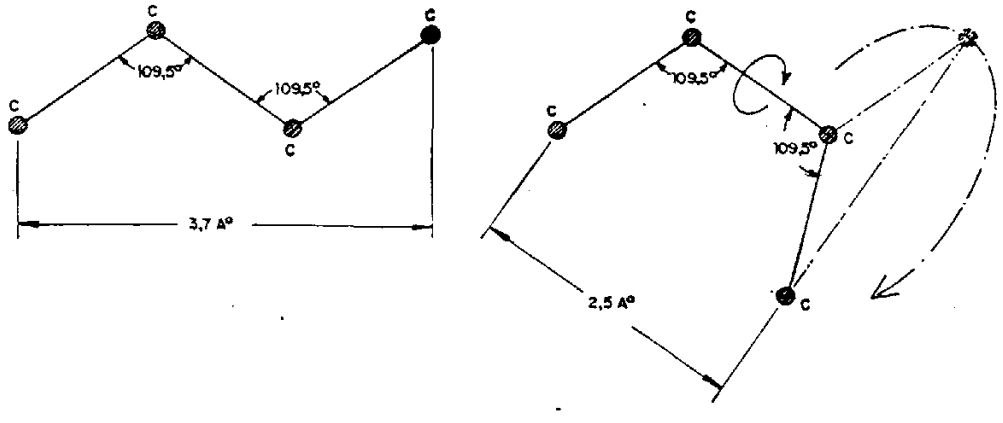
TERMOPLASTICO

TERMOESTABLE

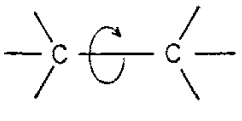
La diferente estructura polimérica provoca comportamientos mecánicos diferenciados, y es responsable también del comportamiento de ésta con respecto a la temperatura.

Conformación.

Dadas las características del enlace covalente es posible el cambio de forma de las cadenas, posibilitado por el movimiento angular.



Esto es debido a que las nubes electrónicas de enlace determinan únicamente una dirección, pero son indiferentes en cuanto al movimiento angular de cada par de átomos entre sí.

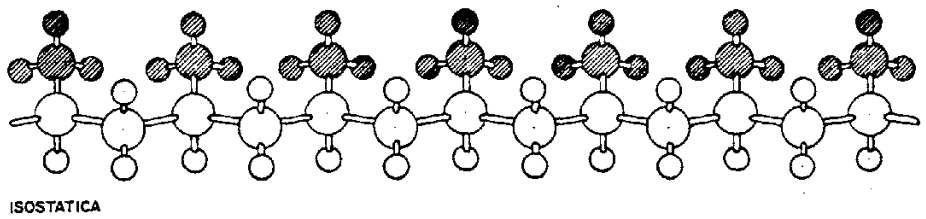


Esta posibilidad de rotación de cada pareja de átomos produce modificaciones en la forma de las moléculas lineales

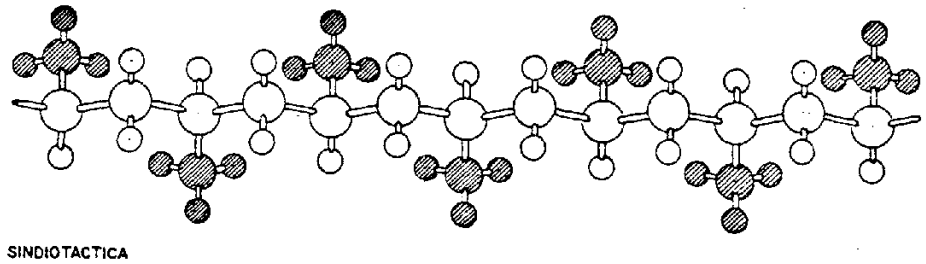
siempre que la temperatura sea suficiente elevada para permitir movilidad. En los polímeros espaciales, dado el nivel de interrelación tridimensional existente, se encuentra impedida esta libertad de movimiento.

Configuración.

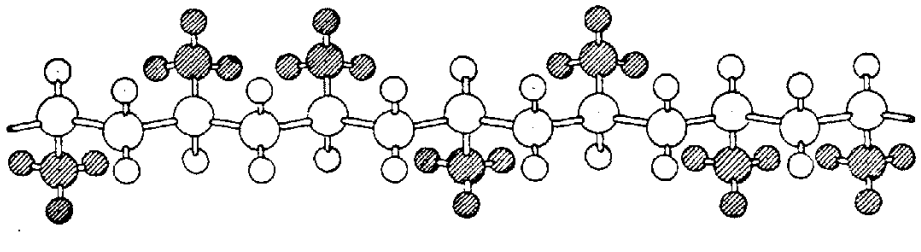
Con respecto a los grupos laterales de la cadena y posibilitados por la libertad angular de los enlaces entre carbonos, siempre que éstos sean diferentes, pueden presentarse tres tipos de estructuras diferenciadas: Isotáctica, cuando los grupos laterales se encuentran diferenciados a cada lado de la cadena; Sindiotática, cuando se produce entre ellos una alternancia; y Atáctica, si su situación es puramente aleatoria.



ISOSTATICA



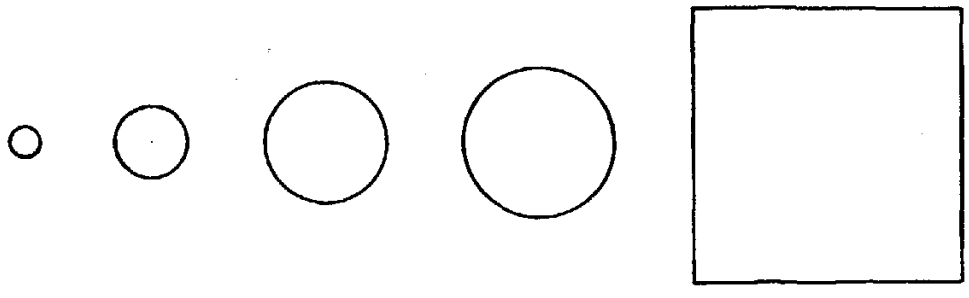
SINDIOTACTICA



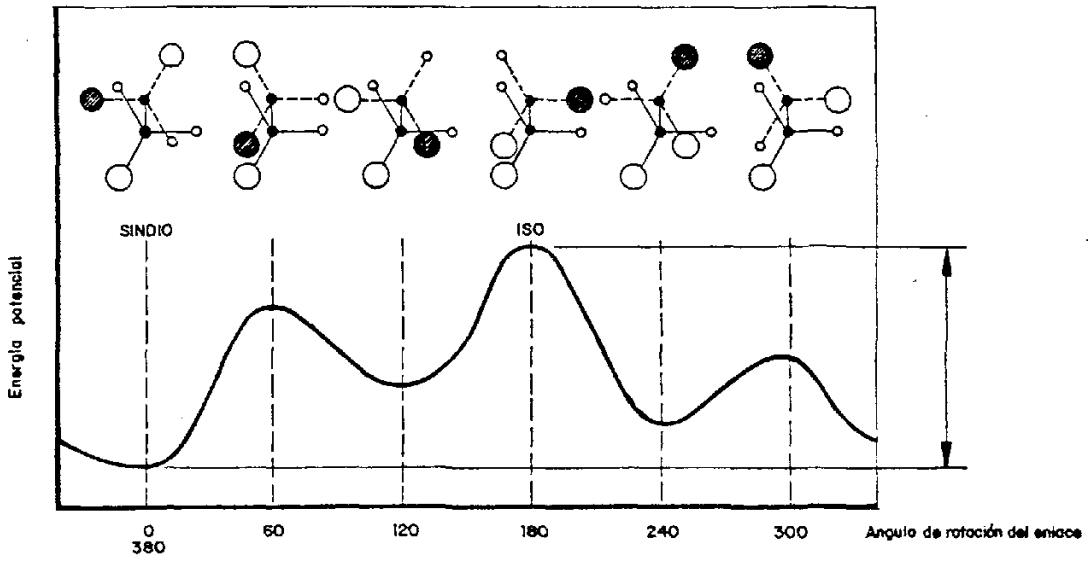
ATACTICA

Pudiendo coexistir todas ellas en una misma cadena molecular.

La importancia de estas organizaciones con respecto al comportamiento de la cadena molecular queda patente en una comparación de tamaños en varios de los múltiples grupos laterales.



La repulsión electrostática de estos grupos entre sí, directamente relacionada con su electronegatividad y ésta con su tamaño, provocará cambios en su estructura que afectan al comportamiento mecánico de la cadena y a su posible cristalinidad, siempre que exista una temperatura suficiente para permitir su movilidad.



Energia necesaria para cada estructura en función de la posicionalidad de los grupos laterales segun GORDON (81)

Polaridad.

Según que el centro de gravedad de las cargas positivas y negativas de una molécula coincidan o no, la molécula será neutra o constituirá un dipolo eléctrico, pudiendo distinguirse entre moléculas polares y no polares.

Existen dos tipos de polarización:

a) Polarización de desplazamiento o deformación.

b) Polarización de orientación.

El primero consta de una acción atómica, por desplagamiento de los átomos entre sí, y de una acción electrónica, por desplazamiento de los electrones con respecto al núcleo, como sucede con los electrones de valencia del carbono en el enlace covalente.

El segundo hace referencia a la orientación de las moléculas con cargas polares permanentes al ser sometidas a una influencia electrostática. Esta polarización influirá en los estados de agregación de los polímeros, como analizaremos en el epígrafe 5.2.0. (Macroestructura).

La polaridad viene determinada por la diferencia de electronegatividad de los átomos que forman cada enlace de la cadena molecular, y por tanto con su carácter iónico.

Las moléculas poseen un grado de polaridad, en función de su forma y de la polaridad de sus enlaces, que podrá variar en función de su movilidad.

La movilidad molecular favorece el cambio de lugar de los grupos y ramificaciones laterales, y por tanto la orientación de los dipolos parciales, requiriendo energías de activación muy elevadas para producir estos desplazamientos.

El tamaño de los grupos laterales y ramificaciones, unido a su polaridad y fuerzas de cohesión, constituyen una unidad cinética dentro de la molécula.

El aumento de unidades cinéticas polares producirá un incremento de las interacciones y una disminución del grado de movilidad de la molécula.

Por otro lado una concentración elevada de dipolos puede producir una compensación parcial o total de su influencia, permitiendo la movilidad molecular.

Estas características polares influyen en el comportamiento dieléctrico de los polímeros, pudiendo observarse en base a:

La rigidez dieléctrica que mide la resistencia del material al paso de corriente por su interior, dándonos su poder aislante.

La rigidez de fuga, que constituye una medida de la resistencia del material a las acciones destructivas de las corrientes superficiales, muy influidas por la humedad, asperezas, impurezas, etc.

La polaridad influirá en el comportamiento interno de las cadenas moleculares, favoreciendo reordenaciones internas; y en su comportamiento externo, al establecer relaciones de proximidad con otros elementos, como en nuestro estudio con el agua, otros polímeros y el yeso durante su hidratación.

Estas características polares superficiales pueden ser activadas con aumentos de la temperatura, por debajo de aquélla que produzca modificación de enlaces, favoreciendo la movilidad cinética, aspecto que ha de tenerse en cuenta en el proceso de fabricación del material híbrido.

5.2.0. Macroestructura.

Dependiendo tanto de las características básicas de los monómeros, como de los grupos laterales existentes y de la polaridad de éstos, se obtienen los tres distintos estados en que pueden presentarse los polímeros sintéticos: amorfo, cristalino y elastomérico.

Estos estados se estructuran en función de los dos principios generales que rigen la ordenación de las cadenas poliméricas: de equivalencia y de mínima energía.

El principio de equivalencia hace referencia a la unidad monomérica como unidad básica.

El principio de mínima energía afecta al carácter morfológico de éstas por minimización de la energía necesaria para su estabilización.

5.2.1. Estructura amorfa.

La estructura amorfa se caracteriza por no poseer orden entre las cadenas de los polímeros, presentando una organización totalmente al azar, siendo la más usual en los polímeros sintéticos.

Termoplásticos.

En los polímeros termoplásticos la configuración general del sólido surge por enredamiento físico de las cadenas, que será mayor: cuanto mayores sean su peso molecular y la diferenciación en el tamaño de los grupos laterales, y cuanto menor sea la repulsión entre ellos, presentando ramificaciones.

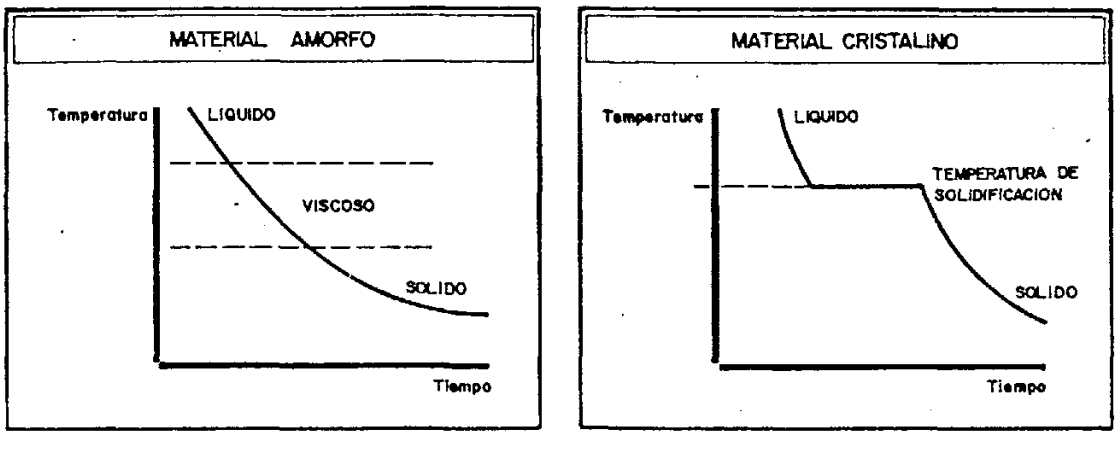
Este enredamiento de las cadenas moleculares será el responsable de los valores de resistencia del producto final; por tanto, cuanto mayor sea el estado de ramificaciones y mayor sea la diferenciación de los grupos laterales, más altos valores de resistencia mecánica se obtendrán; lógicamente éstos alcanzarán las cotas más elevadas en el caso de los copolímeros.

Así como el grado de copolimerización no afecta a los valores de rigidez, el grado de ramificación incide directamente sobre la pérdida de flexibilidad, acumulando tensiones de trabajo en los puntos de ramificación, produciendo roturas frágiles.

Estas moléculas se enlazan en estado líquido, siendo imposible desenredarlas en estado sólido.

Sus valores de resistencia se obtienen por pérdida de movilidad molecular, sin existir por tanto temperatura fija de solidificación.

Los polímeros en estado amorfo son calificables como sólidos viscoelásticos, con comportamiento directamente influenciado por la temperatura.



Este tipo de estructura permite la inclusión de cualquier elemento en su interior, siempre que no produzca ningún tipo de reacción química con el polímero, permaneciendo atrapado en la maraña molecular.

Debido a la ausencia de defectos al no poseer estructura cristalina, este sistema posibilita la creación de un sólido sin vacancias ni porosidades internas, pudiendo por tanto ser transparente al no existir elementos internos que puedan distorsionar el paso de la luz por refracciones o reflexiones.

Termoestables.

En los polímeros termoestables la configuración general del sólido surge de la propia espacialidad de la molécula, produciéndose entrecruzamientos entre ellas y rigidizando al sólido. Cuanto mayor sea el peso molecular, más resistente será el sólido, independientemente del grado de copolimerización existente.

La espacialidad molecular es responsable de los escasos valores de flexibilidad del sólido, cuya rotura sucede siempre de modo frágil, sin que la temperatura influya sobre ésta.

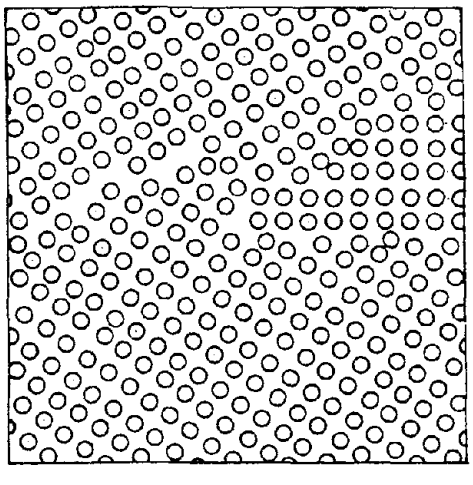
En las moléculas espaciales, la temperatura produce un aumento de la vibración atómica, pero no puede posibilitar su deslizamiento como en el caso de los termoplásticos; y si ésta se eleva progresivamente, acaba produciéndose la carbonización y el colapso del polímero, sin que aparezcan estados de viscosidad.

Los termoestables pertenecen también a sólidos de estructura amorfa con gráficas de temperatura-tiempo

análogas a los termoplásticos, diferenciándose únicamente en que en el estadio líquido y viscoso sólo pueden estar una vez durante el proceso de fabricación, pero no pueden volver una vez reticulada la estructura en estado sólido.

5.2.2. Estructura paracristalina.

La estructura paracristalina aparece con la existencia de ordenaciones moleculares dentro de la estructura amorfa. No existe ningún polímero con estructura totalmente cristalina, por tanto este estado podría denominarse paracristalino.



Ordenaciones paracristalinas dentro de una estructura amorfa

El principio de mínima energía es el responsable de las posibles ordenaciones estructurales, que diferenciaremos entre aquellas propias de las moléculas y las existentes entre ellas.

La cristalinidad de los materiales formados por enlace covalente es muy limitada, por ser un enlace direccional y por tanto no compacto, debiendo formarse estas direcciones preferentes en el paso del estado líquido (con estructura compacta) al sólido (con estructura direccional). La cristalinidad lleva aparejados grandes aumentos de volumen que son únicamente posibles mediante cambios muy lentos de estado. En el caso de los polímeros sintéticos la forma y la organización molecular es la misma en estado líquido que en el sólido, por tanto la posible cristalinidad no va a surgir por la organización de los átomos entre sí, que permanece inalterable en ambos estados. La cristalinidad surge en función de las organizaciones que las moléculas ejerzan entre ellas.

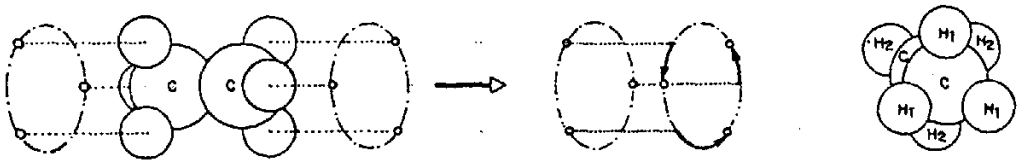
Cristalinidad molecular.

La cristalinidad intrínseca de la propia molécula está directamente condicionada por las características de los grupos laterales. Estos grupos laterales, dadas sus características de analogía de fuerza de enlace con respecto a la cadena principal de carbonos, ejercen entre ellos una repulsión electrostática, que provoca un acoplamiento lo más alejado posible entre ellos, siempre que la movilidad molecular debida a la temperatura se lo permita.

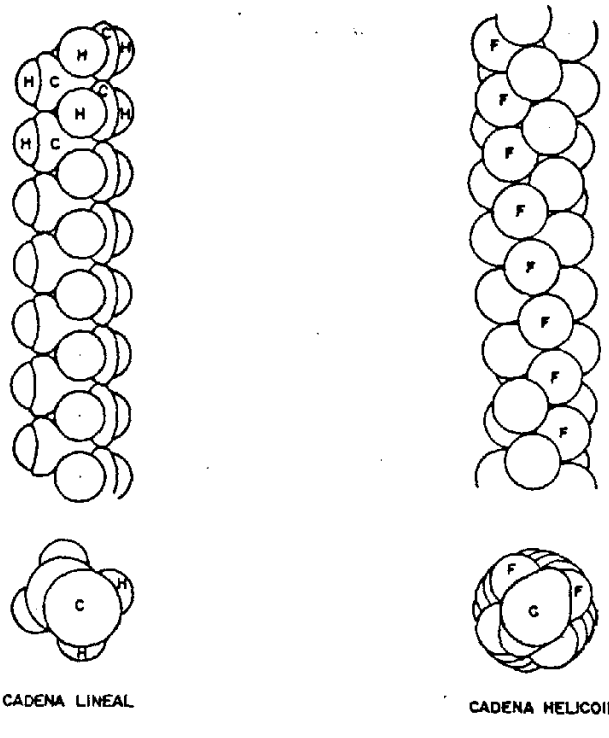
Debido a las características direccionales del enlace covalente, (cuyos enlaces delimitan los vértices de un teórico tetraedro), los grupos laterales se posicionarán en

E. T. S. A. de M.

el espacio de acuerdo al esquema adjunto siempre que sean análogos y se permita la movilidad molecular.



Produciendo un acoplamiento de éstos por movimiento angular se obtiene como resultado una ordenación helicoidal en el polímero.



CADENA LINEAL

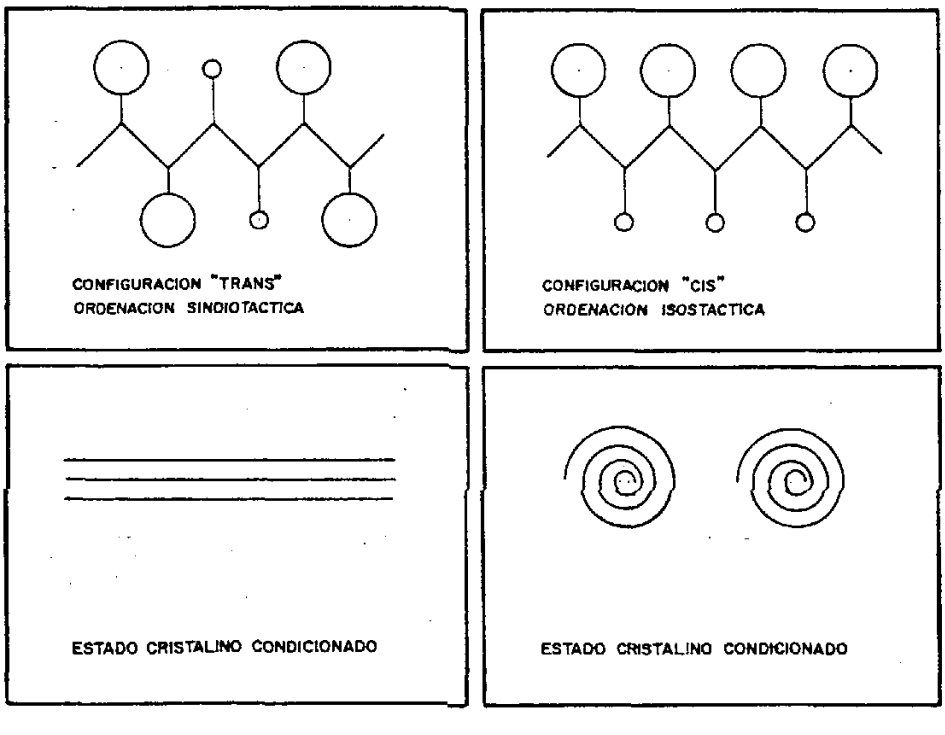
CADENA HELICOIDAL

La presencia de grupos laterales de diferente tamaño puede generar geometrías específicas en relación con su tacticidad, como son las ordenaciones: isotáctica, sindiotáctica y atáctica, según su localización en la cadena molecular.

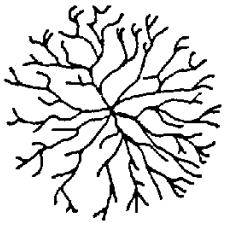
La cristalinidad está favorecida por las dos primeras e imposibilitada en la última.

Estas geometrías de ordenación molecular están directamente relacionadas con los isómeros "cis", "trans" y "gauche". La forma "cis" se relaciona con la estructura isotáctica y la forma "trans" con la estructura sindiotáctica, siendo el isómetro "gauche" intermedio entre ambas, pudiendo rigidizarse evitando el giro libre en torno al eje de la cadena, bien por disminución de la temperatura, o estableciendo un enlace doble entre átomos de carbono, en una configuración no saturada de la cadena que conserve fijas sus posiciones.

La forma "trans" que genera la ordenación sindiotáctica favorece, al posicionar alternamente los grupos laterales diferentes, una configuración molecular de directriz lineal: mientras que la forma "cis", generadora de la ordenación isotáctica, al posicionar a los grupos laterales diferentes de forma alterna, provoca una ordenación molecular de directriz curva por repulsión de éstos. Ambos casos dan lugar a un principio de cristalinidad por predominancia de forma.



Cuando existen moléculas del tipo ramificado, existe una nueva forma de cristalinidad, consistente en un crecimiento a partir de un punto central similar a una nucleación cristalina. Esta nueva forma de cristalinidad crea volumetrías de tipo esférico denominadas esferulitas, con comportamientos exteriores muy parecidos a los del estado cristalino condicionado de las estructuras isotácticas.



ESFERULITA DE CADENA RAMIFICADA

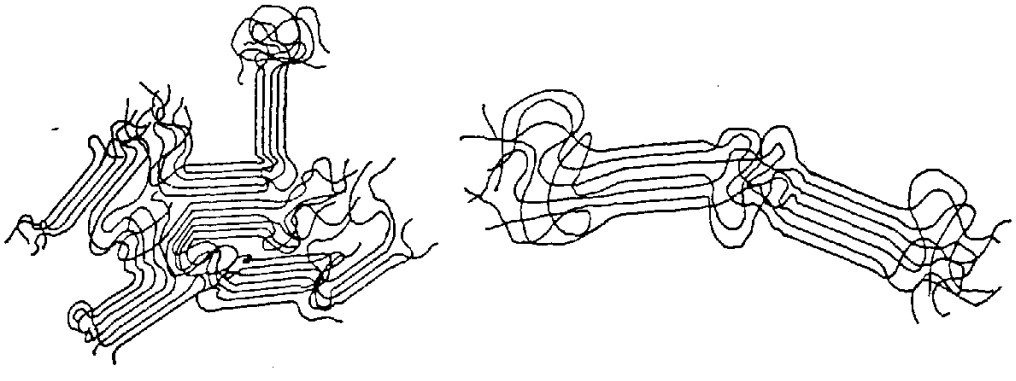
En las moléculas espaciales de los polímeros termoestables existen también formas de cristalinidad por medio de ordenaciones regulares de sus moléculas, pero, debido a la trimensionalidad de los enlaces, no influyen directamente sobre el comportamiento mecánico del conjunto.

Cristalinidad macromolecular.

Una vez analizada la cristalinidad intrínseca de las moléculas, pasamos a analizar la existente entre ellas y su influencia sobre la variación del comportamiento exterior.

Independientemente del entrelazamiento mecánico, existe entre las cadenas moleculares una relación de enlace de tipo secundario en base a fuerzas de Van der Waals, en

relación con las cargas electrostáticas de los grupos laterales existentes. Estas fuerzas secundarias minimizan la energía del sistema global cuando están equilibradas, y en caso de grupos laterales iguales, la minimización sucederá cuando exista equidistancia entre ellas. Por tanto existirá una tendencia a localizarse de modo paralelo, a las moléculas simples, y a aquellas moléculas de grupos laterales diferentes siempre que adquieran estructuras sindiotácticas.

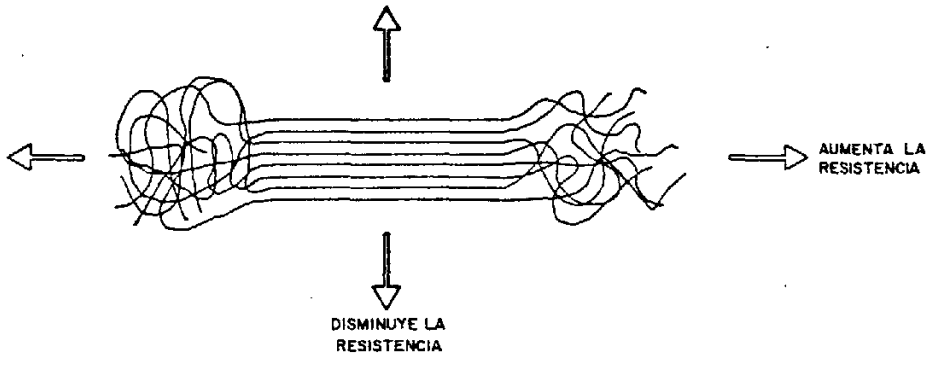


REGIONES CRISTALINAS TIPO MICELAS

Estas organizaciones cristalinas se denominan micelas por analogía con las organizaciones de las arcillas. Coexisten en el interior de una masa amorfa de polímeros entremezclados con formaciones laminares.

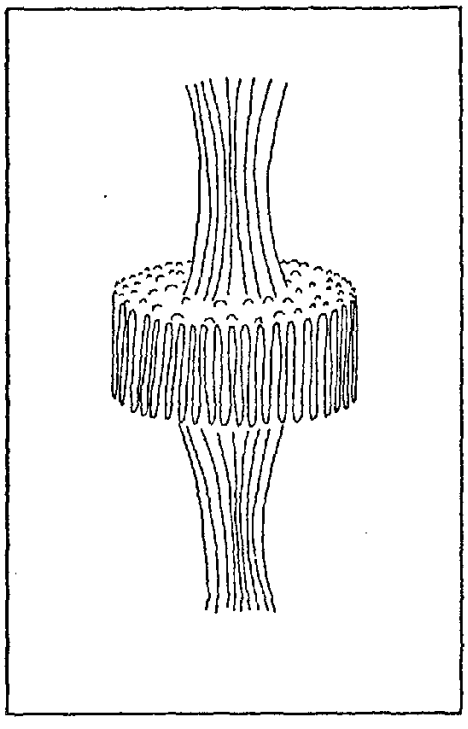
Estas formaciones laminares pueden abarcar a la totalidad de la masa por una ordenación casi perfecta, posible únicamente desde un punto de vista teórico; cuando el proceso de fabricación (como es el caso de la extrusión como se analiza en 5.3.5.), produce un paralelismo general de todas las moléculas en la masa fundida.

La cristalinidad laminar provoca la disminución de las resistencias mecánicas, ya que en sentido perpendicular a ellas sólo opone valores de cohesión interna de tipo secundario, aumentando éstos en sentido longitudinal, provocando la modificación del comportamiento exterior. Este puede ser isótropo para las estructuras amorfas, quedando convertido en isótropo siempre que éstas estén todas orientadas en la misma dirección.

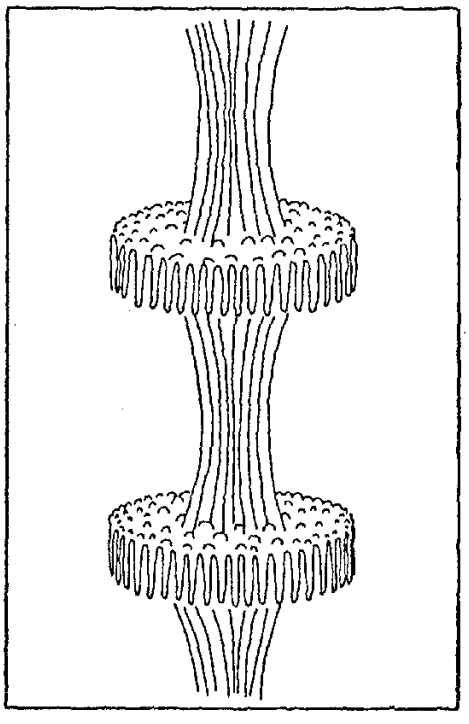


En el caso de comportamiento anisótropo sólo deben utilizarse productos fabricados por extrusión, que logra el total paralelismo de las cadenas moleculares en estado fundido.

En caso de fabricarse de cualquier otro modo puede producirse una organización micelar orientada, redundante repetidamente sobre sí misma, y poco conectada con el resto de la materia amorfa. En este caso, ante solicitaciones exteriores se producen deformaciones plásticas repentinas provocadas por el deslizamiento de las cadenas de polímeros, conectados entre sí únicamente por fuerzas de Van der Waals, adquiriendo estas cristalizaciones micelares de formas parecidas al "Kebab" según Moore y Kline (143).



Micela cristalina debilmente interconectada

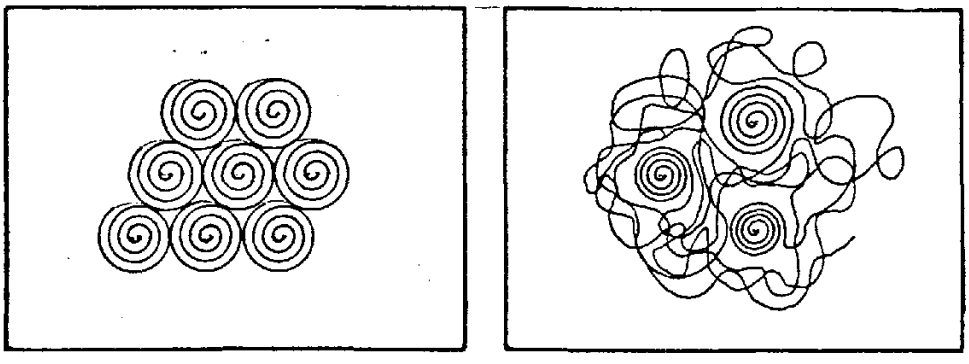


Cedimiento de la micela tipo Kebab

Para organizaciones moleculares con estructuras isotácticas o con cristalinidad esférica en los polímeros ramificados, la organización general se organiza a base de esferoidizaciones denominadas *esferulitas*, que pueden coexistir con la masa de polímero con estructura amorfa o formar un sólido en base únicamente a sí mismas.

En el primer caso el comportamiento general se verá influido por un aumento de la viscosidad y elasticidad a temperaturas de trabajo, mientras que en el segundo caso se adquirirán valores de aislamiento térmico altos al existir solamente contactos entre esferulitas *por fuerzas de Van der* Waals.

En ambos casos los valores de resistencia mecánica se verán disminuidos, llegando a ser prácticamente inexistentes en caso de organizaciones globales.



La cristalinidad lleva aparejada la pérdida de transparencia luminosa de la masa de polímero, ya que las difracciones y reflexiones preferentes ante diferentes incidencias luminosas, producen interferencias internas. Estas zonas de sombras dan lugar, por tanto, en el caso más favorable a elementos translúcidos, y en el caso más frecuente a elementos opacos. Luego por simple observación al microscopio de las fibras poliméricas que añadimos al yeso, podemos deducir de modo genérico su grado de cristalinidad.

Como conclusión podemos afirmar que la cristalinidad lleva aparejadas disminuciones de resistencia (excepto en el caso particular de productos extrusionados como es el caso de las fibras que utilizamos.).

La cristalinidad puede evitarse: reduciendo los tiempos de relajación en los procesos de fabricación, con el inconveniente de producir incrementos de tensiones internas no equilibradas; o produciendo interferencias estéricas que dificulten la movilidad interna. Estas interferencias se producen complicando la estructura de las cadenas moleculares, incluyendo grupos laterales muy diferenciados,

con configuraciones atácticas, o generando copolímeros de monómeros muy diferenciados.

5.2.3. Estructura elastomérica.

La estructura elastomérica se caracteriza por un gran aumento de la deformación ante acciones exteriores.

En esta estructura no existe ningún tipo de orden en la colocación de las cadenas moleculares, pero no puede ser considerado amorfo debido a las uniones químicas entre las moléculas. La colocación de las fibras se deforma sólo ante las acciones exteriores, y recuperan el estado primitivo al cesar éstas debido a las características de la unión.

La singularidad de esta estructura es comprobable desde el momento en que no puede ser disuelta, mientras que las amorfas son solubles porque el disolvente no tiene que vencer fuertes tensiones entre las cadenas. En los cristalinos puede lograrse su disolución atacándoles con disolventes fuertes y a altas temperaturas cercanas a su punto de fusión.

No interesa profundizar en el estudio de los elastómeros debido al planteamiento de ésta tesis que busca reforzar al yeso, aumentando sus valores de resistencia mecánica sin disminuir su rigidez con el fin de ampliar su utilización como elemento prefabricado.

Al añadir elastómeros al yeso podríamos llegar a conseguir un producto extremadamente elástico que fuera capaz de absorber grandes cambios dimensionales sin fisurarse. Este comportamiento llevaría aparejada una gran pérdida de rigidez que imposibilita su utilización como elemento prefabricado, quedando relegada su utilización para revestimientos, juntas, etc., por lo cual no se considera objeto de esta tesis.

Se deduce que las únicas estructuras posibles en los polímeros sintéticos que utilizamos son la amorfa y la paracristalina.

Debido a los factores que se analizan en el comportamiento (5.3.0. Propiedades) utilizamos ambas conjuntamente mejorando las características que por separado pueden lograr.

5.2.4. Movilidad molecular.

Debido a la naturaleza del enlace covalente la temperatura no afectará a las características de la movilidad molecular en sus valores usuales de utilización. A temperaturas elevadas presenta bajos valores de conductividad eléctrica y térmica, llegando a carbonizarse.

Sin embargo debido a su estructura predominantemente amorfa, presenta un comportamiento viscoelástico muy influenciado por la temperatura, que produce importantes variaciones en su comportamiento exterior.

VARIACION DE LAS PROPIEDADES DE LOS TERMOPLASTICOS AL AUMENTAR LA TEMPERATURA	
AUMENTA	FLUENCIA IMPACTO ALARGAMIENTO DEFORMACION
NO VARIA	CONDUCTIVIDAD TERMICA ABSORCION DE AGUA PERMEABILIDAD DE AGUA INFLAMABILIDAD TRANSMISION DE LUZ
DISMINUYE	DUREZA RESISTENCIA RIGIDEZ RESISTENCIA ELECTRICA RESISTENCIA QUIMICA

Variación de las propiedades de los termoplasticos al aumentar la temperatura

El comportamiento no presenta temperaturas fijas de solidificación; sin embargo, para poder delimitar el ámbito de temperaturas entre las cuales podemos utilizar a las fibras y a las dispersiones, necesitamos definir las

temperaturas de trabajo, entre las cuales podemos utilizarlas.

Interesa conocer por tanto el estado de temperaturas en las cuales no existe movilidad molecular y el polímero se comporta como un sólido; el estadio de temperaturas entre las cuales se manifiestan las propiedades de flexibilidad; y aquéllas en las cuales aparecen estados de fluencia y pérdida de la forma.

Los dos tipos de estructuras poliméricas (lineales y espaciales) presentan un comportamiento diferenciado, más acusado cuanto más simple sea la cadena molecular, llegando en los espaciales a no manifestar estados de fluencia una vez fabricados.

Temperatura de transición vítrea.

La temperatura de transición vítrea es aquélla en la cual el sistema pasa de ser un sólido rígido con rotura frágil a un estado viscoelástico, dando lugar a un cambio radical en su comportamiento.

El origen de este cambio radica dentro de la molécula en un alcance de libertad de rotación en los enlaces entre carbonos que afecta a la forma de la cadena, como se analizó en el epígrafe 5.1.3. (Características generales de las moléculas).

Esta libertad interna de la cadena al condicionar la forma exterior de ésta, posibilita y provoca el cambio externo de organización general, bien mediante la presencia de sustancias con cargas electrostáticas dipolares (como el caso del agua), bien mediante la autoacumulación de las tensiones internas, o bien por causa de acciones mecánicas exteriores.

A bajas temperaturas las cadenas moleculares presentan un aspecto parecido a la congelación, con imposibilidad de acoplamientos moleculares ante acciones exteriores, concentrando las tensiones y provocando la rotura frágil del material. A medida que aumenta la temperatura, el incremento de movilidad molecular permite la distribución más homogénea de tensiones internas ante acciones exteriores, dando como resultado un aumento de la flexibilidad ante pequeños esfuerzos, y deformaciones plásticas permanentes por movilidad viscosa provocadas por grandes esfuerzos exteriores.

El aumento de las temperaturas por encima de la temperatura de transición vítrea está directamente relacionado con la disminución del periodo elástico y el aumento del plástico, hasta llegar a la fluencia viscosa.

La presencia de ordenaciones paracristalinas entre la masa amorfa aumenta la resistencia, actuando como elementos internos que dificultan el movimiento de deslizamiento de las cadenas moleculares y aumentando la banda de utilización.

Esta temperatura de transición vítrea está directamente relacionada con la estructura molecular, que depende de cada una de las siguientes características:

a) Flexibilidad de la cadena polimérica, aumentando la temperatura de transición a medida que ésta disminuye.
b) Impedimentos estéricos, aumentando a medida que éstos son más numerosos y complejos.
c) Tamaño de los grupos laterales, aumentando a medida que éstos son de mayor tamaño y más complejos.
d) Estructura de la cadena molecular, aumentando en función del grado de desorden y disminuyendo con la existencia de simetrías en los grupos laterales de cada monómero.
e) Copolimerización, variando de modo directamente proporcional a las temperaturas de transición de cada homopolímero, (expresadas en tanto por ciento) en el que se encuentren, obteniéndose un valor medio entre ambas.
f) Peso molecular, aumentando con el incremento de éste, ya que existirá un menor número de finales de cadena, y con el incremento de la movilidad de las moléculas.

La temperatura de transición disminuye linealmente al aumentar la concentración de números de "inales de cadena" o, lo que es lo mismo, con el aumento del peso molecular, y

se puede expresar mediante la siguiente ecuación:

$$T_g = T_g' - K(1/M_n)$$

Donde T_g es la temperatura de transición, T_g' corresponde a una muestra de moléculas de peso molecular infinito, K es una constante positiva y M_n es el peso molecular medio.

Para un copolímero, la relación fundamentada anteriormente viene expresada por la relación:

$$C_2 = (T_g - T_{g1}) [K (T_{g2} - T_g) + T_g - T_{g1}]$$

Donde C_2 es la fracción en peso del segundo componente; Tg, T_{g1} y T_{g2} son las temperaturas de transición del copolímero y de los dos homopolímeros; K es la relación entre las diferencias de los dos coeficientes de expansión en los estados vítreos y elásticos de los homopolímeros.

Sin embargo, debe señalarse que existen desviaciones de estas relaciones.

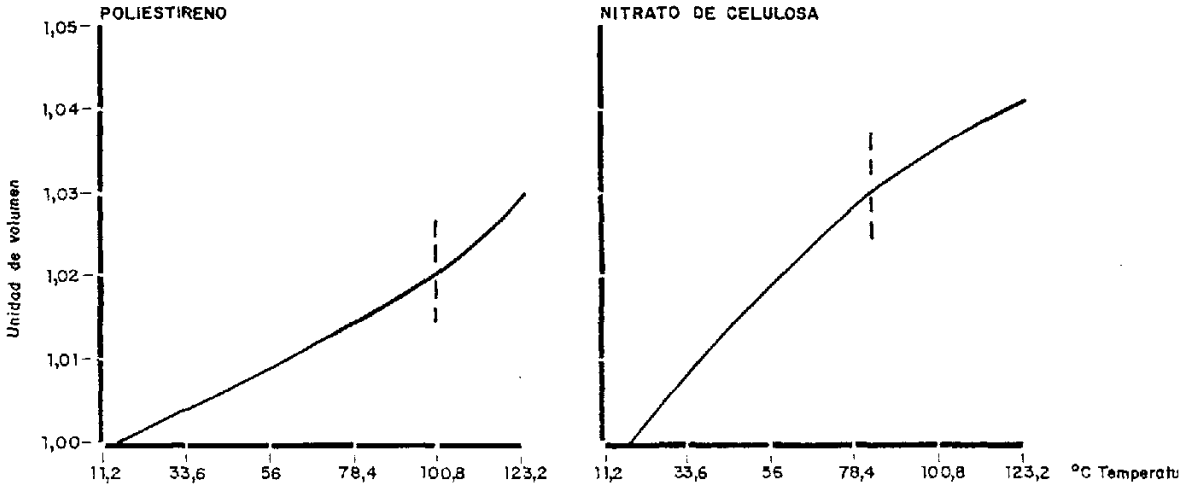
El desorden del empaquetamiento molecular tiende a reducir las fuerzas de atracción entre las cadenas, y la temperatura de transición de los copolímeros es a menudo distinta de lo que podría predecirse de la ecuación anterior. Esto se debe fundamentalmente a repulsiones dipolares o atracciones entre los grupos laterales de los diferentes monómeros.

Por otra parte, la adición de líquidos a un polímero da lugar a una separación entre las cadenas y a un incremento de la movilidad general.

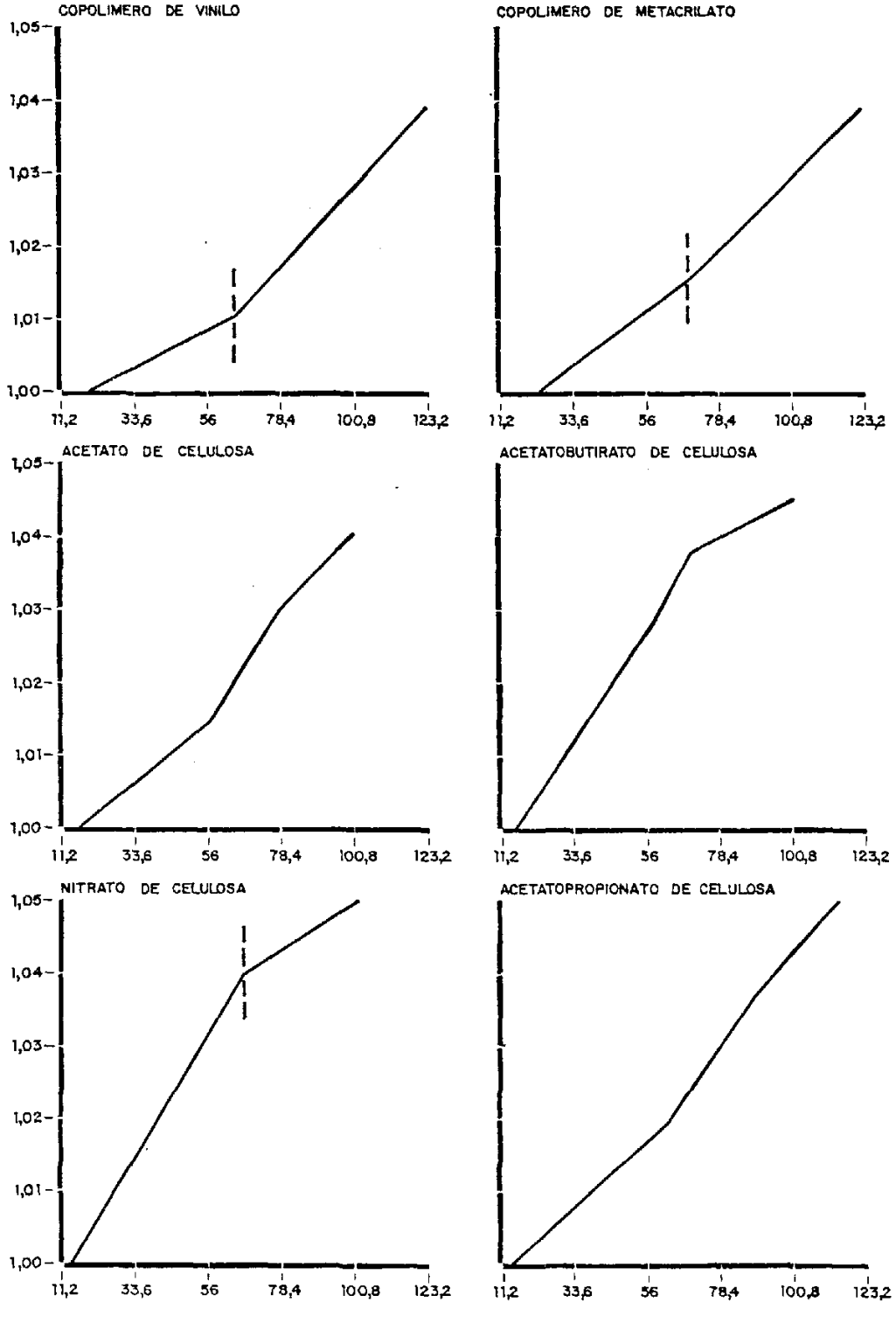
La temperatura de transición vítrea en los polímeros está próxima a 2/3 de la del punto de fusión, medidas en grados absolutos.

Analizando el proceso en sentido inverso se observa que durante el enfriamiento del material fundido, y al aumentar la tendencia de las moléculas a enlazarse, (como consecuencia de la disminución de la movilidad molecular) aparece una reducción del volumen aparente mayor de la previsible por retracción, prosiguiendo posteriormente en menor proporción. Por consiguiente la temperatura de transición queda determinada por un punto de discontinuidad en la curva que nos relaciona el volumen con la temperatura, siendo más acentuada en los homopolímeros.

Esta discontinuidad en la retracción del volumen es análoga a la temperatura de fusión de los materiales cristalinos, e indica una fusión del material que se denomina transición de fase de primer grado. La transición de fase de segundo grado está caracterizada por la modificación en ls grados de libertad de la molécula, no existiendo por debajo de ésta movimientos conjuntos de retracción.



* LA TEMPERATURA DE TRANSICION QUEDA INDICADA POR EL CAMBIO DE PENDIENTE

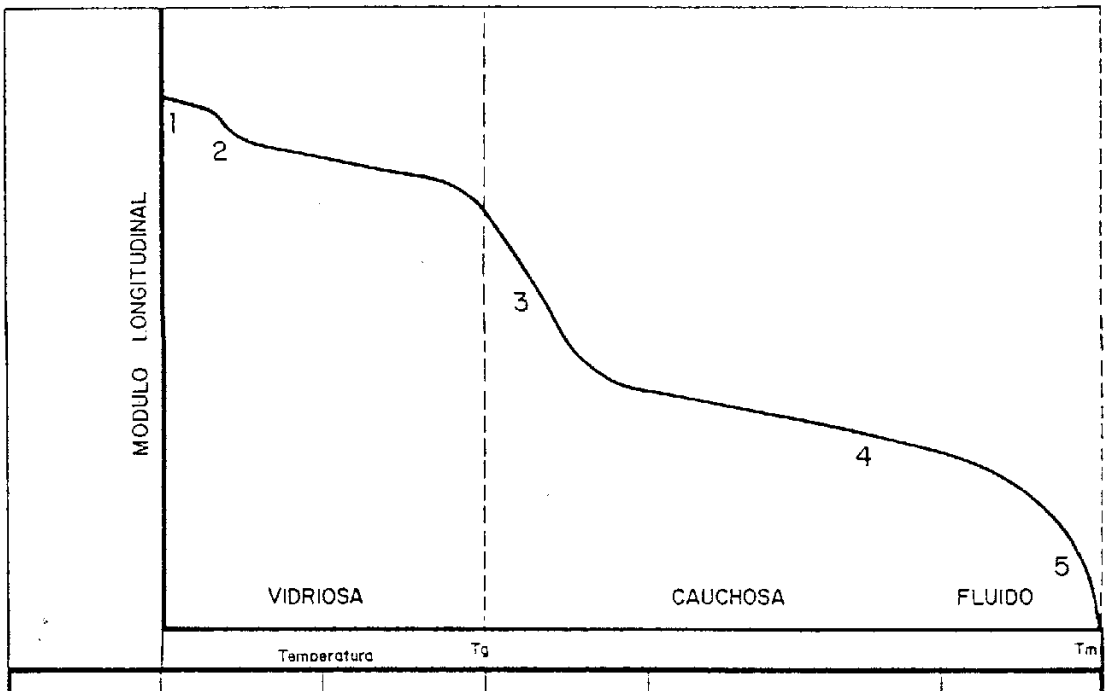


5.3.0. Propiedades.

5.3.1. Comportamiento viscoelástico.

Influencia de la temperatura.

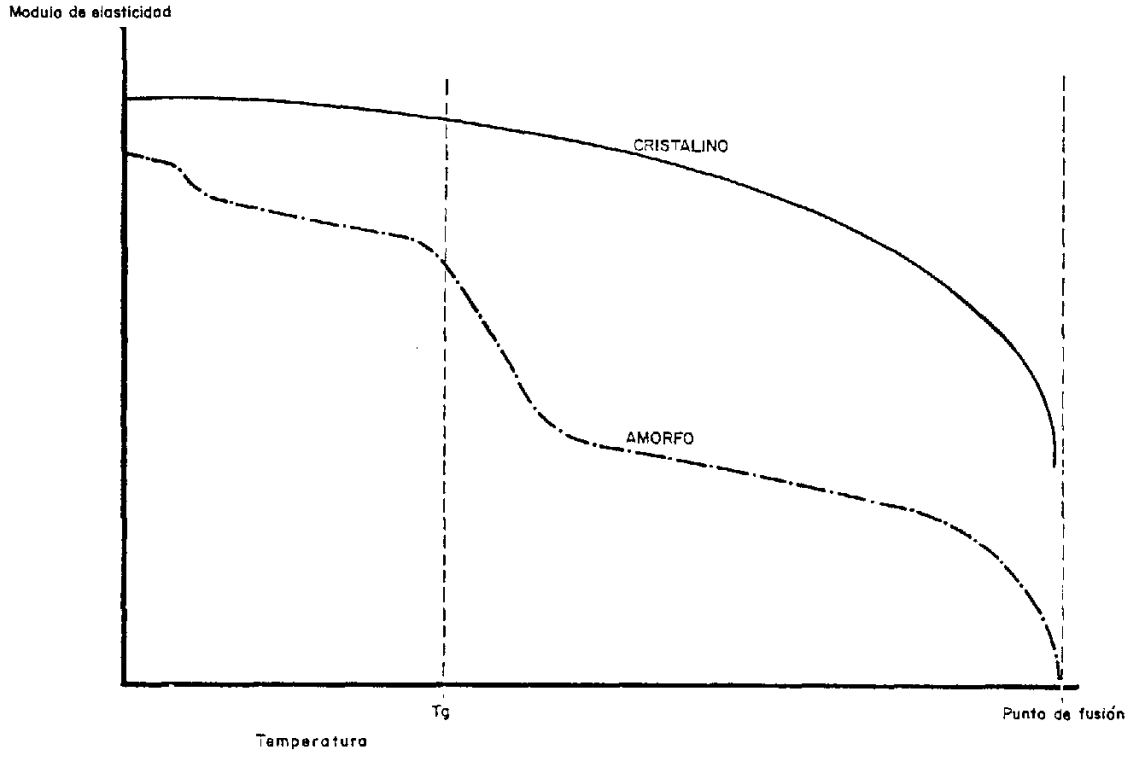
La temperatura incide directamente sobre el módulo de elasticidad del polímero, pudiendo únicamente obtenerse en la fase denominada vítrea, que puede no coincidir con la temperatura ambiente y por lo tanto de trabajo.



DEFORMACION	1 VIDRIOSA (DE HOOK)	2 TRANSICION 2º GRADO	3 TRANSICION 1er GRADO	4 MUY ELASTICA CAUCHOSA	5 FLUIDO
MOVIMIENTO MOLECULAR	ENLACES DE FLEXION Y ESTIRAMIENTO	EXCITACION DE ROTACION INTERNA: GRUPOS LATERALES	CADENA GRADUAL PRINCIPAL	CADENA PRINCIPAL MOVILIDAD A GRAN ESCALA	DESLIZAMIENTO DE UNA CADENA
MOVIMIENTO NO DEFORMADA					
DEFORMADA		AUMENTANDO			

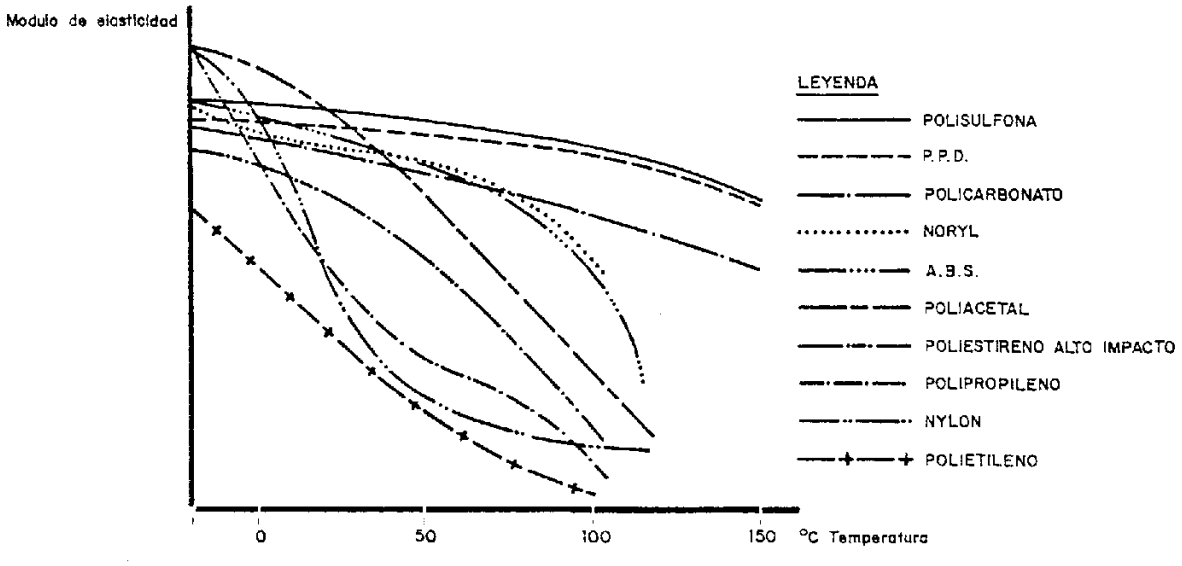
Movimientos de cadenas moleculares con estructura amorfa sometidas a esfuerzo a varias temperaturas

La cristalinidad existente afecta también al módulo de elasticidad, aumentando éste y permaneciendo menos alterable debido a las interferencias que producen en el flujo viscoso, como se analizó en el epígrafe 5.2.4. (Movilidad molecular)



Relación entre la temperatura y el modulo de elasticidad en los polimeros.

Esta relación grafiada entre la temperatura y la variación del módulo de elasticidad, establecida de modo general, puede particularizarse para cada polímero. En la tabla adjunta se grafían algunos de ellos.



Relación entre la temperatura y el modulo de elasticidad en algunos polimeros

El comportamiento mecánico de los polímeros sintéticos es diferente, según se sometan a cargas constantes o no; por ello no podemos aplicar los conceptos de módulo y tensión límite de trabajo constante, debidos a las deformaciones anaelásticas producidas por fluencias a lo largo del tiempo, que serán mayores cuanto más próximo se encuentre de la temperatura de transición vítrea.

Para tiempos breves de carga sólo se producen distorsiones en los lazos moleculares, afectando a las distancias entre ellos. Según van aumentando los tiempos de carga se va posibilitando el movimiento de entrelazamiento de las moléculas de mayor tamaño. Inicialmente esos movimientos sólo involucran a pequeños segmentos de las moléculas; pero en mayores tiempos de carga, se posibilita el reordenamiento del resto de los segmentos moleculares. Además, las tensiones internas distribuidas por las moléculas pueden producir recristalizaciones en las formaciones paracristalinas existentes. Todos estos efectos

combinados van limitando el deslizamiento del resto de segmentos moleculares, produciendo su tensionamiento y deformación. El deslizamiento molecular sin rotura de ningún enlace sólo es posible, por tanto, en estados viscosos o próximos a la temperatura de transición. En polímeros sólidos (en estado vidrioso) la rotura se produce por efecto del tiempo en estados de carga próximos a la carga límite de rotura, implicando siempre rotura de cadenas moleculares.

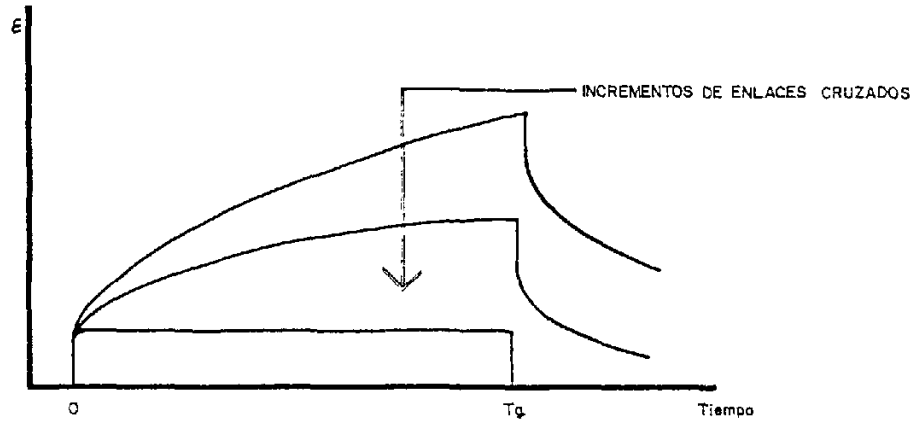
Influencia de la estructura.

El grado con que estos efectos ocurren dependen también de otros parámetros además del tiempo de carga y de los valores de ésta y de la temperatura.

Estos parámetros son: la cristalinidad, el grado de enlaces cruzados entre las cadenas, el peso molecular y la temperatura.

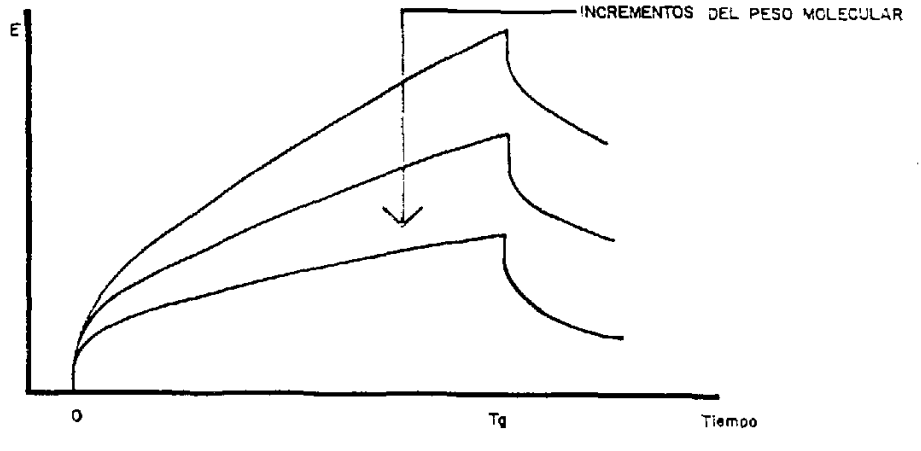
Los efectos de la cristalinidad y de la temperatura han sido ya analizados, por tanto analizaremos los dos restantes.

Los enlaces cruzados existentes reducen la posibilidad de deslizamiento molecular y evitan los efectos viscoelásticos. Ante tensiones internas que intentan producir deslizamientos de cadenas, los enlaces cruzados entre varias moléculas distribuyen las tensiones internas y fijan el posible movimiento molecular.



Influencia de la densidad de enlaces cruzados en la fluencia de un polimero de estructura amorfa, bajo carga constante.

El aumento del peso molecular (como medida de la longitud molecular de las cadenas o de su distribución espacial) dificulta el deslizamiento de éstas, distribuyendo las tensiones internas y produciendo una disminución de los efectos viscoelásticos.



Influencia del peso molecular en la fluencia de un polimero de estructura amorfa, bajo carga constante.

En general el aumento del peso molecular lleva aparejado un incremento de las propiedades mecánicas y de trabajo, siempre que se eviten las tensiones residuales que pueden producirse durante su fabricación.

E. T. S. A. de M.
BIBLIOTECA

De modo genérico puede decirse que el aumento del peso molecular conlleva:

a) Aumento de resistencia a la rotura por tracción.
b) Aumento de resistencia a la fisuración por tracción.
c) Aumento de las tensiones residuales.
d) Aumento de la resistencia a la fluencia.
e) Reducción de la posibilidad de transformación.

Rotura.

La predicción de los valores de resistencia no es fácil debido a la cantidad de variables hasta ahora analizadas, sin tener en cuenta los posibles defectos o existencia de tensiones residuales en el proceso de fabricación.

Empecemos analizando los valores de energía de cada uno de los tipos de enlace existente a nivel molecular. La energía necesaria para romper los enlaces puede expresarse mediante la siguiente expresión:

$$E = F \cdot d$$

Donde E es la energía de rotura expresada en Julios; F la fuerza requerida expresada en Newtons, y d un coeficiente que toma los siguientes valores en función del tipo de enlace:

d = 0,15 para enlaces covalentes.

d = 0,3 para enlaces de puentes de hidrógeno y dipolos permanentes.

d = 0,04 para enlaces por medio de fuerzas de Van der Waals.

Los valores de rotura que se obtienen son extremadamente altos, pudiendo únicamente aplicarse a moléculas individuales, ya que los valores de resistencia del conjunto quedarán afectados por: finales de cadenas moleculares, ramificaciones, zonas amorfas no compactadas, tamaños de zonas cristalizadas, ordenaciones cristalinas no orientadas en la dirección de la tensión, etc.

Los ensayos tensión-deformación son el método usual de análisis de la conducta de un material bajo carga. En el caso de los polímeros sintéticos el comportamiento variará considerablemente según sean sometidos, a tensiones de tracción o compresión, o se analice su dureza superficial. Puede darse el caso de romper dúctilmente a compresión y frágilmente a tracción (caso del Poliestireno) en base a los fenómenos analizados anteriormente.

Si se desea estudiar sus propiedades específicas de un modo general no es posible olvidar su comportamiento viscoelástico, debiendo ser analizado bajo las cuatro vertientes siguientes:

a) Ensayos de tensión-deformación bajo cargas crecientes hasta la rotura del material, a temperatura fija.

b) Ensayos de relajación bajo una deformación constante en un tiempo determinado, con variación de la carga.
c) Ensayos de fluencia bajo carga constante en un tiempo determinado, incrementándose la deformación durante el ensayo.
d) Ensayos vibratorios, bajo deformación oscilante.

5.3.2. Comportamiento superficial.

El comportamiento superficial viene determinado por las características geométricas de las moléculas, en referencia a los tres aspectos fundamentales ya analizados:

a) Constitución: en base a los tipos de átomos que la integran, así como su distribución, longitud, peso molecular, etc.
b) Configuración: referente a la colocación en el espacio de los constituyentes alrededor de un átomo determinado.
c) Conformación: determinada por la rotación de grupos alrededor de otros sencillos (radicales).

Como analizamos, estos tres factores no pueden considerarse aisladamente: la constitución determina las posibles configuraciones, y la conformación viene determinada por la suma de efectos debidos a la constitución y configuración.

Además de estas características geométricas que determinan el aspecto formal de la superficie del polímero,

es necesario conocer sus características polares que están determinadas por la carga electrostática de sus elementos laterales.

Cuando los grupos laterales son de pequeño tamaño, la diferencia de cargas (que determina la polaridad) es apenas perceptible; sin embargo, si el grupo lateral es grande esta diferencia se manifiesta más claramente, apareciendo cargas dipolares en la superficie de las moléculas que serán equilibradas con las que se encuentren próximas, excepto en la superficie, que sólo podrán equilibrarse estableciendo enlaces con elementos externos, de tipo dipolar.

La polaridad influye notablemente en dos aspectos de comportamiento, uno externo y otro interno:

a) Cohesión; relacionada por una mayor interacción entre los grupos laterales de las cadenas moleculares, luego las zonas cristalinas presentarán una alta energía cohesiva, contrariamente a las zonas amorfas.

b) Solubilidad; relacionada con la diferencia de los parámetros de solubilidad del polímero y del disolvente, relacionados a la vez con la energía cohesiva de ambos. Los materiales polares (caso del agua) tienden a disolver materiales polares, mientras que los materiales no polares tienden a disolver otros también no polares.

5.3.3. Durabilidad.

Debido a las características de variabilidad expuestas, el comportamiento de los polímeros sintéticos puede verse también afectado por cambios tanto moleculares como estructurales, provocando cambios en las condiciones mecánicas de trabajo obtenidas.

En general estos cambios suceden como resultado de una combinación de acciones producidas por la temperatura, la radiación solar y reactivos químicos (como el oxígeno y el ozono), no reaccionando todos los tipos de polímeros de modo análogo.

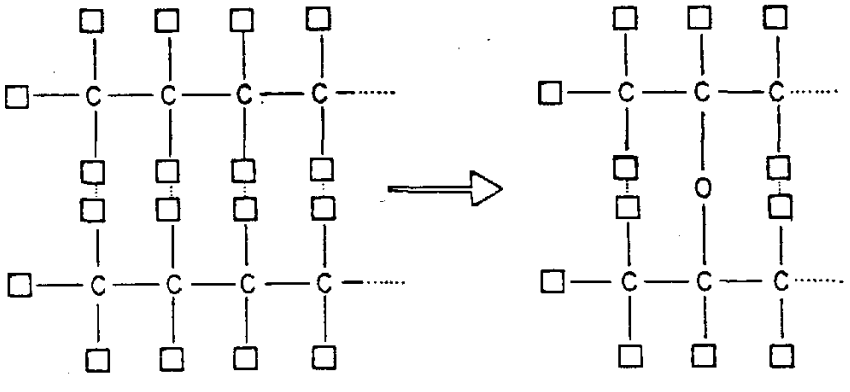
La acción de la radiación solar, de los cambios de temperatura, del oxígeno y del agua, dará lugar no sólo a decoloración y pérdida del brillo superficial, sino también a la degradación molecular con la correspondiente pérdida de sus propiedades físicas.

La acción más perjudicial es la radiación ultravioleta del sol. Las longitudes de onda comprendidas entre 3.00 A° y 4.000 A° son las principales responsables de la degradación. La velocidad de la degradación puede ser acelerada por la subida de temperatura que tiene lugar por exposición a la luz directa del sol. Los cambios bruscos de temperatura producen fuertes cambios dimensionales que favorecen la fisuración superficial.

La energía que va asociada a las radiaciones absorbidas favorece la movilidad molecular y en acción

conjunta con el oxígeno ambiental provocan: la escisión de cadenas, reticulación, formación de cadenas laterales, modificación de la cristalinidad, etc.

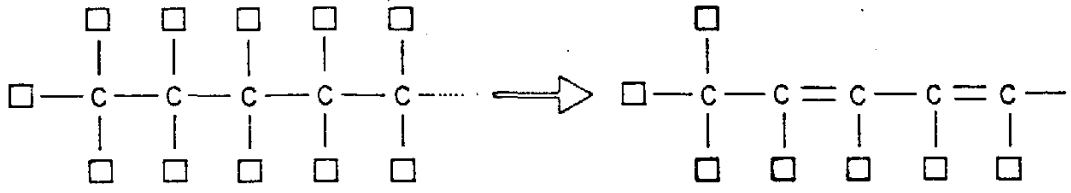
El proceso químico que sucede es complejo, involucrando a los grupos laterales menos relacionados, produciendo escisiones de las cadenas y provocando disminuciones del peso molecular, o estableciendo enlaces cruzados entre moléculas que provocan la pérdida de flexibilidad y favorecen la rotura frágil.



Esta degradación puede ser evitada con la adición de antioxidantes como se analiza posteriormente en el epígrafe 5.3.6. (Cargas).

Estos fenómenos están favorecidos por la presencia de grupos laterales sencillos, estando dificultados por la presencia de complejos grupos laterales muy interconectados.

Esta acción solar también puede provocar la insaturación de enlaces como paso intermedio en la configuración y conformación de nuevas estructuras.



Otro proceso que afecta a la durabilidad es la exposición durante largo tiempo a elevadas temperaturas, que como se analizó en el epígrafe (5.3.1. Comportamiento viscoelástico), favorecerá el comportamiento viscoso, produciendo una nueva configuración estructural, y favorecerá los procesos de oxidación.

La lluvia o un alto contenido de humedad unido a la radiación solar, o a una exposición durante largo tiempo a temperaturas elevadas, o a cambios bruscos de ésta, favorecerá la degradación debido a la carga polar de las moléculas de agua.

5.3.4. Comportamiento ante el fuego.

El comportamiento ante el fuego tiene poca importancia en nuestro estudio, ya que el yeso actuará como aislante y evitará el contacto con la llama. No obstante, dicho comportamiento puede ser modificado con la adición de determinados elementos.

Resumiendo las fases que suceden durante el proceso de combustión, podemos dividirlas en las siguientes:

a) Calentamiento, pasando a fases viscosas.

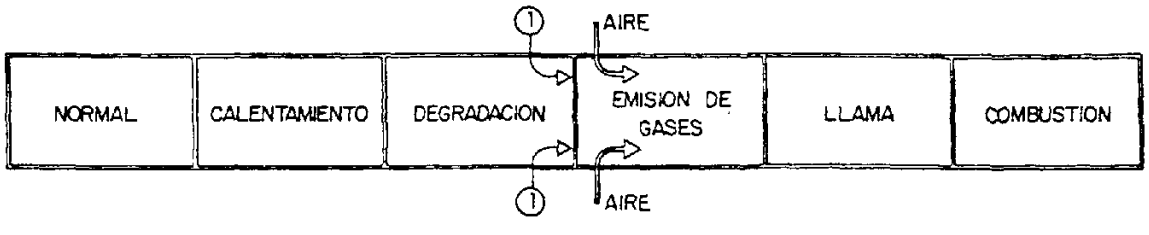
b) Degradación, con carbonización de la superficie y cambios químicos con desprendimiento de gases (normalmente combustibles y tóxicos).

c) Mezcla de los gases con el oxígeno ambiental, produciéndose la ignición y la llama.

d) Inflamabilidad, con aumento de temperatura, normalmente en la superficie.

e) Combustión, en las zonas interiores próximas, desarrollándose el proceso hacia el interior.

Este proceso se puede representar esquemáticamente, según G.R. Moore y D.E. Kline (143).



① CARBONIZACION DE LA SUPERFICIE

Dentro de este proceso es necesario conocer:

1) La facilidad con la que el polímero entra en ignición.
2) La velocidad con la que la llama se propaga por él.
3) La velocidad con la que la llama le atraviesa.
4) La carga calorífica que posea.
5) La velocidad de desprendimiento de calor.
6) El desprendimiento de gases, combustibles y tóxicos y la densidad del humo.

Existen diversidad de procedimientos para proteger a los productos plásticos del fuego.

Un modo de protegerlos es revestirlos, como en nuestro caso, mediante otros productos que eviten el contacto directo con la llama, y que posean un bajo coeficiente de transmisión térmica que evite el comienzo de la degradación.

Otro modo de protegerlos es introducir entre las cadenas moleculares productos que actúen sobre las fases del proceso, como pueden ser:

a) Estabilizantes, que eviten su degradación.
b) Captadores de radicales libres, evitando la emisión de gases.
c) Retardadores de la llama, pudiendo ser de acción física o química (disipando calor y liberando abundante volumen de gases no combustibles o reaccionando con la materia combustible e interrumpiendo la reacción en cadena).

Estos productos pueden ser de tres tipos:

1) Reactivos: conteniendo grupos funcionales que permiten su incorporación en la cadena del polímero por medio de una reacción química.
2) Aditivos: no entran a formar parte de la constitución molecular, dispersándose físicamente en la estructura.

3) Sinergéticos: aumentando su efectividad por trabajo conjunto respecto a su efectividad por separado.

Estos productos modificarán el comportamiento mecánico del polímero, debiendo existir un estudio de su influencia antes de ser añadidos.

5.3.5. Influencia del método de transformación.

Durante el proceso de transformación en el cual se va a dar la forma física del polímero, pueden provocarse modificaciones físicas y químicas que afecten a sus propiedades.

Los efectos físicos hacen referencia a la conformación molecular, ya que para dar formas a los polímeros sintéticos se necesita producir una masa molecular fluida, para lo cual hay que incrementar la temperatura y trasladar la masa al molde por medio de cualquier sistema industrial.

Durante este proceso las moléculas se desenrollan y reordenan, determinándose en función del gradiente de temperatura y del método de transformación (Inyección, transferencia, termoformado, vacío, extrusión, etc.) la homogeneidad en la distribución del peso molecular, la cristalinidad, etc.

Los efectos químicos hacen referencia a las modificaciones constitucionales de las moléculas, con

escisiones moleculares, crecimiento de la reticulación, etc., estando provocados por tres factores independientes:

a) Exceso de temperatura.
b) Exceso de tensiones en el proceso de transferencia.
c) Empleo de aditivos químicos.

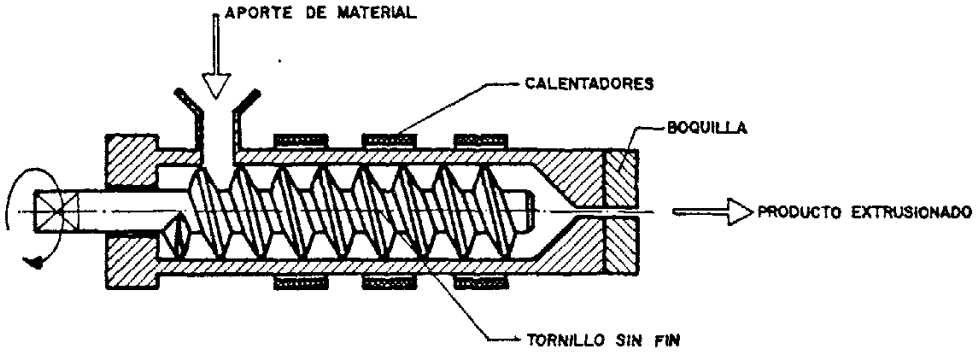
Estos efectos son análogos a los descritos en el apartado anterior a propósito de la durabilidad.

Dado que vamos a utilizar fibras poliméricas y dispersiones como agregados del yeso, analizaremos su sistema de fabricación y la influencia en las propiedades finales.

Fibras.

Las fibras plásticas se obtienen a partir de productos semielaborados, o directamente desde una masa de polímero en estado viscoso, por un procedimiento denominado de extrusión.

Este procedimiento consiste en comprimir una masa fundida de polímero, normalmente por un tornillo sin fin, contra una boquilla que puede tener cualquier forma. Al salir a través de ella, es enfriada para que mantenga la forma.



Esquema de una extrusionadora

La fibras pueden fabricarse utilizando boquillas con el tamaño del monofilamento que se quiera fabricar, o utilizando boquillas alargadas que produzcan láminas. Dichas láminas se someten a un proceso de estirado en dirección transversal al extrusionado hasta que se separan las cadenas moleculares. Estos monofilamentos se cortan en tiras y se deforman para producir fibras trenzadas de mayor resistencia que el polímero original.

Al ser un proceso de fabricación direccional, el extrusionado produce una orientación molecular preferente en el sentido del proceso de fabricación de la fibra, logrando un aumento considerable de propiedades mecánicas en esa dirección y una disminución en las direcciones transversales, lo que provoca un comportamiento anisótropo.

La extrusión también produce una orientación en las zonas que pudieran estar cristalizadas, que adopta en caso de simetrías laminares la dirección de la fibra.

NOTA:

Debido a su mínimo espesor, se utilizan las unidades usadas en la industria textil: el denier, el tex y el psi, para medir estas fibras.

El denier es un índice del área de la fibra que se define como el peso en gramos de 9.000 metros de ésta.

El tex equivale a 9 denier.

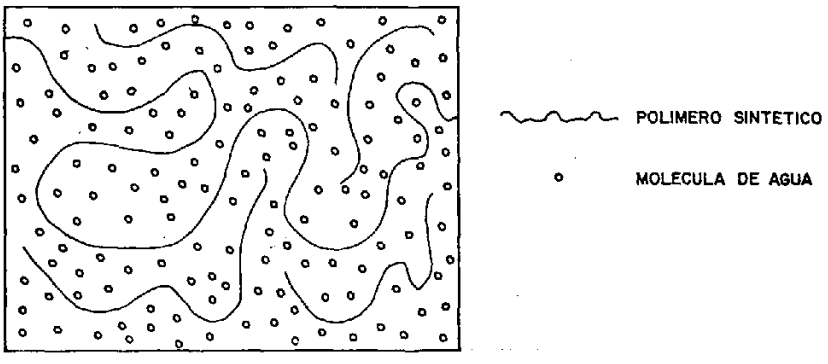
El psi es equivalente a 0,07 Kg/cm^2.

La sección de la fibra puede obtenerse dividiendo por la densidad correspondiente y la longitud a la que la unidad (denier o tex) está haciendo referencia.

La unidad de tensión usualmente utilizada es la de gr/tex.

Dispersiones.

En el caso de soluciones acuosas, las moléculas del polímero fluctuan entre las del solvente. Las moléculas de agua impiden el enredamiento de las cadenas poliméricas, produciéndose entre ambas una suspensión debida a la acción de las cargas dipolares, que impiden la configuración viscoelástica propia de los polímeros sintéticos, sin poseer conformaciones ni configuraciones fijas.



Estas acciones diferirán en función de los estados de fuerzas que establezcan los componentes, relacionados con sus propiedades, pudiendo resumirse en los siguiente binomios:

a) Polímeros amorfos no polares y disolventes amorfos no polares.
b) Polímeros no polares y disolventes amorfos.
c) Polímeros amorfos no polares y disolventes cristalinos.
d) Polímeros y disolventes amorfos polares.
e) Polímeros y disolventes cristalinos polares.

De todos ellos nos interesa únicamente la relación con disolventes polares, como es el caso del agua, ya que el agua que se utiliza para fabricar el material híbrido es un disolvente polar.

Como se analizó en el capítulo 3 (materiales reforzados) las moléculas se adherirán unas a otras debido a la presencia de uno o más de los cuatro tipos de fuerzas:

Fuerzas de dispersión.
Fuerzas cohesivas.

Fuerzas dipolares.

Fuerzas de enlaces de hidrógeno.

En el caso de los polímeros orgánicos se considera que las fuerzas cohesivas y las dipolares presentan un grado análogo de influencia.

La energía cohesiva es conocida para el agua y los diferentes tipos de polímeros, no así el grado de polarización. Esta se da normalmente (por operatividad) en términos de polaridad parcial, la cual expresa la influencia debida a los enlaces polares en el estado general de fuerzas.

Debido a esas grandes lagunas de datos sobre las polaridades parciales de los polímeros, su comparación se realiza, más que cuantitativamente, por sentido común.

La acción de estas dispersiones sobre el sulfato cálcico y el agua están analizadas en el capítulo 4 (Yeso), en los apartados dedicados a: disolución, hidratación, cristalización, velocidad de crecimiento y aditivos en disolución.

5.3.6. Aditivos.

Debido a la naturaleza de la estructura amorfa de las cadenas de polímeros, se pueden añadir otras materias que quedarán fijadas entre los entrelazamientos moleculares en

estado sólido, siempre que cumplan las siguientes condiciones:

Compatibilidad física y química.

Autoestabilidad química.

Gran rendimiento.

Atoxicidad.

Estos productos modifican las propiedades de los polímeros sintéticos y, aparte de permitir y facilitar su proceso de transformación, les dotan de otras cualidades fundamentales absolutamente necesarias en las piezas específicas en que serán convertidos, dando como resultado lo que denominamos material plástico.

Podemos clasificarlos en estos grupos:

a) Plastificantes: producen una disminución de rigidez a tempertura ambiente; fluidificantes y desmoldeantes.
b) Estabilizantes, tanto térmicos como químicos, y antioxidantes, debiendo evitar la degradación molecular.
c) Endurecedores, catalizadores, activadores, cuya misión es aumentar las propiedades mecánicas.
d) Espumantes.
e) Ignifugantes, convirtiendo el producto en autoextinguible.
f) Colorantes, pigmentos, tintes, agentes abrillantadores, etc.
g) Cargas: para lograr estabilidad dimensional.

Cada producto plástico incorpora aquéllos que se consideran necesarios para su correcto comportamiento y en las cantidades que se fijan. Por tanto, en base a un mismo tipo de polímero sintético, se pueden obtener materiales de muy diferente comportamiento.

De todos los componentes y aditivos enumerados, conviene analizar más detalladamente aquéllos que afectan a las propiedades mecánicas y, sobre todo, los que se refieren al comportamiento ante el fuego.

Las propiedades mecánicas de los polímeros se ven modificadas por los grupos de plastificantes y endurecedores.

Los plastificantes y fluidificantes tienen por objeto disminuir la rigidez de los polímeros sintéticos a temperatura ambiental; aumentan su flexibilidad ante acciones exteriores, dentro de la etapa vidriosa, no existiendo por tanto efectos viscosos.

Los plastificantes se sitúan entre las cadenas moleculares, provocando que los entrelazamientos de éstas se formen sin zonas de tensión.

Por efecto de las acciones mecánicas exteriores estos plastificantes tienden a emigrar, en un proceso de dispersión interna, hacia la superficie del plástico, produciéndose la rotura frágil en las zonas de donde han emigrado. Para limitar esta migración se deben escoger plastificantes que: sean muy compatibles con el polímero

(para evitar repulsiones electrostáticas), sean elementos de elevado peso molecular y constitución en largas cadenas, y sean poco volátiles, evitando su pérdida con el paso del tiempo.

Los endurecedores, catalizadores y activadores provocan el entrelazamiento de las cadenas moleculares, dando lugar a una configuración espacial de éstas. Estos productos no llegan a formar parte del producto final, quedándose aparte y en estado libre después de haber favorecido los entrecruzamientos. Su aplicación puede realizarse en toda la masa del polímero, produciendo un cambio de comportamiento; o sólo en la superficie, aumentando la dureza superficial del plástico y favoreciendo su resistencia al desgaste.

Cargas.

Las cargas consisten en una gran variedad de sustancias orgánicas e inorgánicas que, se añaden a la masa fluida del polímero sintético, y que en función de sus propiedades intrínsecas, influyen en las diferentes propiedades de los plásticos.

Podemos esquematizar las propiedades intrínsecas del siguiente modo:

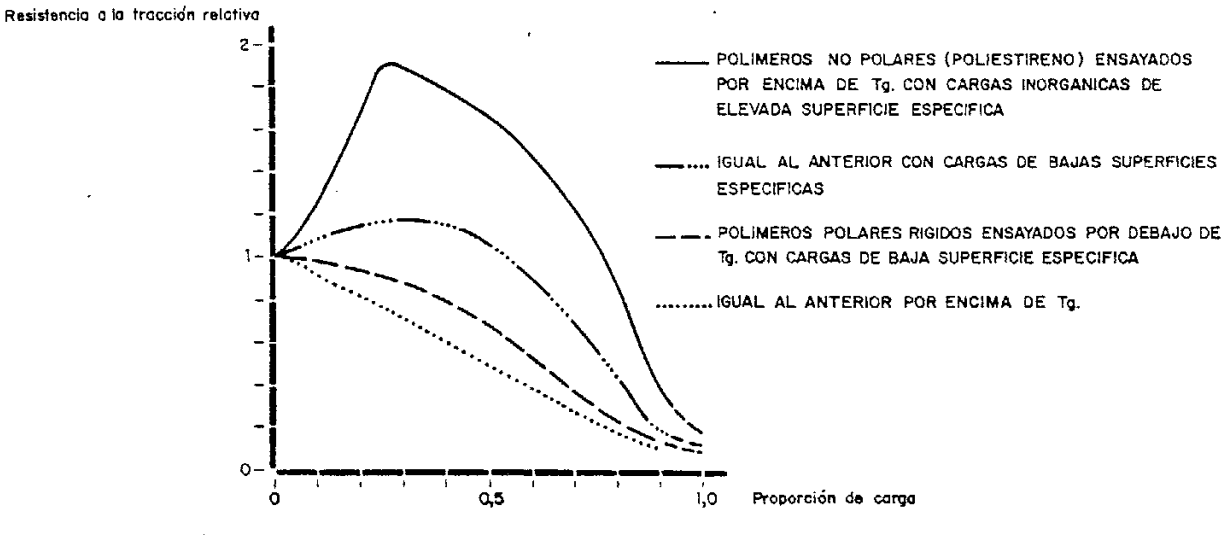
a) Propiedades primarias.
   - Forma de las partículas.
   - Distribución de tamaños.

- Area superficial.
- Composición química.

b) Propiedades secundarias.
   - Térmicas, con sus efectos termofísicos y termoquímicos.
   - Físicas, con sus efectos mecánicos.
   - Opticas.
   - Dieléctricas.

Las cargas modifican el módulo de elasticidad, produciendo su aumento siempre que se mantenga una relación entre el volumen añadido y el empaquetamiento de las partículas.

La resistencia a tracción está afectada en función de las características del empaquetado, de los tamaños de las partículas y de la unión interfacial con el polímero, estando esta última relacionada con su polaridad.



Efecto de la proporción de carga sobre la resistencia a tracción según M. Arroyo Ramos y J.L. Acosta Luque (12)

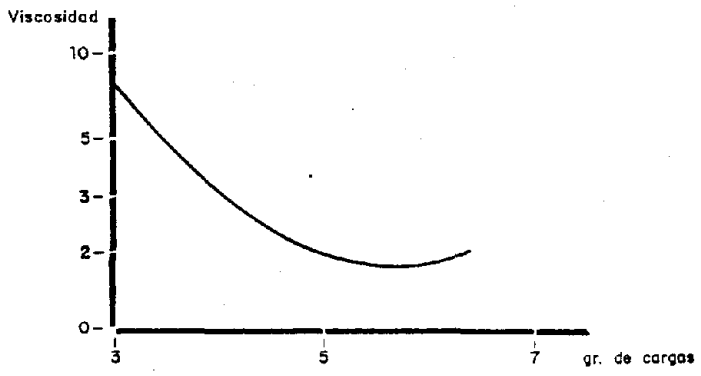
La resistencia a flexión se verá reducida de modo análogo a la resistencia a tracción.

Al actuar las cargas como concentradoras de tensiones por no tener un comportamiento visco-elástico, aumentan la resistencia al impacto, para pequeños tamaños de carga y bajas concentraciones.

Las cargas actúan también modificando la viscosidad de un polímero por encima de la temperatura de transición, según la gráfica adjunta, en un proceso inverso al aumento de resistencia en las mismas condiciones.

POLIMEROS \ CARGAS	CARBONATO CALCICO	NEGRO DE HUMO	ARCILLAS	VIDRIO	CUARZO	TALCO	VOLLASTONITA	HARINA DE MADERA
POLIURETANO	○			○	○			
SILICONA			○		○			
P.V.C.	○		○					
POLIESTIRENO				○		○		○
POLIPROPILENO	○				○	○		○
POLIETILENO	○				○			○
POLIESTER	○		○	○		○	○	○
FENOLICOS	○		○			○		○
POLIAMIDA			○	○	○		○	
EPOXI				○	○		○	

Cargas usadas normalmente en los diferentes tipos de polimeros segun J.Z. Keating, S.A. Grovet, J. Rea y T. Cook (108)



Efecto de la carga sobre la viscosidad de un polimero

5.4.0. Principales variedades de polímeros.

1) Termoplásticos.

1,1, Celulósicos;
- Acetato de celulosa (celofán)..... C,A,
- Nitrato de celulosa (celuloide)..... C,N,
- Acetato butirato de celulosa (tenita).. C,A,B,
- Etil celulosa..... E,C,
- Acetato propionato de celulosa..... C,A,P,
- Carboximetil celulosa..... C,M,C,
- Propionato de celulosa..... C,P,

1,2, Vinílicos;
- Policloruro de vinilo..... P,V,C,
- Acetato de polivinilo..... P,V,A,C,
- Polivinil butirol..... P,V,B,
- Policloruro-acetato de vinilo..... P,V,C,A,
- Polialcohol vinílico..... P,V,A,L,

1,3, Etilénicos;
- Polietileno..... P,E,
- Polipropileno..... P,P,

1,4, Estirénicos;
- Poliestireno..... P,S,
- Acrilonitrilo-estireno..... S,A,N,
- Poliestireno-butadieno..... S,B,P,
- Acrilonitrilo-butaedieno-estireno..... A,B,S,

1,5, Acetales;
- Poliacetal..... P,O,M,

1,6, Acrílicos;
- Polimetacrilato de metilo (plexiglas).. P,M,M,A,
- Acido poliacrílico..... P,A,A,
- Poliacrilo-nitrilo..... P,A,N,
- Polibutadieno acrilonitrilo..... P,B,A,N,
- Policloro acrilato de metilo..... P,M,C,A,

1,7, Carbonatos;
- Policarbonato (lexau)..... P,C,

1,8, Fluorados;
- Polifluoruro de vinilo..... P,V,F,
- Tetra-fluoretileno (teflón)..... P,T,F,E,
- Copolímero de superfluor..... F,E,P,
- Polimonocloro-trifluoretileno..... P,C,T,F,E,

2) Termoestables.

2,1. Fenoplastos;
Fenol-formaldehido (bakelita)..... P,F.

2,2. Aminoplastos;
Urea-formaldehido..... U,F.
Melamina-formaldehido (formica)..... M,F.
Poliamida (nylon)..... P,A.

2,3. Resinas;
Poliéster (polietilentereftalato)..... P,E,T,P.
Poliuretano..... U,P.
Alquídicas..... -

2,4. Epóxidos;
Epoxi (Araldita)..... E,P.

E. T. S. A. de M.
BIBLIOTECA

Propiedades:

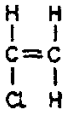
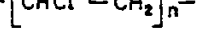
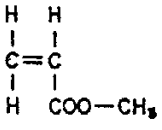
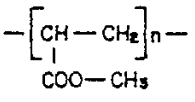
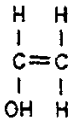
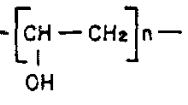
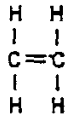
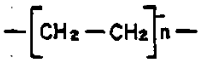
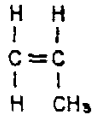
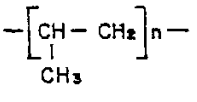
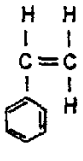
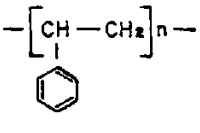
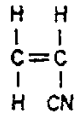
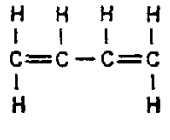
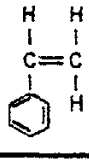
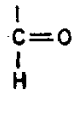
Las propiedades particulares de cada uno de ellos, analizadas desde el criterio de ventajas y limitaciones, son las siguientes:

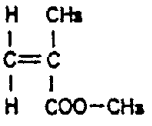
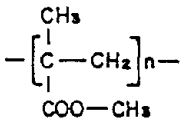
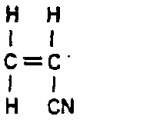
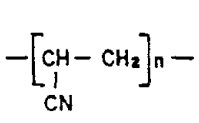
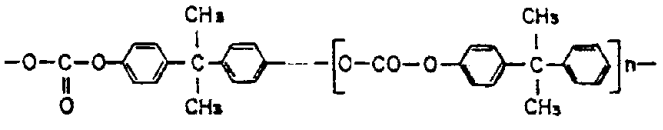
POLIMERO	PESO ESPECIFICO	VENTAJAS	LIMITACIONES
Celulósicos;	1,1-1,3	Muy buena tenacidad, Buenas propiedades ópticas, Buena resistencia a la intemperie, Buena moldeabilidad, Resistencia a las llamas, Costo medio,	Poca resistencia mecánica,
Vinílicos;	1,35-2,0	Excelente resistencia química, Excelente resistencia a la intemperie, Buenas propiedades eléctricas, Resistencia al rozamiento, Capacidad de amortiguamiento, Buena absorción del sonido, Resistencia a las llamas, Costo bajo,	Degradación térmica, Reacción con los plastificantes,
Etilénicos;	0,9-1,1	Buena resistencia química, Buena resistencia a la fatiga, Buen aislante eléctrico, Inalterables por la acción del agua, Buena mecanibilidad, Propiedades bien equilibradas Costo bajo,	Poca resistencia a los rayos ultravioletas y a la intemperie, Frágil a bajas temperaturas,
Estirénicos;	0,9-1	Buenas propiedades eléctricas Buena estabilidad dimensional, Buena estabilidad térmica, Buenas propiedades ópticas, Costo bajo,	Poca resistencia a los rayos ultravioletas y a muchos solventes orgánicos,

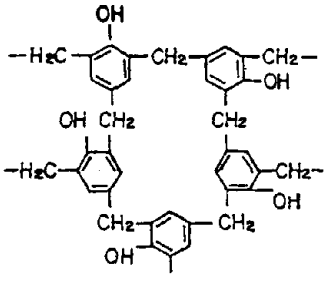
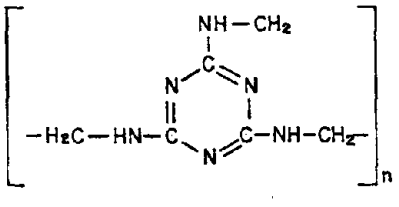
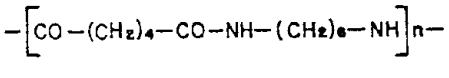
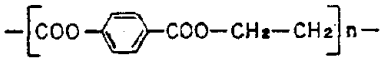
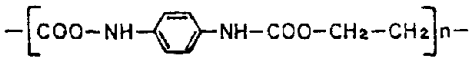
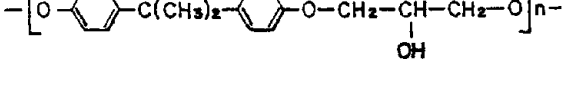
Acetales:	1,4	Excelente comportamiento a la fatiga, Excelente estabilidad dimensional, Resistencia a los solventes orgánicos, Bajo coeficiente de fricción, Costo medio,	Poca resistencia a la intemperie, Poca resistencia al fuego,
Acrílicos:	1,1-1,2	Excelente transmisión óptica, Resistencia a la intemperie, Poca absorción de agua, Costo medio,	Poca resistencia a la abrasión, Baja temperatura de transición,
Carbonatos:	1,2	Alta resistencia, Buena estabilidad dimensional, Transparencia, Buen aislamiento térmico, Costo medio,	Poca resistencia a los solventes orgánicos, Poca resistencia química,
Fluorados:	2,1-2,2	Inertes químicamente, Muy estables a altas temperaturas, Tenaces, Aislantes eléctricos,	Coste muy alto, Malas propiedades mecánicas, Dificultades de fabricación,
Fenoplastos:	1,3-1,8	Aislantes eléctricos, Buenas propiedades mecánicas, Buena resistencia térmica, Estabilidad dimensional, Bajo costo,	Poca resistencia a los ácidos fuertes y a los álcalis, Colores muy oscuros,
Aminoplastos:	1,5-2,0	Excelente estabilidad térmica, Muy duros y rígidos, Resistencia química buena excepto a los ácidos fuertes, Bajo costo,	Poca estabilidad dimensional, Las altas temperaturas perjudican a la resistencia y al color,
Poliamida:	1,0-1,5	Buena resistencia y rigidez, Buena resistencia a la fricción,	Absorben líquidos polares (agua), con hinchamientos y ablandamientos, Poca resistencia a los ácidos orgánicos y fuertes, Costo elevado,

Poliéster;	1,05-1,4	Buena resistencia térmica, Buena resistencia atmosférica, Alta resistencia mecánica, Costo bajo,	Posible falta de homogeneidad en masa,
Poliuretano;	1,5-2,0	Facilidad de espumado, Aislamiento térmico y acústico, Costo medio,	Baja resistencia a la oxidación, La humedad es perjudicial a altas temperaturas,
Alquídicos;	1,2-2,4	Buenas propiedades eléctricas, Buena resistencia térmica, Bajo costo,	Poca resistencia a la humedad a temperaturas elevadas,
Epóxidos;	1,1-2,06	Buenas características en condiciones húmedas, Capacidad de curación en condiciones atmosféricas, Buenas características eléctricas, Estabilidad dimensional,	Costo elevado,

De entre estas variedades de polímeros seleccionamos en función de su grado de utilización los siguientes polímeros.

PRINCIPALES	POLIMEROS TERMOPLASTICOS		MONOMEROS	FORMULA GENERAL
VINILICOS	POLICLORURO DE VINILO			
	ACETATO DE POLIVINILO			
	POLIALCOHOL VINILICO			
ETILENICOS	POLIETILENO			
	POLIPROPILENO			
ESTIRENICOS	POLIESTIRENO			
	ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRERO (A B S)	A		
		B		— A — B — S —
		S		
ACETALES	POLIACETAL			

ACRILICOS	POLIMETACRILATO DE METILO		
	POLIACRILONITRILO		
CARBONATO	POLICARBONATO		

PRINCIPALES POLIMEROS TERMOESTABLES	MONOMEROS	FORMULA GENERAL
FENOPLASTOS — FENOL–FORMALDEHIDO	FENOL + FORMALDEHIDO	
AMINOPLASTOS — MELAMINA–FORMALDEHIDO	AMINA + FORMALDEHIDO	
RESINAS — POLIAMIDA	ACIDO DICARBOXILO + DIAMINA	
POLIESTER	ACIDO DICARBOXILO + GLICOL	
POLIURETANO	DIISOCIANATO + GLICOL	
EPOXIDOS — EPOXI	BISFENOL + EPICLORHIDRINA	

5.5.0. Estudio Comparativo y selección.

El proceso de selección se analiza de modo independiente para obtener los polímeros idóneos que se añaden como fibras y como dispersiones al yeso.

Tanto las fibras como las dispersiones presentan características determinadas en función del método de transformación, por lo que el proceso de selección se realiza en base a las propiedades genéricas que poseen las familias de polímeros sintéticos. Se han estudiado las propiedades específicas de cada polímero, así como las modificaciones que introduce el proceso de transformación para cada uno de los polímeros perteneciente a las familias seleccionadas.

Los polímeros que se seleccionan deben poseer las siguientes características:

- Altos valores de resistencia mecánica, fundamentalmente a tracción, para poder absorber las tensiones internas que se generan en el material híbrido, cuando éste soporta cargas exteriores, dilataciones, entumecimiento, etc.
- Una buena adherencia con la matriz de yeso para que las tensiones internas que se generan en el interior puedan ser transferidas al polímero agregado.
- Una estructura molecular que posibilite su transformación bien en fibras o bien, en dispersiones.

- Un precio asequible que permita su agregación al yeso en los porcentajes optimizados, obteniéndose un producto comercialmente competitivo.
- Existencia en el mercado del polímero seleccionado en su estado de agregación, que permita su obtención para agregarlo al yeso.

Si analizamos cada una de las características enunciadas obtenemos las siguientes conclusiones:

A) Prácticamente todas las macromoléculas de los diferentes tipos de polímeros presentan altos valores de resistencia mecánica, por lo que el proceso de selección debe realizarse en base a su macroestructura. Los más apropiados son todos los polímeros termoestables porque presentan altos valores resistentes, y los termoplásticos de mayor peso molecular por posibilitar la existencia de zonas paracristalinas.

B) La adherencia que deseamos obtener es conseguida mediante una relación armónica entre la fibra y la matriz, que se logrará mejor con una mayor diferencia entre tensiones superficiales. Para ello necesitamos aquellos polímeros de menor tensión superficial, la cual está muy relacionada con la polaridad tal como se analizó en los epígrafes 5.1.3. y 5.3.2. siendo los polímeros de grupos laterales más sencillos los que pueden presentar bajos valores de energía y actuar como generadores de núcleos de dihidrato.

C) Esta adherencia puede también conseguirse introduciendo en la matriz dispersiones poliméricas que actúen como generadores de núcleos de dihidrato y permitan además debido a su efecto fluidificante, reducir la relación agua/yeso.

Ahora bien, como ya se postuló, la combinación de fibras y dispersiones producirá efectos sinergéticos en su comportamiento conjunto con la matriz.

La fabricación de dispersiones no presenta una gran dificultad, no siendo el método de transformación un elemento crítico para la elección del polímero. Sin embargo, para la fabricación de fibras se necesitan estructuras macromoleculares que faciliten los procesos de extrusionado, por lo cual sólo son válidos los termoplásticos y los termoestables con macromoléculas insaturadas de directriz lineal, como son las resinas y los epóxidos.

El factor económico considerado bajo criterios generales desestima la utilización de los epóxidos que presentarían excelentes valores de adherencia y las poliamidas.

Debido a la variación particularizada de propiedades en cada polímero, en relación con la cantidad y tipos de cargas con los que haya sido fabricado, la elección específica del producto a utilizar dentro de las familias seleccionadas vendrá condicionada por un análisis de las propiedades contenidas en las documentaciones técnicas

editadas para cada producto y, en igualdad de éstas, por la facilidad de obtención.

El proceso de selección teórico nos sirve para elegir varios polímeros, que añadimos al yeso, observando los resultados obtenidos, lo que nos permite continuar el proceso de modo experimental.

Debido a la diferencia de estructura macromolecular, se realizan dos selecciones para cada tipo de agregado (fibra y dispersión), una entre los termoplásticos y otra entre los termoestables.

Fibras.

Los polímeros termoplásticos presentan aumentos del peso molecular en relación con la complejidad de la cadena molecular y con incrementos de su longitud. La influencia de la fabricación en la variación de la longitud de las cadenas impide su selección.

Para facilitar la adherencia se prefiere aquéllos polarmente más simples, como pueden ser los celulósicos, vinílicos y etilénicos.

Todos ellos son fácilmente transformables en fibras, sin embargo los celulósicos presentan bajos valores de resistencia mecánica, y los vinílicos presentan el inconveniente de reaccionar con los plastificantes,

necesarios en el proceso de transformación; luego los idóneos son los etilénicos.

Los etilénicos presentan una buena resistencia química, siendo inalterables por la acción del agua, con la que van a estar en contacto contínuo (en estado líquido o en vapor) desde el momento de su agregación al yeso. Presentan un buen aislamiento eléctrico, que nos indica su alto comportamiento polar, de naturaleza electrostática, al ser mal conductor. Mecánicamente poseen una buena mecanibilidad para su transformación en fibras y buena resistencia a la rotura por fatiga. Como aspectos negativos se observa fragilidad a bajas temperaturas, y poca resistencia al envejecimiento por la acción de los rayos ultravioletas, lo que limita su utilización en ambientes con esas características. Dentro de los etilénicos, el propileno es el que presenta mayores valores de resistencia a menor costo.

Las resinas acrílicas han experimentado un espectacular avance tecnológico con la aparición en el mercado de las fibras de alta tenacidad, para fieltros, tejidos y fabricación de materiales híbridos. Por ello vamos a comprobar sus resultados como agregados del yeso. Los polímeros acrílicos presentan una buena resistencia a la intemperie, y una limitada absorción del agua y un coste superior al polipropileno. Dentro de los acrílicos el poliacrilonitrilo es el que presenta mayores valores de resistencia mecánica y es más fácilmente transformable en fibras.

Los polímeros termoestables que pueden utilizarse son aquéllos de cadena molecular insaturada de directriz lineal, como son las resinas y los epóxidos. Estas últimas se desestiman por su elevado precio, al igual que las poliamidas. Entre los poliésteres y los poliuretanos, los primeros presentan mejores valores de resistencia mecánica y de durabilidad frente a la acción de los agentes atmosféricos, baja en los poliuretanos debido a la oxidación. De entre los poliésteres únicamente son transformables en fibras los obtenidos a partir del ácido tereftálico, debido a la posición enfrentada de los grupos carboxilos, como se analiza en el capítulo 6.2. (naturaleza química). Debido al uso casi exclusivo de la fibra de poliéster en la industria textil, utilizamos una fibra de diámetro comparable con las anteriores y longitud análoga, cortada especialmente para la realización de este trabajo y tratada químicamente para quitar el ensimaje superficial que llevan en el uso textil, que evita la adherencia entre las fibras.

Dispersiones.

Como las dispersiones presentan un efecto fluidificante, el refuerzo del yeso puede conseguirse: bien por una acción adhesiva con la complejidad que presenta esta acción combinada con los fenómenos de cristalización en la hidratación del yeso, o bien por la aproximación de los cristales de dihidrato entre sí al producir una reducción de la relación agua-yeso.

Los polímeros termoplásticos presentan una mayor facilidad para producir adhesivos químicos por la reacción de grupos laterales de radical $-COO-CH_3$, si bien endurecen por medios puramente físicos produciendo conexiones entre los núcleos de dihidrato. De entre los termoplásticos únicamente presentan radicales ($-COO-CH_3$) el acetato de vinilo (vinílico) y los acrílicos derivados del polimetacrilato de metilo. Ambos presentan una buena resistencia ante agentes atmosféricos.

Los polímeros termoestables añadidos en forma de dispersiones, formarán una retícula espacial que conecta los núcleos de dihidrato y las cristalizaciones posteriores, por tanto cuanto mayor sea la reticulación mejores resultados se obtendrán. Los que presentan una mayor reticulación son los Fenoplastos y los Aminoplastos. Debido a la existencia de los grupos OH en los Fenoplastos, que pueden producir inhibiciones en los fenómenos de hidratación del yeso, es preferible utilizar los Aminoplastos (como son las melaminas-formaldehidos), que son además menos quebradizos.

Debido a las características específicas que el proceso de transformación aporta a cada uno de los polímeros seleccionados, es necesario realizar un estudio particularizado de cada uno de ellos, en el que queden definidas las propiedades específicas en relación a su macroestructura, así como la influencia que el proceso de transformación efectúa sobre ésta, y establezca las propiedades definitivas del producto finalmente fabricado.

6. FIBRAS POLIMERICAS.

6. FIBRAS POLIMERICAS

6.0.0. Generalidades.

Una vez conocido el mecanismo interno de funcionamiento de los agregados es necesario analizar de modo particular aquéllos que han sido seleccionados para formar parte del material híbrido, obteniendo sus propiedades específicas.

Este estudio individualizado incluye al polímero en sí y a su transformación en fibras, observando las diferencias de comportamiento exterior en función de su proceso de transformación, obteniéndose las propiedades específicas que poseen los agregados poliméricos en forma de fibras, tanto de polipropileno como de poliéster o acrílicos.

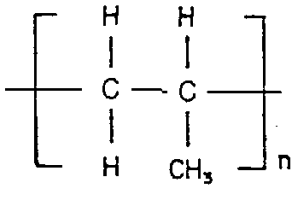
Estas propiedades específicas de comportamiento tanto mecánico como superficial, unidas a las conclusiones obtenidas en los capítulos de los polímeros del yeso y de los materiales reforzados, nos permitirán interpretar los resultados de los ensayos realizados con el yeso y los agregados.

6.1.0. Polipropileno.

6.1.1. Estructura molecular.

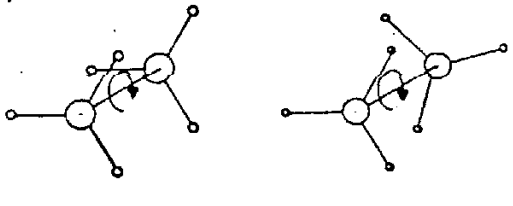
El polipropileno es un polímero termoplástico de cadena lineal perteneciente al grupo etilénico, denominado también olefínico, ya que de modo genérico este grupo está basado en la polimerización de la olefina ($CH_2=CH_2$).

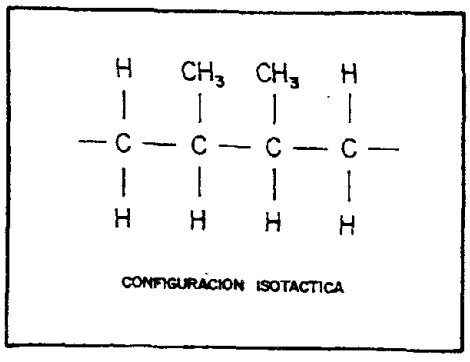
El polipropileno procede de la polimerización del monómero del propileno ($CH_2=CH-CH_3$), formando cadenas lineales constituidas por una cantidad de monómeros que oscila entre los 10.000 y 20.000.



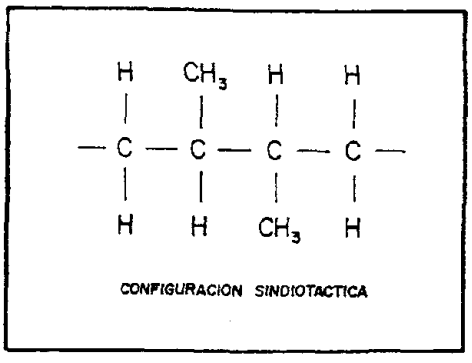
6.1.2. Macroestructura.

Debido a las características no simétricas del monómero por la existencia de grupo metilo (CH_3), pueden presentarse diversas estructuras de la macromolécula, posibilitadas por la libertad angular de los enlaces entre carbonos, formándose configuraciones isotácticas, sindiotácticas o atácticas, que serán responsables de las propiedades específicas de cada cadena molecular.





CONFIGURACION ISOTACTICA



CONFIGURACION SINDIOTACTICA

Estas configuraciones, por causa de la repulsión existente entre los grupos metilo, producen ordenaciones preferentes que influirán en el entrelazamiento de las cadenas.

La configuración isotáctica produce, por repulsión electrostática, una organización helicoidal (con tres moléculas en cada paso) a lo largo de la cadena, u organizaciones curvadas de la molécula. Esta configuración favorece la formación de zonas cristalinas que suponen el 60%-70% del material, con pérdida de movilidad molecular al equilibrarse las fuerzas electrostáticas. Raramente las cadenas moleculares se integran en toda su longitud en una zona cristalizada; también participan de la formación de zonas amorfas, coexistiendo estructuras paracristalinas entre una masa de entrecruzamientos amorfos.

La pérdida de movilidad molecular confiere las características de resistencia y tenacidad, mientras que las zonas amorfas aportan las características termoplásticas y la tenacidad al conservar las moléculas cierta movilidad por no estar equilibrados sus grupos laterales.

Estructura paracristalina.

Debido a la existencia de formaciones cristalinas, crece el punto de reblandecimiento, por lo que se puede trabajar con normalidad a temperaturas de 100°C, y disminuye la resistencia al impacto, dada la fragilidad que provoca la estructura cristalina. Esta resistencia depende de la orientación con que se aplique el impacto y de la axialidad molecular (los monofilamentos tienen orientación monoaxial y las láminas multiaxial).

La formación de zonas cristalinas depende del peso molecular y de la velocidad de enfriamiento.

Cuanto mayor sea el peso molecular, más aumentarán las conexiones entre las zonas cristalizadas y las amorfas, produciéndose una mayor cohesión interna que facilita la redistribución interna de las tensiones, aumentando el comportamiento mecánico y la resistencia al impacto. El peso molecular puede incrementarse por aumento de la longitud de la cadena molecular o produciendo ramificaciones por copolimerización con α-θlefinas (preferentemente etileno).

La velocidad de enfriamiento influye sobre el tamaño y el tipo de las zonas cristalizadas. A mayor velocidad de enfriamiento disminuirá el tamaño y la cantidad de zonas cristalizadas (con preferencia por las primarias, de forma helicoidal), empeorando el comportamiento mecánico. A menor velocidad de enfriamiento se facilita la formación de zonas cristalizadas, aumentando su tamaño y posibilitándose la aparición de cristalizaciones curvadas en forma de

E. T. S. A. de M.
BIBLIOTECA

esfeoidizaciones, con mejora del comportamiento mecánico y térmico.

La configuración sindiotáctica favorece la linealidad de las cadenas moleculares por la alternancia de los grupos metilo, disminuyendo el enredamiento entre las cadenas y aumentando la cristalinidad de tipo unicelular. Ambos efectos disminuyen notablemente las resistencias mecánicas del polipropileno. Esta configuración no se utiliza en la fabricación de productos ni fibras, ya que éstas se deshilarían con facilidad.

La configuración atáctica, al estar formada por una sucesión estéricamente desordenada, impide la capacidad de creación de zonas cristalinas y por tanto no se consiguen valores utilizables de resistencias mecánicas, usándose únicamente como adhesivo de alto punto de fusión. Normalmente durante la fabricación del polipropileno se produce un 7% de configuración atáctica, que coexiste con las configuraciones anteriores.

6.1.3. Comportamiento mecánico.

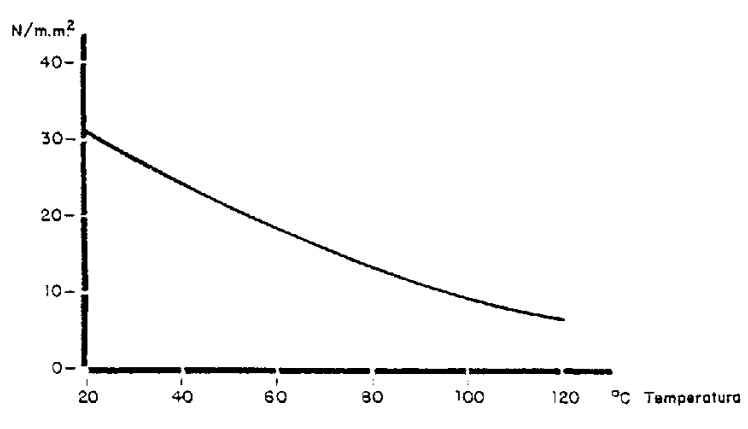
Comportamiento viscoelástico.

Como en todos los polímeros termoplásticos, el comportamiento mecánico varía según la temperatura de trabajo y el tiempo de aplicación de las cargas, dada su naturaleza viscoelástica.

Para cargas aplicadas durante períodos no muy prolongados de tiempo y en la etapa vidriosa, el comportamiento será elástico, alcanzando deformaciones plásticas para altos valores de carga y comportándose como un material sólido de estructura amorfa.

Transición vítrea.

La temperatura de transición marca el cambio al comportamiento viscoelástico para períodos cortos de carga, al que se llega a través de una disminución progresiva de propiedades mecánicas.

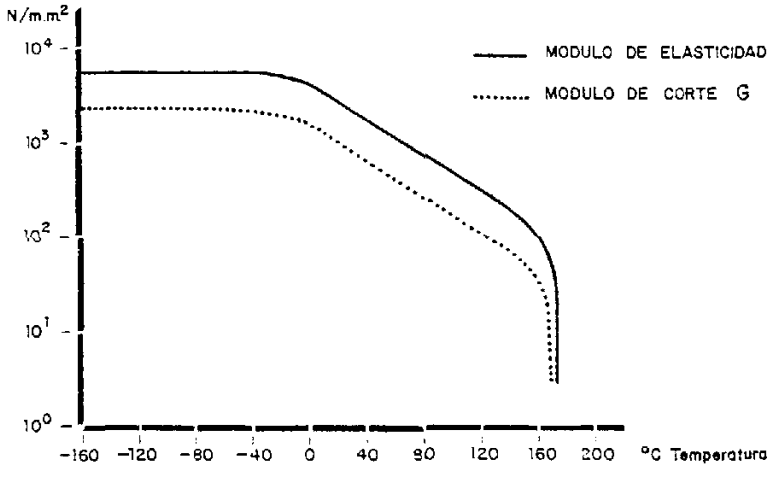


Relación entre la tensión de tracción y la temperatura

En períodos largos de carga aparece el comportamiento viscoelástico, con deformaciones anaelásticas, también denominadas plastodeformación.

El polipropileno presenta una temperatura de transición vítrea a -10°C, por encima de la cual las moléculas conformadoras del estado amorfo adquieren movilidad, presentando un comportamiento viscoelástico a

temperatura ambiente; alcanzando la zona de fusión de las cristalizaciones entre los 160 y 168°C.



Influencia de la temperatura sobre el modulo de elasticidad y el modulo de corte

A temperaturas inferiores a cero grados centígrados el polipropileno presenta una estructura inmovilizada, comportándose como un material frágil, y por tanto con una mínima resistencia al impacto. Esta temperatura se puede considerar como la transición al comportamiento viscoelástico, permitiendo el movimiento de las cadenas moleculares existentes entre las zonas cristalizadas. A mayor cantidad de cristalizaciones, menos se apreciarán los efectos externos del comportamiento viscoelástico.

La transición vítrea puede apreciarse en las inmediaciones de la temperatura ambiente a través de una pequeña inflexión que describen las curvas, a partir de la cual se observa una reducción progresiva de los valores de

los módulos en relación con los aumentos de temperatura. Se producen cada vez mayores fenómenos de fluencia en la estructura amorfa, hasta la pérdida total de propiedades, por desaparición de la estructura de las zonas cristalinas.

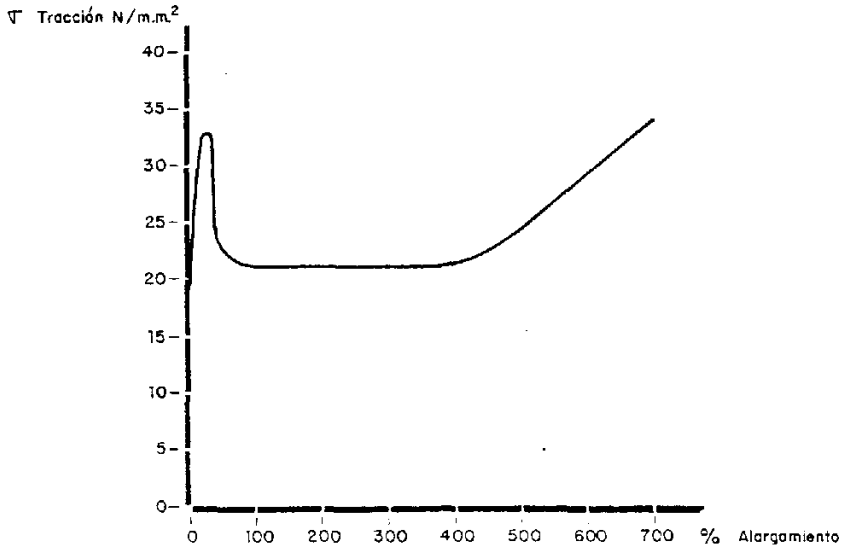
En la temperatura de fusión las zonas cristalizadas pierden su cohesión, predominando el comportamiento fluido y desapareciendo el componente elástico ante esfuerzos exteriores entre los 160°C y 168°C. Esta temperatura delimita el campo máximo de utilización del refuerzo en el material híbrido.

Estos márgenes de transición, en donde se modifican considerablemente las características de las zonas moleculares y a consecuencia de ello el comportamiento mecánico, se pueden observar en la figura anterior a través de los módulos de elasticidad y corte.

Relación entre tensiones y deformaciones.

La relación entre tensiones y deformaciones será por tanto específica para cada temperatura, manteniéndose únicamente constante en la etapa vidriosa.

En la siguiente figura puede observarse esta relación para períodos cortos de carga y a una temperatura de 23°C.

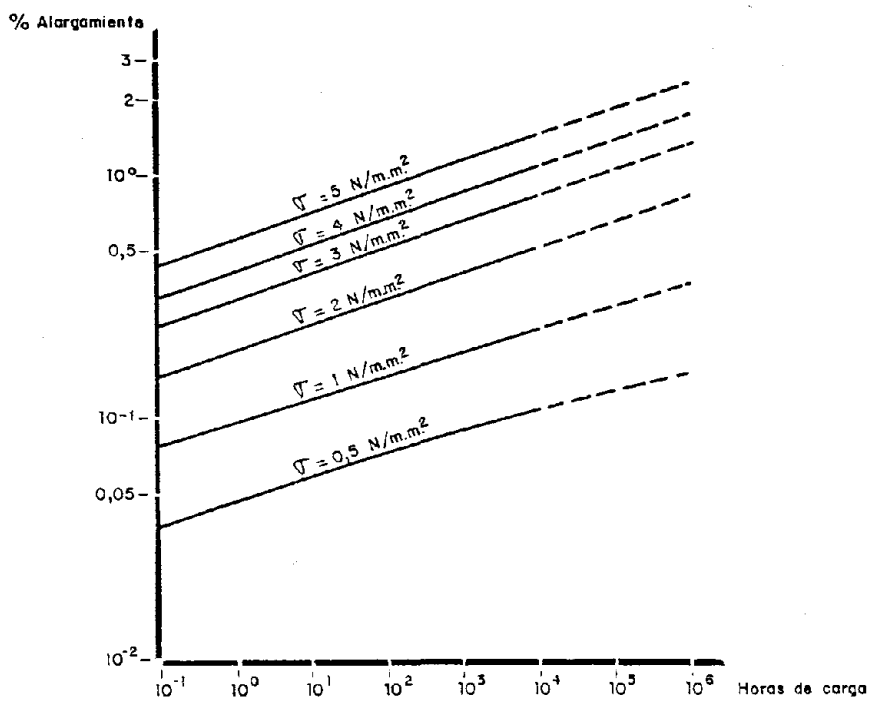


Al estar dentro de la etapa cauchosa se produce una primera respuesta elástica, seguida de una relajación, al superarse las fuerzas cohesivas de origen secundario existentes en las zonas amorfas. Se provoca así una nueva reordenación, en la dirección de la tensión, y un enmarañamiento que es el responsable del aumento de resistencias ante los elevados valores de deformación.

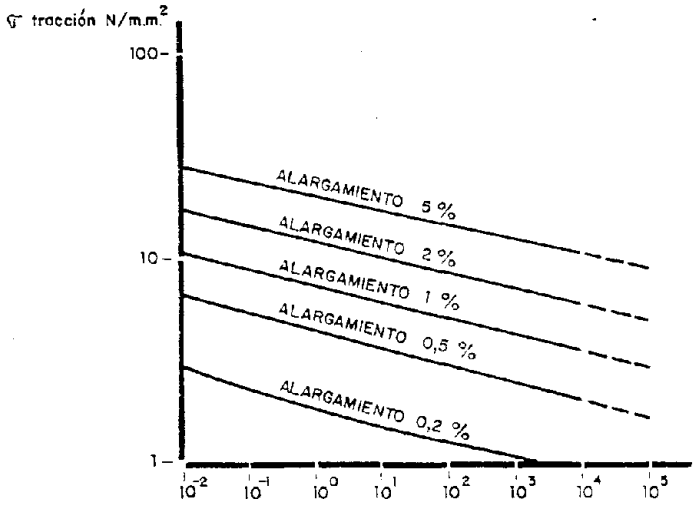
El comportamiento durante tiempos prolongados se determina estudiando: la relajación de tensiones (por desaparición de éstas bajo esfuerzos constantes) y la resistencia a los esfuerzos permanentes de plastodeformación (aumento de la deformación bajo tensión constante).

Este comportamiento será más o menos acusado en función de la temperatura de la muestra y siempre que se desarrollen dentro de la etapa cauchosa.

Tanto la relajación de tensiones a esfuerzos permanentes como la disminución de resistencia a lo largo del tiempo, quedan reflejadas en la siguientes gráficas.



Alargamiento bajo carga constante a lo largo del tiempo a 23°C



Relajación de tensiones bajo deformación constante a lo largo del tiempo a 23°C

La recuperación elástica es alta de modo inmediato, permaneciendo constante a partir de un 10% de alargamiento. Hasta alargamientos del 8% presenta una recuperación total al retirar la fuerza actuante, apareciendo deformaciones permanentes a partir de este valor.

Para fuerzas que actúen durante largo tiempo, la recuperación es lenta y sobre todo comparada con la del poliéster.

En términos generales el estudio del comportamiento mecánico en plastodeformación podría seguir analizándose desde multitud de enfoques, como pueden ser: el comportamiento a alta velocidad de deformación, resistencia a la tracción brusca, rigidez a la torsión, impacto, etc. De todos los posibles análisis únicamente podría ser interesante comprobar el comportamiento bajo esfuerzos oscilantes, ya que los tendrá que soportar en el interior de la matriz de yeso por dilataciones y contracciones higrotérmicas.

La resistencia de la mayoría de los plásticos ante las oscilaciones permanentes, varía entre valores de un 20% y un 30% (aproximadamente) de la resistencia obtenida en el ensayo a tracción de corta duración.

6.1.4. Propiedades superficiales.

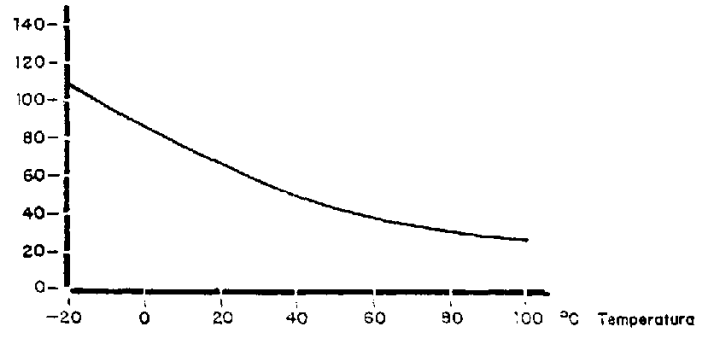
Las propiedades superficiales están determinadas por la estructura molecular y la macroestructura.

La estructura molecular nos determinará la resistencia ante los agentes atmosféricos y los efectos sobre la adherencia electrostática en función de la polaridad molecular.

La macroestructura influirá sobre las propiedades mecánicas superficiales.

La dureza del polipropileno es en general mayor que la mayoría de los termoplásticos. Es un material que no puede rayarse con la uña.

Esta dureza está determinada en función: del grado de cristalinidad, la constitución, la configuración y la conformación de las moléculas.



Dureza Shore en función de la temperatura a los 30 seg.

La resistencia dieléctrica superficial, al ser una parafina, no está muy influenciada por la humedad del ambiente o las impurezas superficiales, como en el caso de los polímeros hidrófilos, alcanzando valores para el polipropileno no antiestático, de $10^{15}\Omega$. El índice dieléctrico o constante dieléctrica relativa es de 2,25, produciendo una mínima trasformación de la energía suministrada en calor, por orientación de los dipolos.

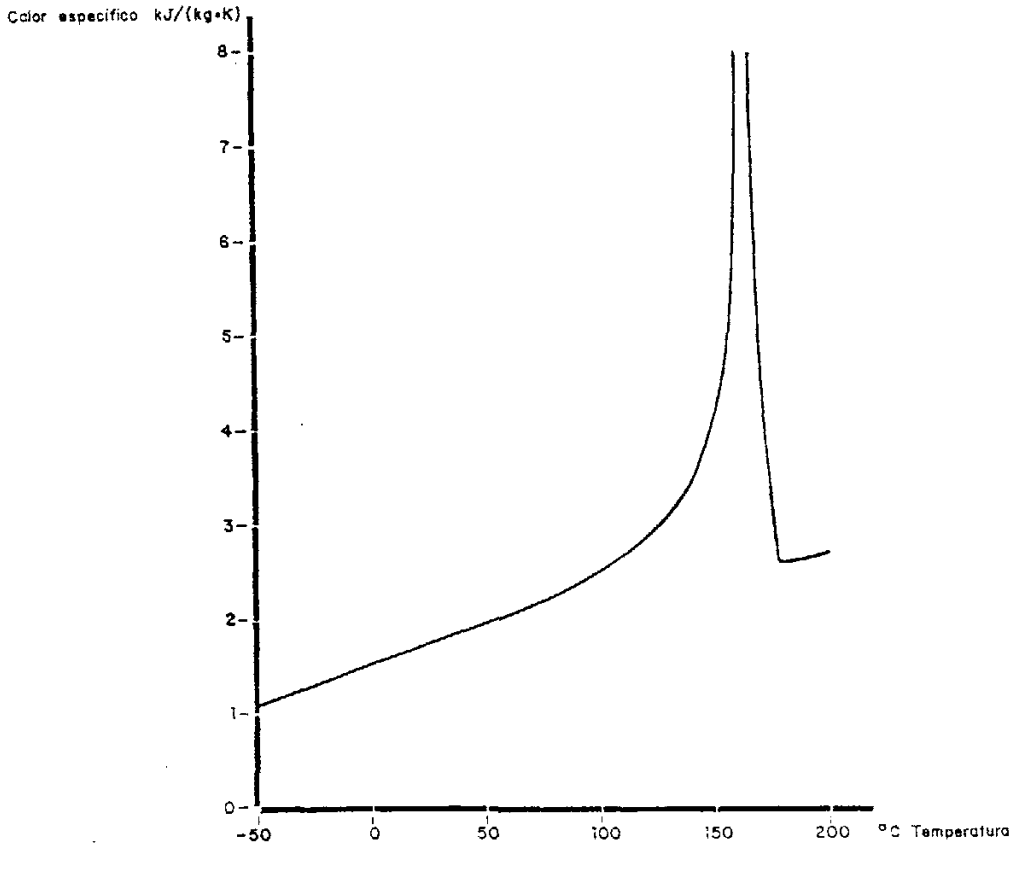
Debido a su gran resistencia dieléctrica, el polipropileno puede cargarse electrostáticamente: por fricción, por aplicación de un campo eléctrico, o simplemente por una ligera corriente de aire. Como

consecuencia de ello atraerá el polvo ambiental. Esta característica favorece los fenómenos de adherencia por enlaces superficiales con la matriz de yeso.

6.1.5. Comportamiento térmico.

Por ser una materia orgánica de bajo peso molecular, el calor específico se sitúa entre 0,84 y 2,5 KJ/Kg K en la zona de temperaturas comprendida entre los 20 y los 100°C.

El calor específico suele aumentar linealmente con la temperatura hasta la zona de fusión de las cristalizaciones, donde aumenta rápidamente en función del grado de cristalización.



Influencia de la temperatura sobre el calor especifico

Sin embargo la conductividad calorífica no depende prácticamente de la temperatura, presentando valores de alrededor de 0,22 W/m K a 20°C.

La contracción térmica es el único efecto térmico específico de la fibra con respecto a la materia prima. Se consigue sumergiendo ésta en agua hirviendo, o por corrientes de aire caliente, y produce una disminución en el sentido lineal de la fibra.

Este proceso es debido a la relajación de las microfibrillas por el calor, no estando para nada conectado con los efectos de la humedad sobre el polímero.

El tratamiento con calor produce una estabilización dimensional de la fibra y mejora sus propiedades mecánicas, por incremento del grado de cristalinidad, al permitir que algunas cadenas moleculares de corta longitud o bajo peso molecular se incluyan en las organizaciones cristalinas.

El tamaño de los cristales aumenta con el tratamiento térmico, a la vez que la movilidad y flexibilidad molecular.

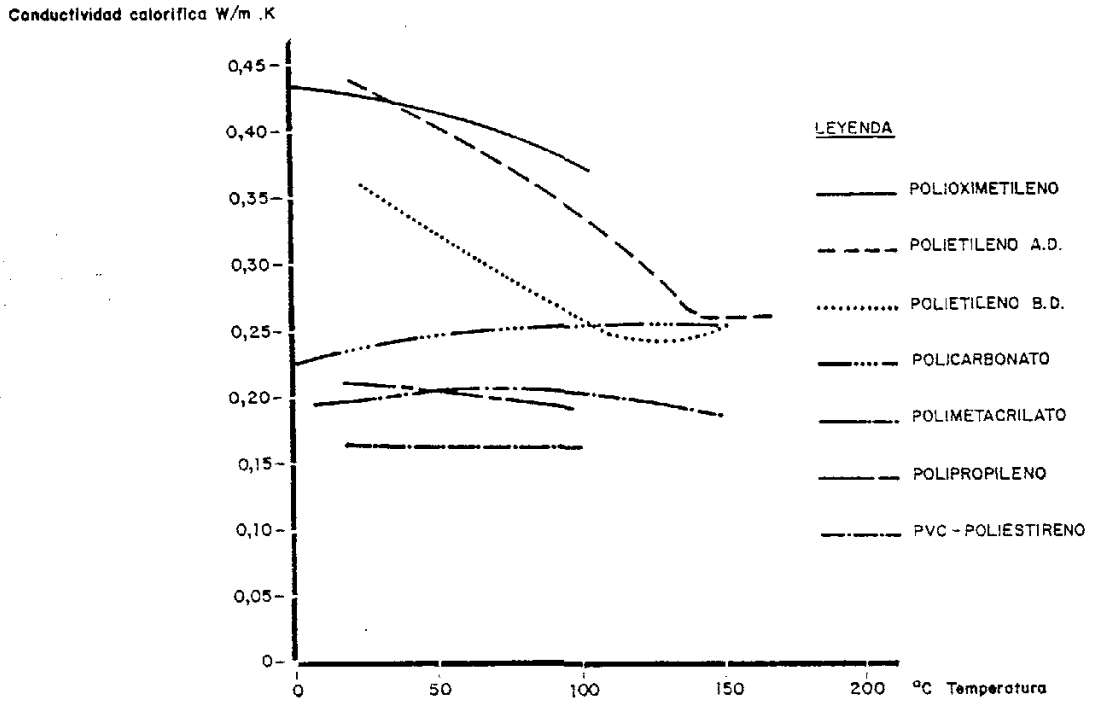
El proceso de estabilización por calor consta de las siguientes fases:

a) A elevadas temperaturas decrecen las fuerzas intermoleculares, aumentando la posibilidad de movimiento de los segmentos moleculares.

b) El incremento de las vibraciones de los segmentos moleculares posibilita su propia ordenación en un estado de menor energía potencial, que conduce a un incremento de la cristalinidad, aumento del tamaño de los cristales, perfección de éstos e incremento uniforme de las unidades estructurales.

c) Se produce la estructura fibrosa más estable cesando los movimientos moleculares.

En el polipropileno el tratamiento de estabilización por calor produce un aumento de las roturas por elongación.



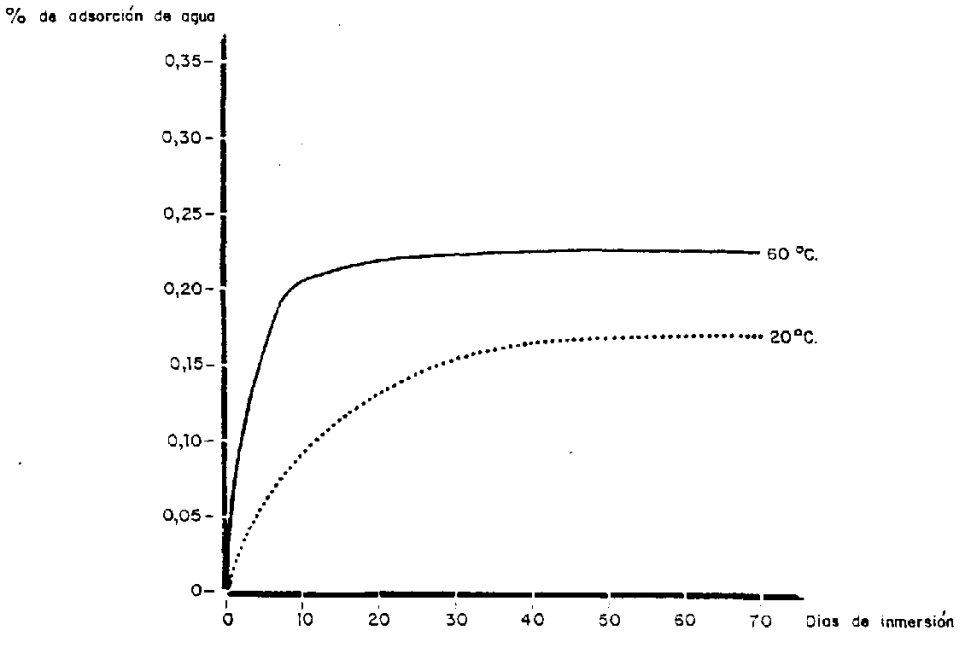
Conductividad calorifica

6.1.6. Propiedades químicas.

La resistencia a los agentes químicos será mayor cuanto más elevados sean el peso molecular y la densidad.

El polipropileno es resistente a las soluciones acuosas de sales inorgánicas, así como a casi todas las bases y ácidos inorgánicos, incluso a alta concentración y a temperaturas superiores a 60°C.

La absorción de agua es mínima, siendo sólo posible la determinación analítica de la misma. Dicha absorción se atribuye principalmente a la adsorción superficial por enlaces secundarios, no variando sus propiedades y estabilidad dimensional durante el fraguado del yeso.



Adsorción de agua a diversas temperaturas

El polipropileno sólo es atacado por sustancias oxidantes (ácido nítrico concentrado, halógenos, etc.).

Los hidrocarburos halogenados, así como los alifáticos, aromáticos, e hidroaromáticos, lo mismo que algunos otros disolventes y determinados aceites, producen a altas temperaturas un cierto hinchamiento o disolución que puede alterar las propiedades del material.

6.1.7. Durabilidad.

El polipropileno se ve afectado en sus propiedades mecánicas por la acción conjunta del oxígeno del aire y la radiación ultravioleta, volviéndose quebradizo y decolorándose en su superficie en el período aproximado de medio a un año, debido a la existencia del grupo metilo.

La contaminación produce también la degradación del polipropileno reticulándose completamente a causa del SO_2 en presencia de rayos ultravioletas.

Este envejecimiento puede limitarse evitando el contacto del material con las radiaciones solares, en caso de no ser posible, aumentando el espesor del material y adicionando estabilizadores como el negro de humo o incorporando aminas con impedimento estérico que actúen en el mecanismo de transmisión de energía de fotoxidación.

En el caso de nuestro estudio este problema queda soslayado al no existir un contacto directo del polipropileno con la radiación solar, por estar embebido como agregado en el interior de la matriz de yeso.

Unicamente en el agregado se debería tener especial cuidado para evitar la presencia superficial de la fibras, con cualquier tipo de procedimiento mecánico.

6.1.8. Procesos de Transformación.

El polipropileno posee excelentes características de transformación por su baja viscosidad y por la buena distribución del peso molecular que determina una mayor facilidad para trabajar en fundido.

Las propiedades finales del producto dependen del proceso de transformación, ya que la temperatura que se alcance en la fusión y la rapidez de enfriamiento determinarán el tamaño y el tipo de estructura cristalina, y las velocidades de nucleación y crecimiento.

En el proceso de transformación pueden emplearse distintos métodos, dependiendo del producto que se pretenda fabricar. En el caso de fibras el procedimiento empleado es el de extrusión, pasando la masa fundida a través boquillas diseñadas al efecto, pudiendo obtenerse de este modo monofilamentos o fibras fibriladas.

La diferencia radica en el tipo de boquilla utilizada en la extrusión, existiendo en el caso de la fibrilación boquillas perfiladas en forma de peine.

En ambos casos el material sufre un proceso de estirado a temperaturas de 90 a 130°C, con relaciones de estirado de 1:2 a 1:5 en el caso de monofilamentos y de 1:10 en el caso de fibriladas, deshilachándose éstas por las zonas más delgadas y obteniéndose un manojo de hilos contínuos mínimos de 6 a 8 den.

Este proceso de estirado, al someter a la masa polimérica a una fuerza de orientación, produce una reordenación de los segmentos moleculares en las zonas amorfas en la dirección del esfuerzo y hacen arrastrarse a las zonas cristalizadas existentes a lo largo del eje de la fibra.

El estirado incluye diversas clases de cambios estructurales en la fibra:

- Cambios de orden para-cristalino.
- Orientación de moléculas en regiones amorfas en la dirección de la fuerza aplicada.
- Orientación de los segmentos cristalinos de acuerdo con los vectores de fuerza.
- Deformación y ruptura de la estructura supramolecular en ciertos casos.
- Alineamiento de los trozos de la estructura supramolecular la dirección de la fuerza aplicada.
- Cambios en la cristalinidad, en el tamaño de los cristales y en el grado de perfección.

El tipo de estructura cristalina, laminar o esferulítica, es determinante en relación con la fuerza necesaria en el proceso de estirado, siendo mucho mayor la requerida por las estructuras cristalinas complejas.

Las cristalizaciones a base de esferulitas se deforman formando elipses, llegando a destruirse con la tensión impuesta en el estirado, y formando una nueva estructura

icrofibrilar, ya que éstas son los elementos estructurales básicos de las fibras.

Las microfibrillas consisten en regiones amorfas alternadas con regiones cristalinas, aunque actúen mucho más como un cristal con áreas localmente debilitadas.

Los bloques cristalinos de microfibrillas adyacentes tienden a estar alineados lateralmente, dando un efecto óptico laminar.

Las fibras al estirarse muestran una orientación casi completa de la estructura cristalina, con alta orientación de los componentes amorfos.

Este proceso de estirado consiste en lo que podríamos denominar una deformación plástica, comenzando en primer lugar con un deslizamiento de las microfibrillas, al que oponen un rozamiento por fricción superficial. Esta es mucho mayor entre láminas de cristal que las que se oponen a la deformación plástica en el material esferulítico.

El movimiento de deslizamiento de las microfibrillas produce una tensión de cortadura proporcional a la desviación angular existente entre ellas. La resistencia a la deformación es proporcional a la longitud de la fibra y a la tensión de cortadura.

Bajo la tensión aplicada las microfibrillas pueden fallar primeramente por formación de microgrietas, que aparecerán en sentido perpendicular al eje de la fibra,

provocando la rotura de los grupos laterales de las cadenas moleculares. Estos grupos laterales pueden aumentar la cohesión lateral de la fibras e interferir el movimiento de deslizamiento longitudinal.

Los condicionantes del estirado son: el cociente de estirado, la velocidad y la temperatura, influyendo además otros tipos de variables como son:

- Variables de polimerización (peso molecular, etc.).
- Aditivos.
- Cristalización (morfología, nucleaciones, etc.).

La elección de estas variables es lo que condiciona el estirado.

El peso molecular está directamente relacionado con la fuerza necesaria para estiramiento y con la temperatura óptima del estirado, aumentando cuando aumenta aquél.

A menor peso molecular la formación de cuellos en las fibras ocurre más fácilmente, y se producen fibras más limpias. El bajo peso molecular actúa a modo de plastificante para el volumen de polímero a bajas temperaturas.

Los aditivos que favorecen el proceso de estirado son el rodio, cinc, calcio y las ceras parafínicas en proporciones éstas últimas de un 2% a un 5%.

La orientación molecular mejora la fortaleza de la fibra en el estado de estirado.

6.1.9. Tipos de fibras.

Dentro de las fibras de polipropileno existen diferentes tipos especiales con diferentes características propias, además de las usuales que utilizamos para reforzar el yeso.

- Fibras de retracción.

La retracción de este tipo de fibras depende de las condiciones de estirado y relajación, aumentando al hacerlo la razón de estirado y alcanzando su valor máximo para valores de ésta entre 2,5 y 3. Cuanto menor sea la temperatura de estirado, más encogerá la fibra.

Este tipo de fibra está compuesto por bloques o láminas de microfibrillas interconectadas por moléculas, consiguiendo redistribuir las tensiones internas ante acciones exteriores, al provocar un trabajo conjunto entre los diferentes bloques.

La cantidad de moléculas de atado crece con el peso molecular, como consecuencia de la mayor probabilidad de las moléculas de mayor tamaño para pertenecer a más de una unidad cristalina, formando diversas láminas por pliegues y cambios direccionales de la cadena.

- Fibras elásticas.

Esta característica de especial comportamiento elástico superior al normal del polipropileno se debe a la presencia de láminas cristalinas apiladas. Estas láminas se colocan en sentido perpendicular a la dirección de extensión, soportando gran extensión sin que se produzca estricción ni fluencia plástica.

El mecanismo que produce esta elasticidad parece ser el giro y la separación de las láminas cristalinas, que crean una serie de cavidades entre ellas, dependiendo la elasticidad de la curvatura de esos cristales laminares.

Por tanto el proceso y la cristalización son muy importantes para obtener una estructura estratificada que permita esos giros y separaciones, quedando éstas unidas únicamente por fuerzas de Van der Waals entre los pliegues laminares.

El proceso de obtención de este tipo de fibras presentará las siguientes características:

a) Bajas temperaturas de hilado.
b) Gran velocidad de hilado y enfriamiento.
c) Amplio peso molecular ampliamente distribuido.

En este tipo de fibra los efectos de carga cíclica son importantes y complejos, perdiendo características elásticas tras dos ciclos de carga consecutivos, ya que se producen reordenamientos laminares internos. Para estabilizar el

comportamiento elàstico es necesario someter a la fibra a un proceso de recocido que permita estas reordenaciones, por acoplamiento paralelo de las láminas (debido al principio de minimización de la energía interna).

- **Microfilamentos.**

Este tipo de fibras poseen un diámetro de su sección entre 0,006 y 150 denier (1 denier = 0,1524 mm).

Se obtienen de modo análogo a los monofilamentos, con las singularidades de realizarse a baja velocidad siguiendo el proceso de enfriado en agua, calentado en un horno o en rodillos bajo tensión, estirado y enfriado de nuevo en agua fría bajo tensión. Este proceso evita la tendencia que presentan a enrollarse espontáneamente por atracciones electrostáticas.

Dependiendo del grado de cristalización se pueden obtener dos tipos de fibras: flexibles y frágiles.

En este tipo de fibras son importantes los efectos de cargas cíclicas, que producen ajustes y enrollamientos; para evitarlo es necesario utilizar polímeros con gran distribución de pesos moleculares, ampliamente repartidos, evitando las cristalizaciones.

- Fibras resistentes al deterioro superficial.

Para obtener este tipo de fibras se usan polímeros de bajo peso molecular, combinando la baja viscosidad debida a la orientación con secciones de fibra adecuadas, y con un calentamiento a 130-140°C.

- Fibras con recuperación de la compresión.

Para obtener este tipo de fibras se usan polímeros de peso molecular relativamente alto, calentados bajo tensión después de un torcido de la fibra, debido al mal comportamiento del polipropileno ante la compresión.

6.2.0. Poliéster.

6.2.1. Estructura molecular.

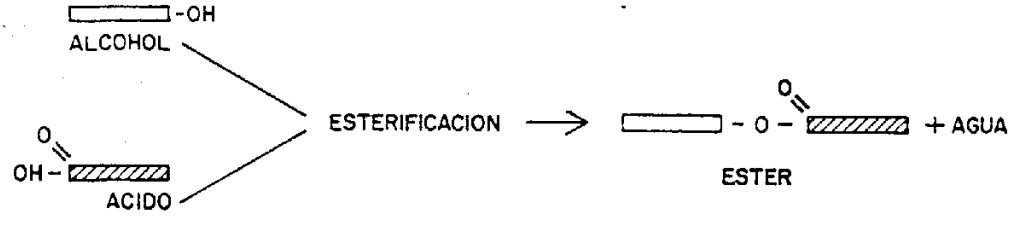
El poliéster es un polímero termoestable perteneciente a las proteínas sintéticas, caracterizado por la presencia de uniones tipo éster en la cadena principal.

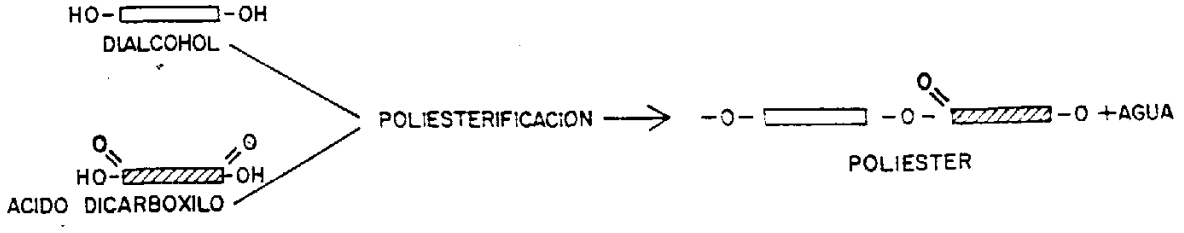
Análogamente a las reacciones ácido-base que tienen lugar en química inorgánica, existen en química orgánica reacciones entre un alcohol (base orgánica) y un ácido orgánico, que producen un éster y agua:

Alcohol + ácido orgánico → éster + agua.

Este proceso se denomina reacción de esterificación o de condensación, como se denominó en el capítulo 4.2 de modo genérico.

El poliéster se obtiene en un proceso de poliesterificación entre un dialcohol y un ácido dicarboxilo.





La esterificación y poliesterificación son el resultado de la reacción entre los grupos OH del aocohol y del ácido, con independencia de su configuración específica.

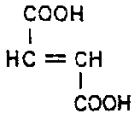
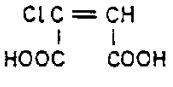
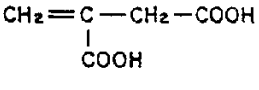
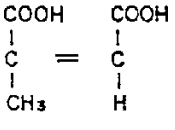
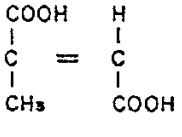
Dependiendo de los tipos de constituyentes se obtendrán diferentes poliésteres, cuya configuración molecular podrá oscilar desde una cadena lineal hasta una retícula espacial. Si además el alcohol o el ácido contienen dobles enlaces entre dos carbonos (C=C), se obtiene un poliéster insaturado que posteriormente puede romperse, formando ramificaciones y entrecruzamientos con otras cadenas moleculares.

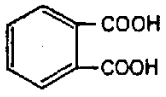
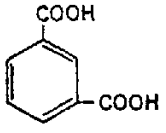
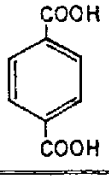
E. T. S. A. de M.
BIBLIOTECA

Debido a la amplia variedad de constituyentes que pueden generar una gran diversidad de poliésteres, analizaremos los más comunes:

- **Componentes ácidos.**

Según posean o no enlaces dobles distinguiremos dos tipos de ácidos, saturados o insaturados.

PRINCIPALES ACIDOS INSATURADOS	
ACIDO FUMARICO	
ACIDO CLOROMALEICO	
ACIDO IACONICO	
ACIDO CITRECONICO	
ACIDO MESACONICO	

PRINCIPALES ACIDOS SATURADOS	
ACIDO FTALICO	
ACIDO ISOFTALICO	
ACIDO TEREFTLICO	

En el caso de fibras, nos interesa que las cadenas moleculares posean una configuración lineal exenta de ramificaciones, por lo cual utilizaremos siempre ácidos saturados.

Los tres tipos de ácidos saturados no se diferencian en su comportamiento externo, pero debido a la posicionalidad del grupo carboxilo en el benzeno; generarándiferentes posibilidades de entrelazamiento y por consiguiente a diferencias en el comportamiento mecánico de las cadenas moleculares.

El ácido ftálico da lugar a una unión poco flexible, obteniéndose productos rígidos. Su principal inconveniente es que reduce la resistencia al calor de los laminados.

El ácido isoftálico da lugar a productos con valores más elevados del módulo de flexión, de la temperatura de

trabajo y de resistencia al agrietamiento; mostrando un mejor comportamiento frente al agua y los álcalis. Estos fenómenos son debidos a una mayor viscosidad y acoplamiento moleculares que produce la posicionalidad de los grupos carboxilos.

El ácido tereftálico debido a la posicionalidad enfrentada de los grupos carboxilos genera cadenas moleculares lineales muy aptas para la formación de fibras.

- Componentes alcohólicos.

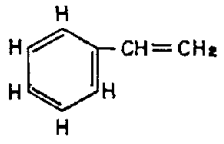
Los alcoholes utilizados para la síntesis de poliésteres son dialcoholes también llamados glicoles, constando de dos grupos hidroxílicos (OH), que permiten la reacción con los compuestos ácidos.

- Monómeros de entrecruzamiento.

Son elementos dotados de un enlace doble entre carbonos, que se introducen entre las cadenas lineales de poliésteres insaturados, para producir una reticulación en la estructura molecular al establecer enlaces puente entre ellos.

El diluyente reactivo más utilizado es el estireno debido a su bajo precio, comparatibilidad, baja viscosidad, facilidad de manejo y buen comportamiento ante el agua y los medios alcalinos.

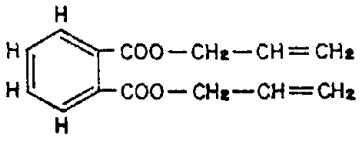
ESTIRENO



También se utiliza el metacrilato de metilo, pero debido a que no es capaz de polimerizar con la mayoría de los poliésteres insaturados, se utiliza normalmente con el estireno.

Con menos frecuencia se utiliza el viniltolueno y el ftálato de dialilo.

FTALATO DE DIALILO



6.2.2. Macroestructura.

La variedad de los componentes que pueden entrar en la reacción de polimerización posibilitan la creación de multitud de estructuras físicas diferentes, que pueden variar desde estructuras lineales a espaciales.

De esta posibilidad se deduce que el poliéster puede comportarse en ciertos casos como termoplástico cuando forma cadenas lineales,; se reblandecen por la acción del calor de forma reversible, solidificándose de nuevo al enfriarse.

También puede comportarse como termoestable cuando forma redes espaciales, endureciéndose de forma irreversible y no pasando por estados de viscosidad creciente por aumento de temperatura.

Las configuraciones isoméricas moleculares dependen de los monómeros utilizados y de su alternancia, presentando energías cohesivas en función de la polaridad macromolecular, que es producida por la posicionalidad de los grupos laterales y su electronegatividad.

Debido a esta disparidad estructural se podían obtener diferentes productos como son las resinas de poliéster para laminados, para moldeo, y para formar fibras, que se analizan detalladamente.

- Las resinas para laminados poseen una estructura rígida que no fluye al calentarla. Esta rigidez es debida a la reticulación existente entre moléculas por medio de enlaces primarios, y condicione las propiedades mecánicas del producto.

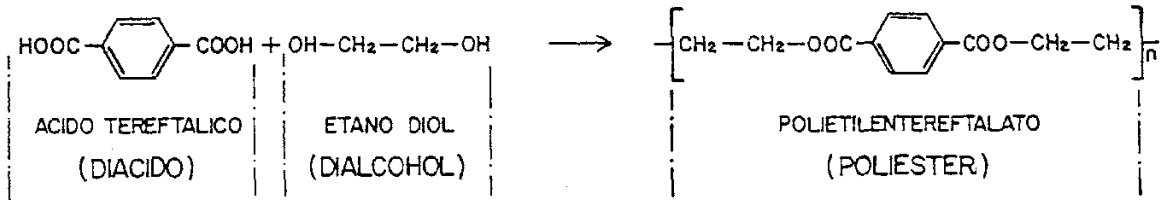
La reticulación se produce por la existencia de enlaces insaturados en la molécula de poliéster que se conectan entre sí, en una reacción de copolimerización con adición de estireno que actúa como elemento de acople.

- Las resinas para moldeo poseen también una estructura rígida, utilizando composiciones de ftalato o isoftalato de dialilo. Estas resinas forman las redes espaciales macromoleculares por unión del doble enlace del grupo CH_2 con un anillo bencénico.

- Poliésteres para formar fibras y películas.

El ángulo que forman los radicales del ácido tereftálico de 180° hace que los polímeros obtenidos sean adecuados para la formación de elemento lineales o planos.

La resina más utilizada se obtiene mezclando el ácido tereftálico con el etano diol.



El polietilentereftalato es un polímero de estructura lineal no apto para formar redes espaciales. La rigidez del conjunto molecular es debida al enmarañamiento de las cadenas poliméricas, en función de la longitud de éstas, de su movilidad y del tipo de organización cristalina que puedan formar.

El peso molecular medio que posee es uno de los mayores de los polímeros que se utilizan comercialmente presentando un alto comportamiento polar, aunque la orientación del diplo está muy restringida al tener una temperatura de transición muy superior a la ambiental.

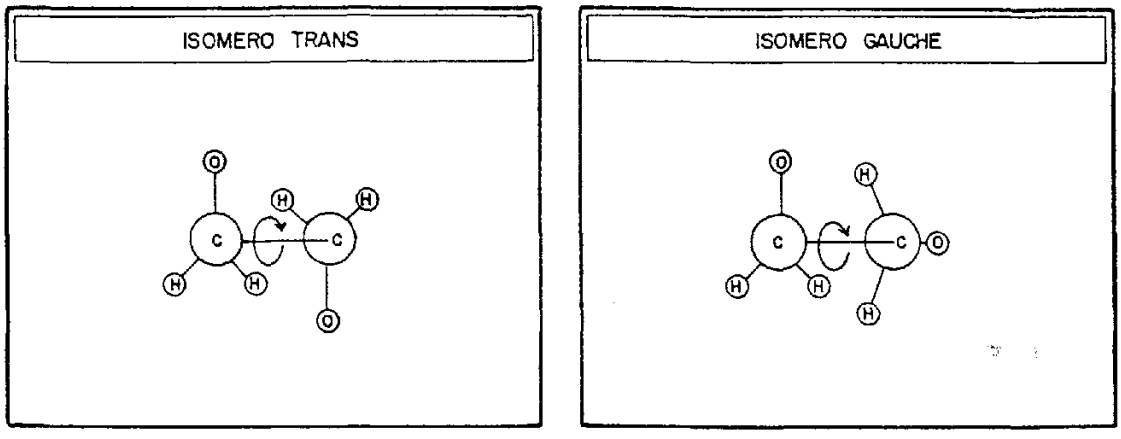
La buenas propiedades de las fibras de poliéster son consecuencia de las fuerzas de atracción existentes entre las macromoléculas.

Estas fuerzas de atracción son debidas a fuerzas de Van der Waals resultantes de los efectos de dipolo, inducción, dispersión, y de los puentes de hidrógeno.

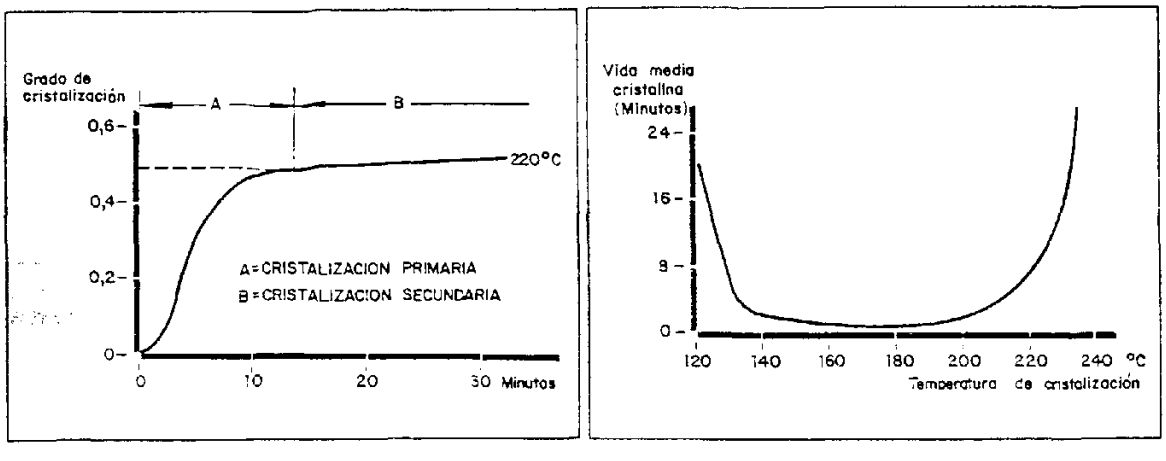
Las opiniones acerca de las influencias de cada componente en estas fuerzas están divididas. Edgar y Hill (71) creen que el enlace opuesto del grupo bencénico tiene una significación espacial, aumentando la polaridad molecular, permitiendo que de esta forma se formen puentes de hidrógeno. Huwyar (120) afirma que los grupos éster en los núcleos de benceno son los que dan lugar a los momentos dipolares que generan las fuerzas de atracción. Mark (132) atribuye las fuerzas de conexión entre las cadenas a fuerzas interactivas entre los grupos de benceno y los carboxiles.

Estas fuerzas intermoleculares son las responsables de la aparición de ordenaciones cristalinas en el polietilen-tereftalato, siempre que el enfriamiento a partir del estado amorfo se produzca de forma lenta, dando lugar a la formación de estructuras estables. En caso de enfriamiento rápido se producirán estructuras amorfas unidas con fuerzas intermoleculares no estabilizadas, siendo por tanto estructuras menos estables que las cristalinas, requiriendo mayor energía interna para su permanencia.

Con el polietilentereftalato tienen lugar dos configuraciones estructurales en la cadena molecular en el grupo dioxietano ($-O-CH_2-CH_2-O-$), correspondientes con los isómeros "trans" y "gauche" responsables del comportamiento cristalino.



Como en todos los polímeros sintéticos, la cristalinidad está directamente relacionada con la temperatura y el tiempo. Esta relación queda representada para el polietilentereftalato en las gráficas siguientes.



Durante los primeros minutos la cristalización aumenta rápidamente después de un período previo de inducción en el que se crean los núcleos cristalinos, alcanzando al final de la etapa de cristalización primaria (a) un estado cristalino que podría denominarse estable, y apareciendo una postcristalización creciente muy pequeña en la etapa denominada de cristalización secundaria (b).

La dependencia del período de vida media se refiere a la cristalización principal e indica, según los resultados

obtenidos por Cobbs y Burton (46) un período mínimo de vida media a los 190°C.

Ya que el polietilentereftatato sólo cristaliza muy lentamente a temperaturas por debajo de los 130°C y tiene una temperatura de solidificación de más de 70°C, es posible fijar estados intermedios cristalinos por medio de procesos de enfriamiento.

El grado de cristalización se encrementa por influencia de la humedad, provocando un aumento de la movilidad de los segmentos moleculares.

La orientación de las zonas cristalizadas en la dirección longitudinal de la fibra produce una modificación de las propiedades mecánicas, con un comportamiento anisótropo y un mejor equilibrio de las fuerzas intermoleculares, minimizando la energía del sistema.

6.2.3. Comportamiento mecánico.

Comportamiento viscoelástico.

Las propiedades de los poliésteres, como la de los polímeros en general, vienen determinadas por la forma, flexibilidad, temperatura y polaridad de sus cadenas moleculares.

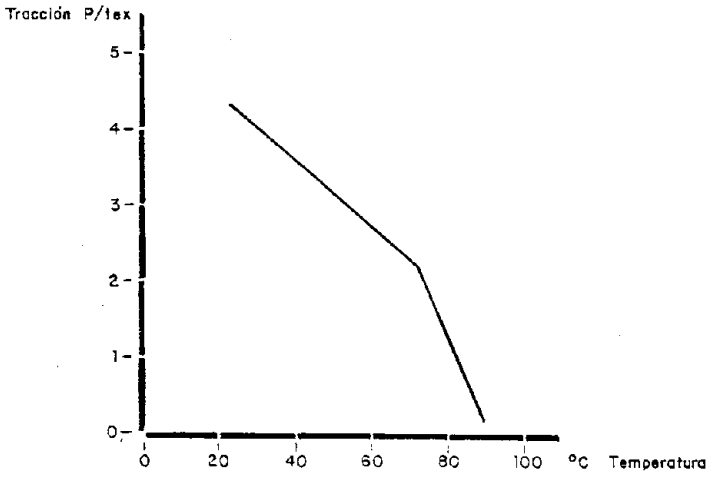
De los dos componentes que entran a formar parte del poliéster, el dialcohol (al poseer una estructura molecular

más sencilla, con menos impedimentos estéricos) aportará las características de flexibilidad, en función de la longitud de su cadena molecular o lo que es lo mismo, en función del número de átomos de carbono que posea.

Transición vítrea.

Esta mayor o menor flexibilidad que condiciona el comportamiento viscoelástico, (dependiente del componente alcohólico) producirá variaciones en las zonas de transición vítrea y de fusión, disminuyendo las temperaturas asociadas a estas zonas cuando la flexibilidad aumenta.

Cuando se comparan las tensiones necesarias para producir estados de fluencia en función de la temperatura, se observa que por encima de los 70°C éstas disminuyen con mayor rapidez.



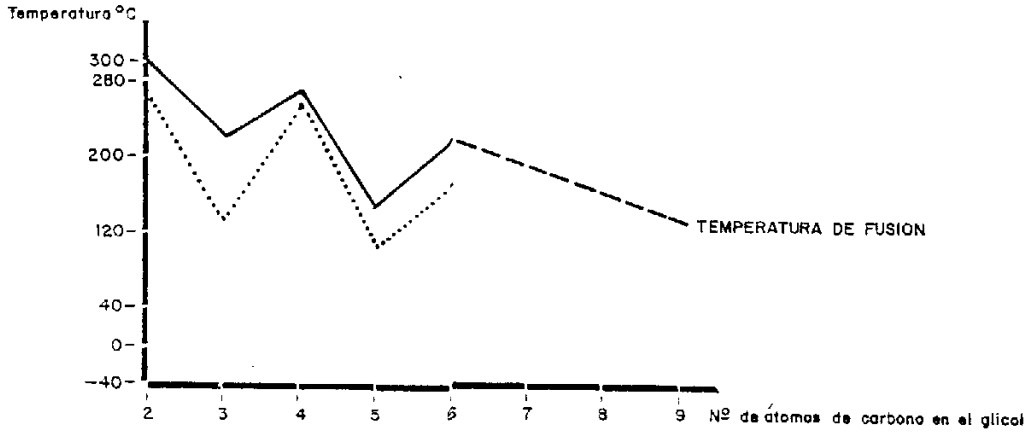
Tensión de fluencia en función de la temperatura

Esta variación en la pendiente de la curva está relacionada con la temperatura de transición vítrea.

Kolb, e Izard (113) afirman que esta temperatura es de 68 y 69°C para el estado amorfo del polietilentereftalato y de 79 y 81°C para el estado cristalino, mientras que la temperatura de fusión es de 265°C según Rybnikar (176), desapareciendo totalmente vestigios de zonas de comportamiento viscoelástico a 290°C.

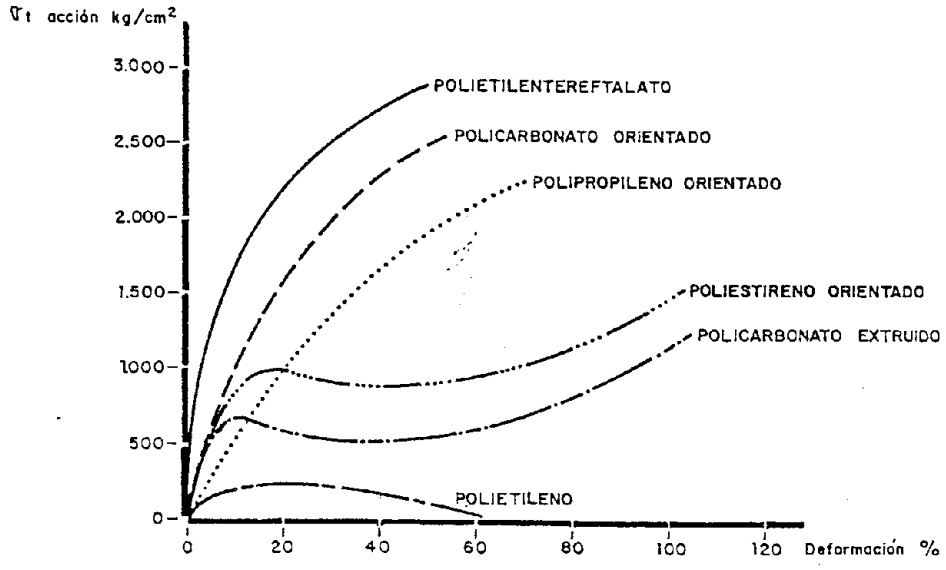
El comportmaiento mecánico en la zona próxima al punto de fusión se verá también afectado por la forma y distribución de los componentes alcohólicos, originando su disminución en caso de mezcla de diversos tipos.

En el siguiente cuadro se representa la variación del punto de fusión en función de la longitud de la cadena alcohólica, pudiéndose observar la importancia de la existencia de un número par o impar de átomos de carbono.



Relación entre tensiones y deformaciones.

Dentro de un amplio intervalo de temperatura, el poliéster presenta un excelente comportamiento mecánico, con un módulo inicial de elasticidad mucho más alto que otras fibras sintéticas, como se observa en la siguiente gráfica:



Relación entre tensiones y deformaciones

A causa de este alto módulo de elasticidad, las fibras de poliéster poseen una magnífica recuperación elástica ante esfuerzos de tracción, flexión, o compresión, evitando deformaciones durante las manipulaciones.

Este comportamiento puede explicarse en función de las fuerzas de atracción intermoleculares combinadas con las ordenaciones cristalinas y los impedimentos de deslizamientos moleculares debidos a la presencia de los grupos bencénicos.

Si se analizan las curvas de tensión deformación a diversas temperaturas, se observa este alto comportamiento elástico seguido de un comportamiento plástico debido a fenómenos de fluencia entre cadenas moleculares.

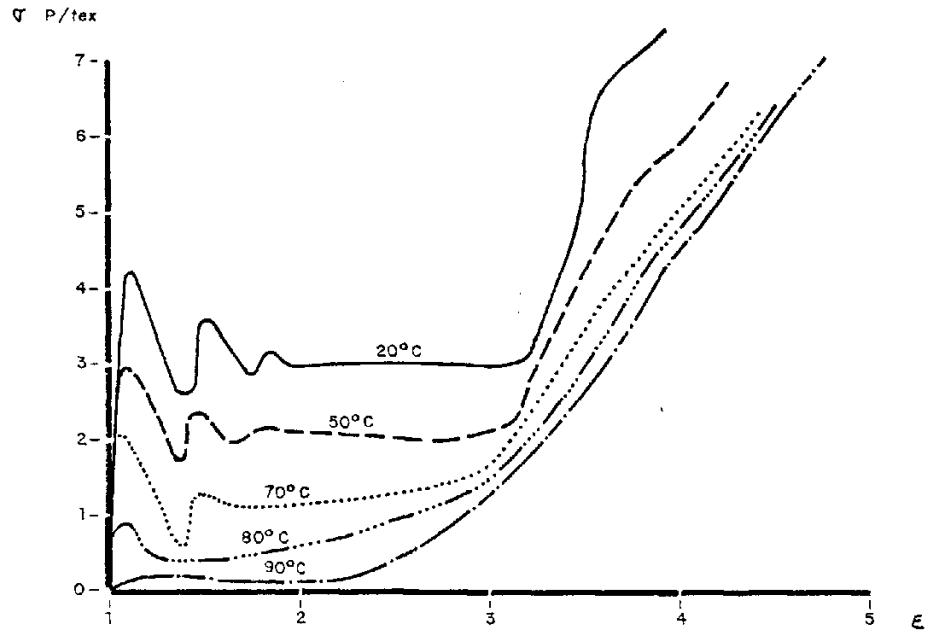


Diagrama de tensión deformación para una velocidad de deformación de 500 m.m/min.

Cuando el período elástico ha alcanzado su máximo, aparece una estricción en la zona más débil de la fibra, estando relacionada con un calentamiento localizado que posibilita la movilidad molecular y genera los fenómenos de fluencia.

Después de aparecer la zona de fluencia, la fibra se estira bajo condiciones constantes hasta que la totalidad de ésta entra en deformación plástica, produciendo un deslizamiento generalizado de las cadenas moleculares, hasta que se produce un nuevo enmarañamiento por entrelazamiento de éstas. La resistencia aumenta extraordinariamente creciendo de modo casi lineal hasta la rotura.

Este comportamiento descrito no se ve alterado hasta que se alcanzan temperaturas próximas a los 90°C, en donde la movilidad molecular es suficiente para que el comportamiento plástico se manifieste ante cualquier

esfuerzo exterior sin que se observe una etapa elástica, volviéndose la totalidad de la curva más plana.

Estas propiedades mecánicas se verán modificadas por los tratamientos de estirado de las cadenas moleculares durante la extrusión, o en procesos posteriores, (6.2.7. Procesos de Transformación).

6.2.4. Propiedades superficiales.

Las propiedades superficiales están determinadas por la estructura molecular y por la macroestructura.

La estructura molecular nos determina, en función de la polaridad molecular, los efectos sobre la adherencia electrostática y la resistencia ante agentes externos.

La macroestructura influye sobre las propiedades mecánicas superficiales.

La resistencia al desgaste de las fibras de poliéster se aproxima (sin alcanzar los valores excepcionalmente altos de ésta) a la poliamida, sobrepasando los de otras fibras sintéticas.

La dureza está determinada en función del grado de cristalinidad, siendo los altos valores de fuerzas intermoleculares responsables de ésta en el poliéster . Presenta como consecuencia, un buen comportamiento ante acciones mecánicas superficiales. La dureza se ve aumentada

con un tratamiento de calor bajo tensión, que produzca una mayor orientación y entrelazamiento molecular.

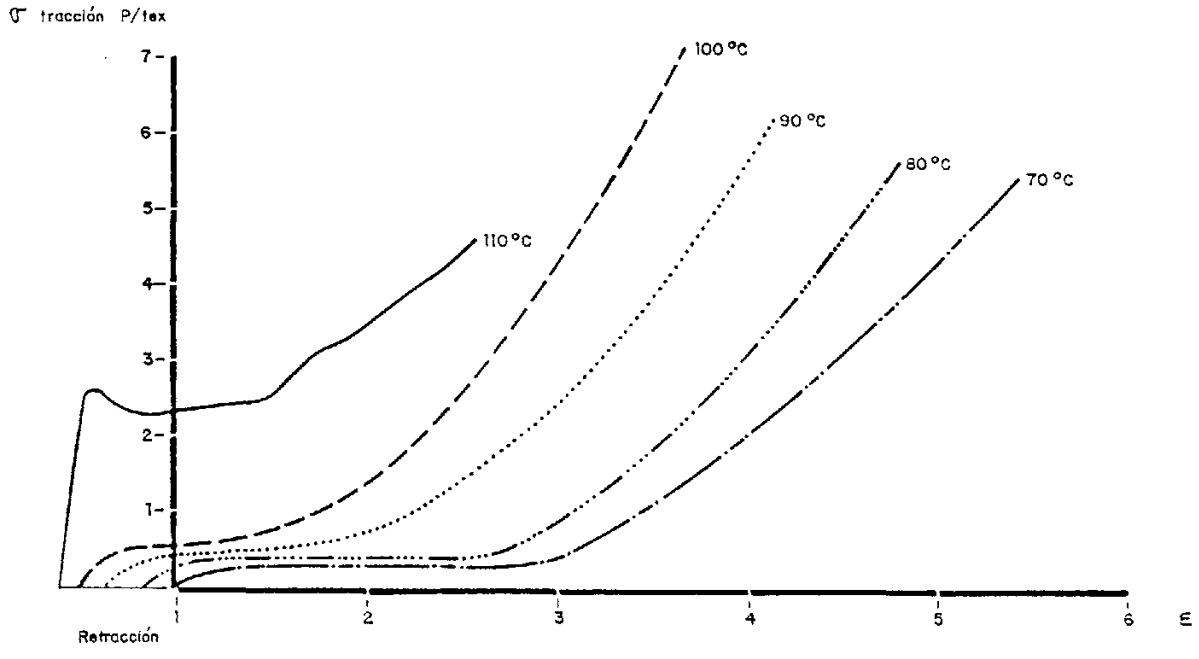
La libertad dipolar está muy restringida debido a su gran peso molecular, y a las características de la cadena molecular, presentando una gran resistencia dieléctrica tanto interna como superficial, aún a altas temperaturas. Puede cargarse electrostáticamente por fricción, por aplicación de un campo elástico, etc., y sólo se puede equilibrar esta energía electrostática por contacto con otros materiales, estableciendo enlaces superficiales de tipo electrostático.

6.2.5. Comportamiento térmico.

La buena estabilidad térmica de las fibras de poliéster sólo se ve reducida relativamente a temperaturas próximas al punto de fusión.

El calor favorecerá una reaordenación molecular que producirá disminuciones en los valores de resistencia que se obtienen con fibras extruidas; disminuyendo su longitud por retracción muy rápidamente hasta estabilizarse a los treinta minutos.

Esta disminución de resistencias alcanza para temperaturas de 150°C valores de reducción de un 15 a 30% en la primera semana y del 50% en la sexta semana.



Curva tensión deformación despues de nn tratamiento de calor sin tensión de 30 min.

6.2.6. Propiedades químicas.

La resistencia a los agentes químicos está producida por la existencia de los núcleos de benceno y de los dos grupos de metilenos, que producen reacciones muy lentas; no así los eslabonamientos de las ésteres que reaccionan más rápidamente pudiendo sufrir un ataque hidrolítico por la acción de los ácidos y los álcalis. Si de hecho se produce una resistencia mayor de la químicamente prevista, es debido a la alta cristalinidad de las fibras de poliéster.

En general existe muy buena resistencia a diluirse por efecto de los ácidos minerales corrosivos SO_4H_2, ClH, NO_3H, etc. incluso a altas temperaturas, produciéndose únicamente deterioro con altas concentraciones y a temperaturas de ebullición.

Aunque las uniones a los ésteres pueden ser hidrolizadas, existe una gran resistencia a la acción de los

álcalis, existiendo degradacioón superficial en casos de acción continuada.

Existe también una notable estabilidad ante los oxidantes; sin que se produzca daños, con altas concentraciones, elevadas temperaturas o larga duración del proceso.

La presencia de agua no produce deterioro del material, sirviendo únicamente para disminuir las altas temperaturas que se producen en los puntos de estricción al superar la etapa elástica y aparecer los estados de fluencia (6.22. Comportamiento viscoelástico). Esta diminución de la temperaturas locales produce una modificación de las gráficas de tensión-deformación, desapareciendo el descenso de tensión (como ocurría en atmósfera de aire), permaneciendo constante el nivel de tensión soportado.

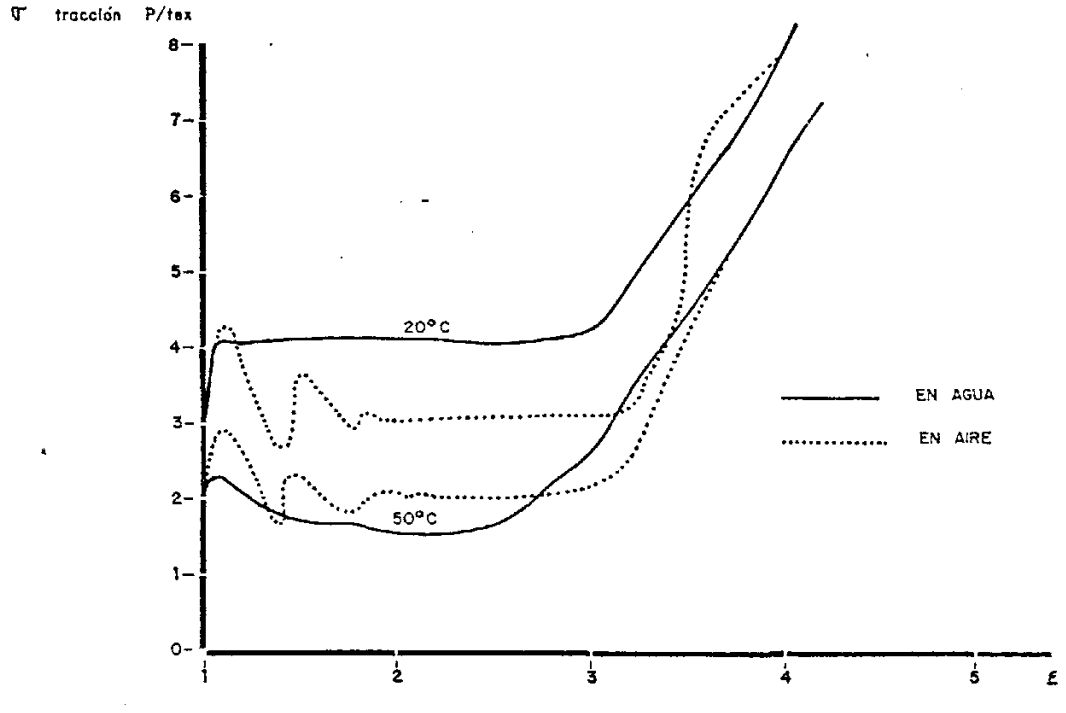


Diagrama de tensión deformación para una velocidad de deformación de 500 m.m./min.

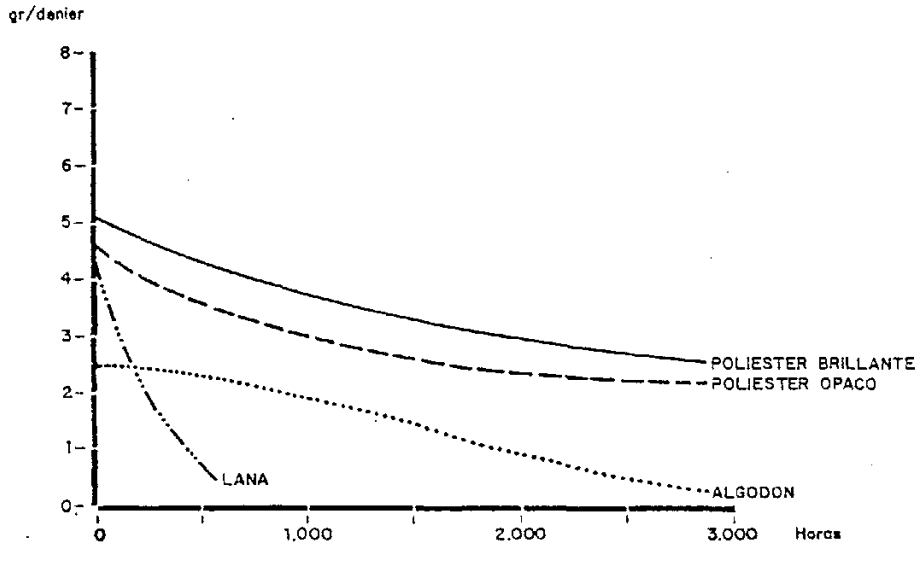
La absorción de agua de las fibras de poliéster es muy baja, no supera valores del 0,4% en atmoósfera normal. Se atribuye principalmente a la adsorción superficial por enlaces secundarios, no variando por tanto su estabilidad dimensional.

3.2.7. Durabilidad.

Debido a los altos valores de peso molecular y de grado de cristalización, las fibras de poliéster poseen una gran durabilidad cuando son expuestas a la luz solar.

Sólo son sensibles a los rayos ultravioletas en acción conjunta con el oxígeno del aire debido a la existencia de los grupos metilo.

Para longitudes de onda entre 3.000 y 33.000 A°, se mantiene del 30% al 40% de su tenacidad inicial después de ser expuestas alrededor de 2.800 horas a la radiación ultravioleta.



Degradación debida a exposición de luz solar

Este envejecimiento puede limitarse evitando el contacto directo con las radiaciones solares, aumentando el espesor de la fibra, o adicionando estabilizantes.

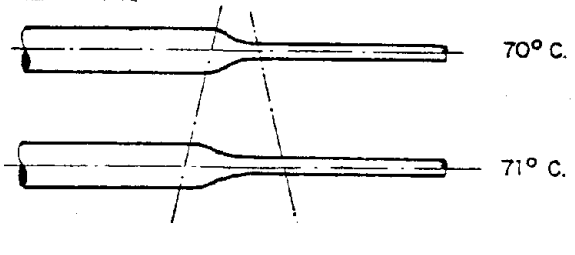
Como todos los polímeros sintéticos el poliéster es resistente a la pudrición por bacterias, hongos, etc. y a la acción de insectos y crustáceos.

6.2.8. Procesos de transformación.

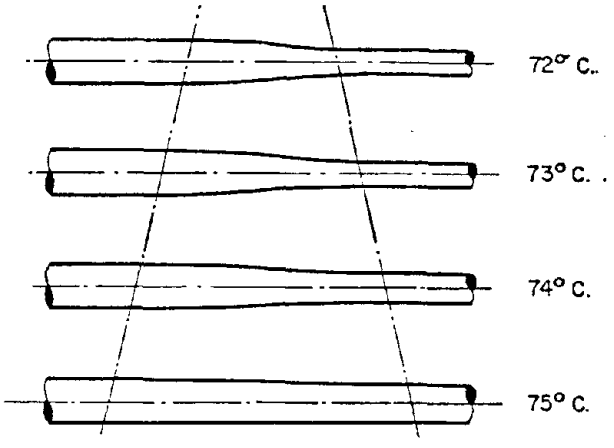
Debido a la característica de linealidad de la cadena molecular el polietilentereftalato puede someterse a un proceso de extrusión para la formación de fibras; proceso en el cual se produce una orientación molecular en la dirección de la fibra, según el grado de estiramiento aplicado.

La resistencia a la rotura aumenta con el grado de estiramiento, a la vez que disminuye la deformación antes posteriores tensiones.

Cuando se produce el estiramiento, tiene lugar una disminución de la sección transversal, con presencia de zonas de estricción por fluencia, que presentarán formas menos marcadas cuanto mayor sea la temperatura al existir mayor movilidad molecular.



E. T. S. A. de M.
BIBLIOTECA



Efectos de la temperatura de extracción en la zona de fluencia

En esta zona de fluencia es posible aparezcan pequeñas cavidades en el interior de las fibras observadas por Griehl (83) que pueden reducir la densidad de la fibra a 1,2 gr/cm³ y producir su opacidad.

El origen de estas cavidades se encuentra en una orientación deficiente de cristalizaciones esferulíticas, siendo por tanto más probable su aparición cuanto mayor sea el grado cristalinidad según Rybnikar (176).

La cavidades surgen en el cuello de las zonas de estricción y en el centro de las fibras, pudiendo extenderse a toda la longitud de la fibra.

Estas cavidades esencialmente no consisten en ampollas separadas, sino en capilares interconectados, siendo las responsables de los dientes de sierra que aparecen en las gráficas de tensión-deformación durante el proceso de estirado.

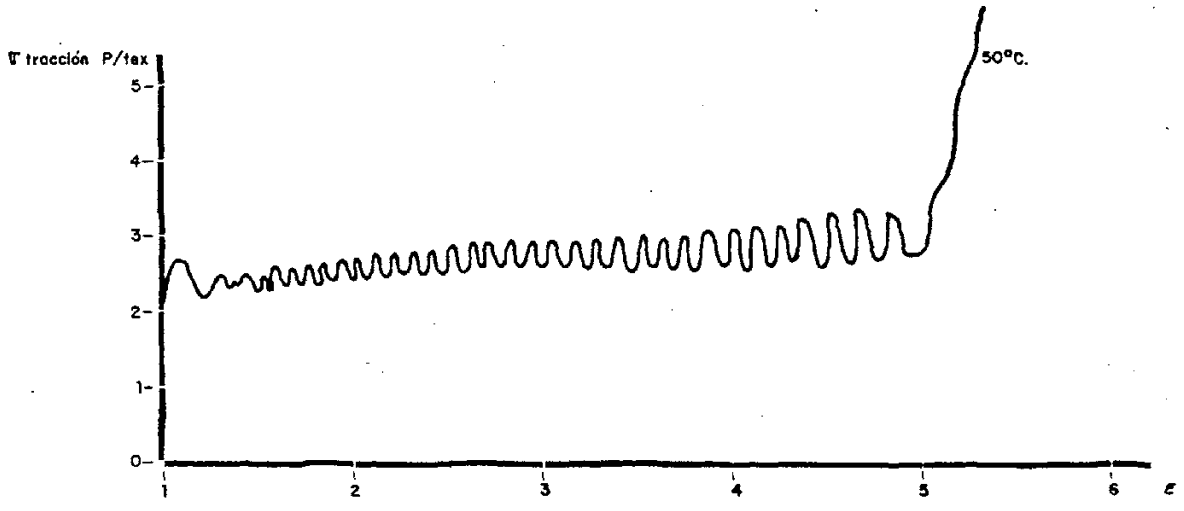
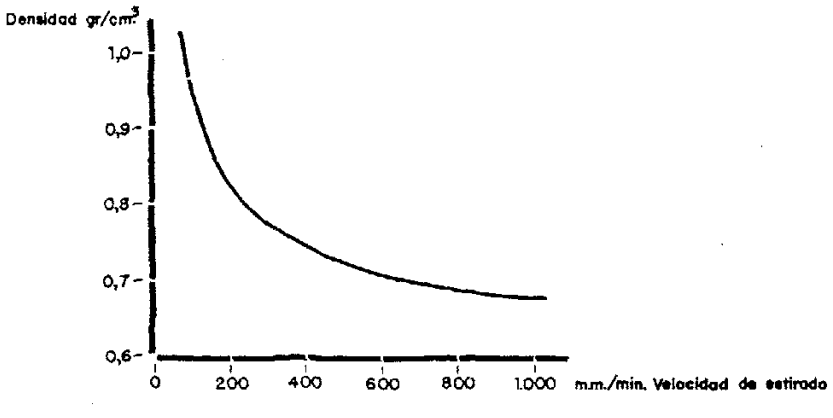


Diagrama de tensión deformación de una fibra de poliester no estirada; para una velocidad de deformación de 90 m.m./min.

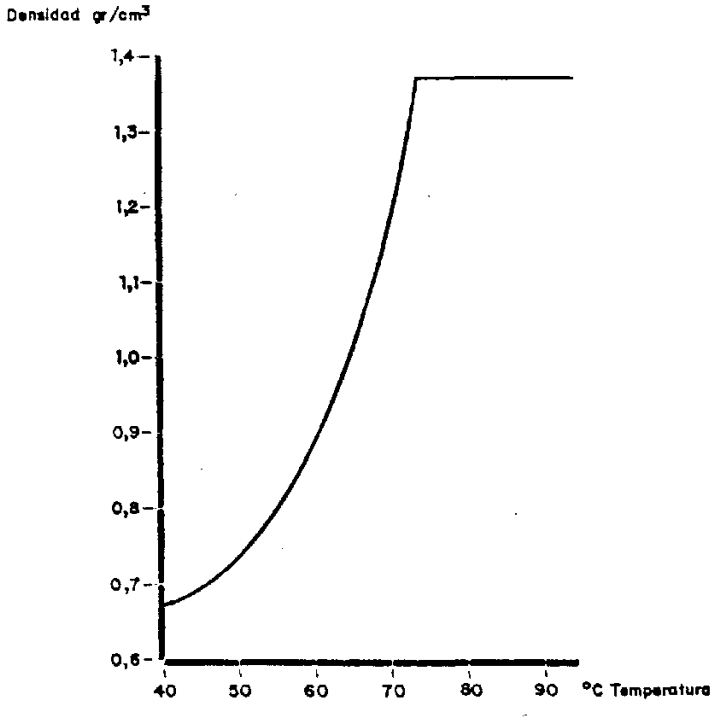
La formación de cavidades se generaliza cuando aumenta la velocidad de estirado, pero no se interconectan éstas entre sí. Los dientes de sierra en las gráficas de tensión deformación se reducen hasta desaparecer, extendiéndose totalmente las cadenas moleculares.

El aumento de la velocidad de estirado produce una disminución de la densidad de la fibra debido a la existencia de estas cavidades.



Relación entre la densidad y la velocidad de extrusión

Cuanto mayor sea la temperatura se producen menores fenómenos de estricción localizados, se forman menos cavidades y por tanto se producen menores disminuciones en la densidad.



Relación entre la temperatura y la densidad

El estirado al que se somete a las fibras durante la extrusión disminuye la tendencia a la retracción posterior al producirse un equilibrio en las tensiones internas. Este equilibrio se debe a la posicionalidad paralela de las cadenas moleculares homogeneizando el equilibrio de las tensiones producidas por los enlaces intermoleculares.

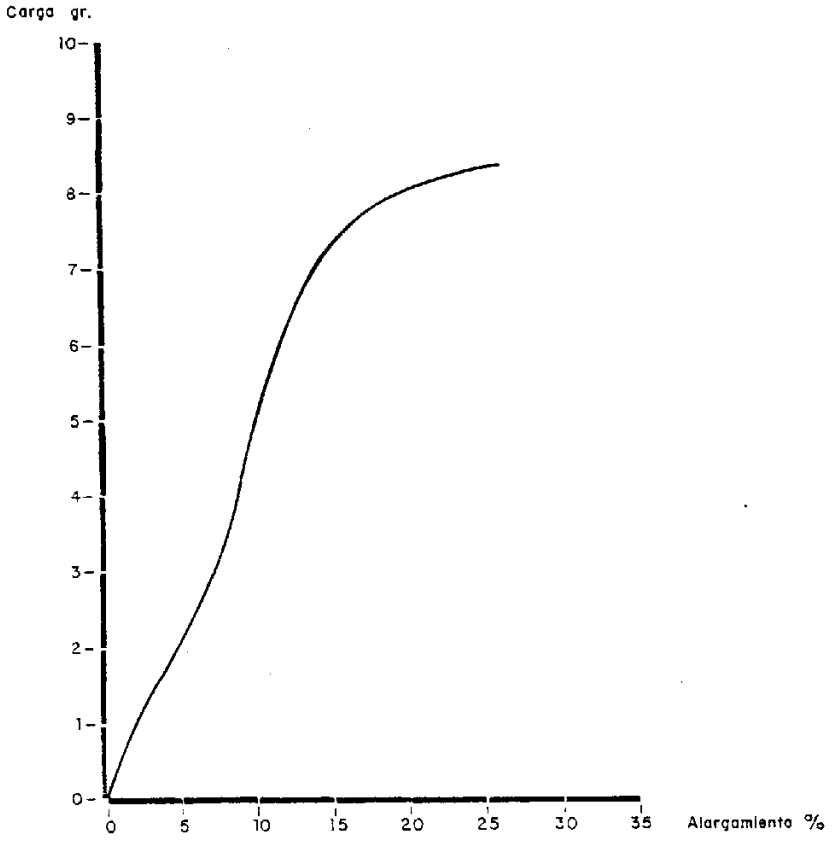
6.2.9. Tipos de fibras.

Dependiendo de las características de la extrusión se pueden obtener diferentes tipos de fibras en relación a la

orientación molecular, densidad, retracciones posteriores, etc.

Pueden utilizarse además fibras a base de filamentos entrelazados, de modo que exista una compensación entre las tensiones de cada uno de ellos.

Comercialmente son conocidas con los nombres de Dracon y Teryleno, y presentan gráficas de tensión deformación una vez sometidas a un proceso de estirado análogas a la siguiente.

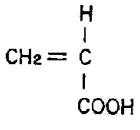


Curva carga-alargamiento de la fibra NUREL 154

6.3.0. ACRILICAS

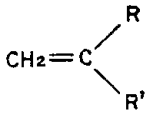
6.3.1. Estructura molecular.

Los acrílicos son polímeros termoplásticos caracterizados por obtenerse a partir del ácido acrílico.



La familia de los polímeros acrílicos comprende principalmente: poliacrilatos, polimetacrilatos y poliacrilonitrilos.

La fórmula general de estos compuestos puede expresarse del siguiente modo:

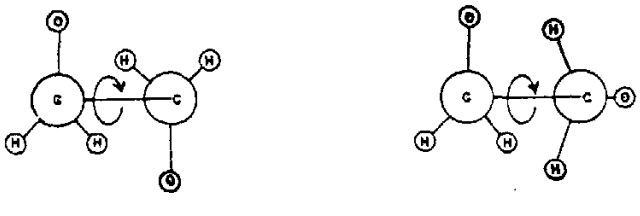
MONOMERO GENERAL	COMPUESTO	
	POLIACRILATO	R = H R' = COOR''
	POLIMETACRILATO	R = CH_3 R' = COOR''
	POLIACRILONITRILO	R = H R' = CN

De entre ellos el poliacrilonitrilo es el indicado para la frabricación de fibras sintéticas, presentando la siguiente fórmula general del monómeno y del polímero resultante.

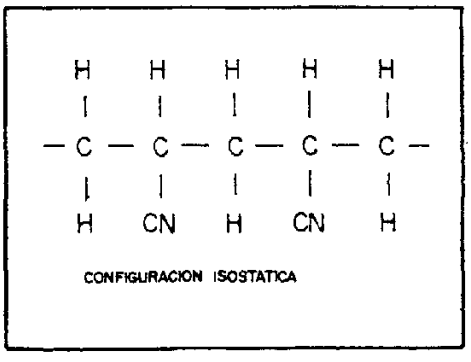
POLIACRILONITRILO	MONOMERO	POLIMERO
	$CH_2 = CH$ | CN	$-\left[CH_2-CH\right]-$ | $\left[CN\right]_n$

6.3.2. Macroestructura.

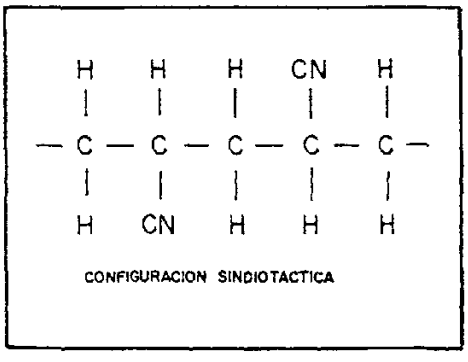
Debido a las características no simétricas del monómero por la existencia del grupo nitrilo (CN), pueden presentarse diversas estructuras de la macromolécula, posibilitadas por la libertad angular de los enlaces entre carbonos, como son las configuraciones isotácticas, sindiotácticas o atácticas.



Estas configuraciones, debido a la repulsión existente entre los grupos nitrilo, producirán ordenaciones preferentes que influirán sobre las propiedades finales del producto.



CONFIGURACION ISOSTATICA



CONFIGURACION SINDIOTACTICA

Existe poca información sobre la tacticidad del poliacrilonitrilo. Parece que el polímero sindiotáctico favorece más los estados cristalinos, mientras que el isotáctico forma estructuras más densas.

Estructura paracristalina.

Las zonas cristalinas, al igual que en el resto de los polímeros termoplásticos, disminuyen la movilidad molecular general al insertarse dentro de una estructura amorfa, coexistiendo estructuras paracristalinas entre una masa de entrecruzamiento amorfos.

La formación de zonas cristalinas depende del peso molecular y de la velocidad de enfriamiento durante el proceso de transformación.

Cuanto mayor sea el peso molecular, más aumentarán las conexiones entre las zonas cristalizadas y las amorfas, produciéndose una mayor cohesión interna que facilitar la

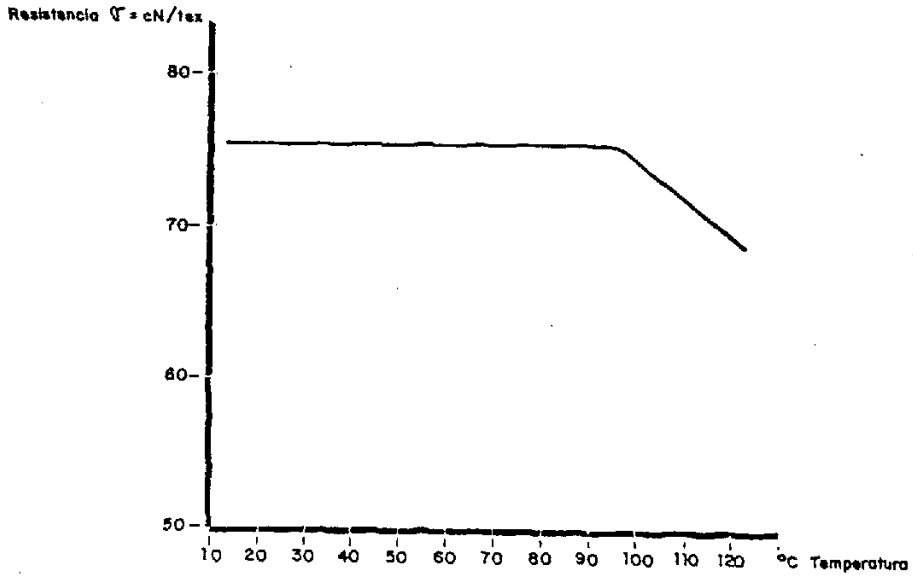
redistribución interna de las tensiones, aumentando su comportamiento al impacto y su resistencia mecánica.

La velocidad de enfriamiento influye sobre el tamaño y el tipo de cristalización. A mayor velocidad de enfriamiento disminuye el tamaño y cantidad de zonas cristalizadas, mientras que éstas aumentarán en tamaño y distribución con velocidades de enfriamiento menores. La importancia de esta influencia queda disminuida en favor de la configuración estructural que la molécula adquiera (isotáctica, sindiotáctica o atáctica) durante el proceso de transformación

6.3.3. Comportamiento mecánico.

Comportamiento viscoelástico.

Al ser un polímero termoplástico, presentará un comportamiento mecánico de tipo viscoelástico, con diferencias muy acusadas según haya o no superado la temperatura de transición, presentando comportamientos vidriosos o cauchosos. Para el poliacrilonitrilo esta temperatura oscila alrededor de los 90°C, variando en función de la longitud de la cadena molecular media y del grado de cristalización que ésta posea.



Relación entre la resistencia y la temperatura

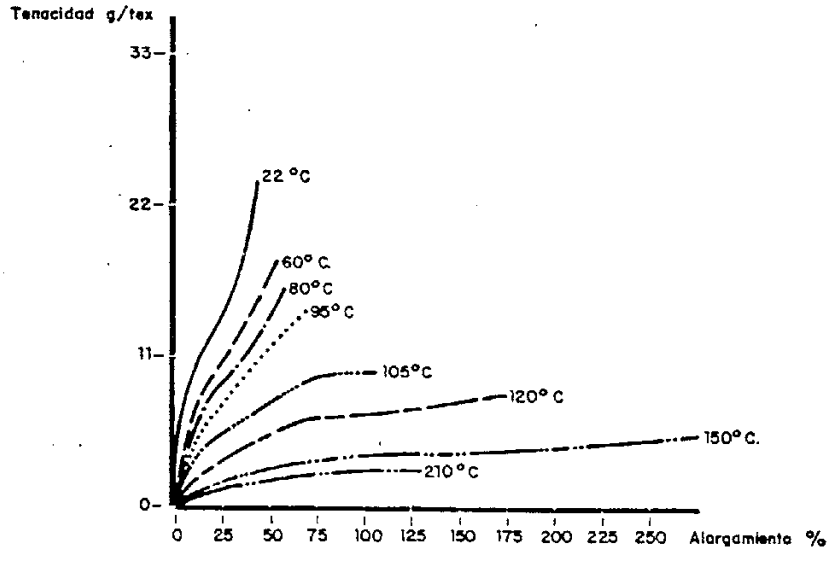
Transición vítrea.

La transición vítrea puede detectarse en la gráfica anterior en la inflexión que describe la curva a partir de la cual se observa una progresiva disminución de las propiedades mecánicas en relación con los aumentos de temperatura, produciéndose cada vez fenómenos de fluencia más generalizados en la estructura amorfa, hasta la pérdida total de propiedades, por desaparición de la estructura de las zonas cristalinas.

Relación entre tensiones y deformaciones.

La relación entre tensiones y deformaciones se mantendrá por tanto análoga para temperaturas ambientales de trabajo hasta alcanzar las proximidades de los 90°C a partir de la cual esta relación será específica para cada temperatura, apareciendo estados de fluencia.

En la siguiente gráfica puede observarse esta relación análoga en la etapa vidriosa.



Curva carga-alargamiento para diferentes temperaturas

Al presentar a temperatura ambiente un comportamiento vidrioso ante aumentos de la deformación, se produce una rotura frágil, carente de las relajaciones intermedias típicas del comportamiento cauchoso (como en el caso del polipropileno).

Ante períodos prolongados de carga, la plastodeformación es prácticamente inexistente, debiendo estudiarse los fenómenos de relajación de tensiones a esfuerzos permanentes únicamente ante cargas muy próximas a la tensión de rotura.

Estos fenómenos serán despreciables en el comportamiento conjunto con el yeso, no alcanzándose nunca tensiones permanentes próximas a la rotura sin que se produzcan fisuraciones en aquél.

El valor del módulo elástico oscila entre 16.500 y 19.000 N/mm^2.

La recuperación elástica de la fibra se determina sometiéndola individualmente a deformaciones temporales de diversos valores y midiendo la recuperación elástica que experimente al cesar la carga aplicada.

En la tabla siguiente se relacionan, aparte de los valores de deformación elástica, otros parámetros de la fibra sometida a tres niveles distintos de deformación.

Alargamiento	**2%**	**5%**	**10%**
Deformación permanente %	3	35	40
Recuperación elástica %	97	65	60
Caida de carga gr/tex	2,85	4,10	3,85
Caida de carga %	35	40	35
Trabajo recuperado %	20	6	4

6.3.4. Propiedades superficiales.

Las propiedades superficiales están determinadas por la estructura molecular y por la macroestructura.

La estructura molecular nos determina, en función de la polaridad molecular, los efectos sobre la adherencia electrostática y la resistencia ante los agentes externos.

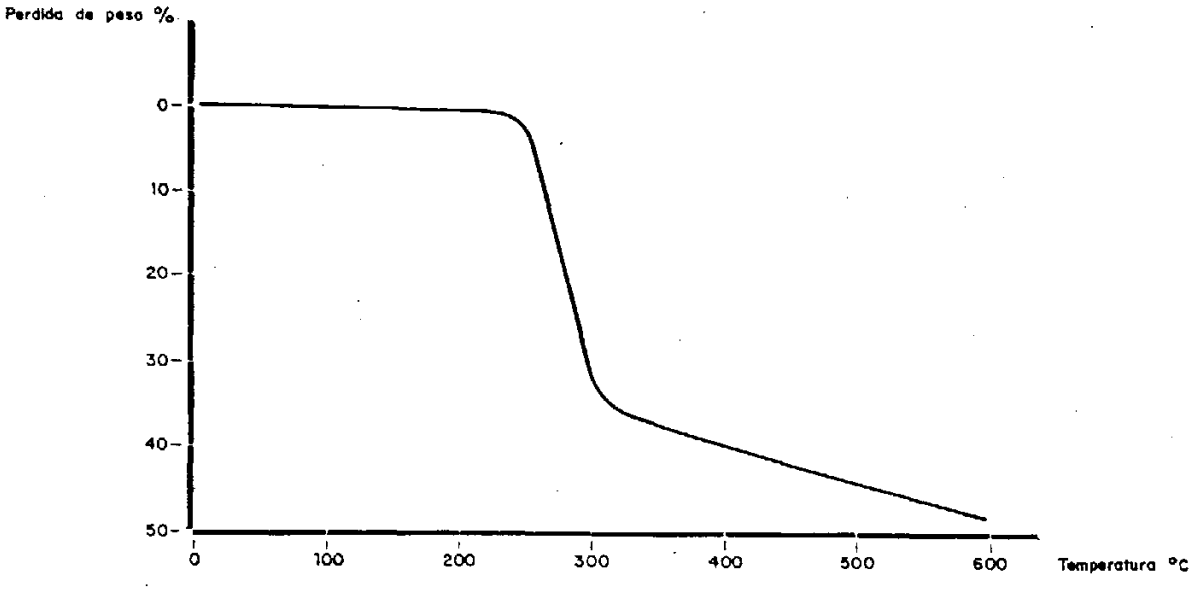
La macroestructura influye sobre las propiedades mecánicas superficiales.

La dureza está determinada por el comportamiento vidrioso a temperatura ambiente y por el grado de cristalinidad que posea. Este grado de cristalinidad está condicionado por la densidad y el peso molecular, actuando de modo inversamente proporcional a ambos.

Debido a las características de la cadena molecular, la libertad dipolar queda restringida por la existencia del grupo nitrilo, presentando una resistencia eléctrica a temperatura ambiente y pudiendo cargarse electrostáticamente externamente por fricción. Calentado a altas temperaturas, el movimiento dipolar queda en parte liberado, adquiriendo características semiconductoras.

6.3.5. Comportamiento térmico.

El poliacrilonitrilo presenta una gran estabilidad térmica ante elevadas temperaturas.



Análisis termogravimétrico, calentamiento; 10 °C/min. en presencia de aire

El calor favorecerá una reordenación molecular a partir de la temperatura de transición vítrea (90°C), produciendo disminuciones en los valores de resistencia a partir de los 250°C.

Esta disminución de resistencia alcanza para valores de temperatura de 150°C y 200 horas de aplicación valores de reducción del 25%.

6.3.6. Propiedades químicas.

La resistencia a los agentes químicos será mayor cuanto más elevados sean el peso molecular y la densidad.

El poliacrilonitrilo es un polímero relativamente insoluble por lo que en los primeros estudios realizados se pensó que era un polímero entrecruzado de red espacial.

Actualmente está demostrado que es un polímero lineal que se disuelve en:

- Productos orgánicos fuertemente polares, como pueden ser: N-N'- dimetilformamida, N-N'- dimetilacetamida, dimetilsulfona, dimetilsulfóxido, carbonato de etileno, carbonato de propileno, nitrofenoles y γ-butirolactona.

- Soluciones acuosas concentradas de ; Na CNS, Li Br, $Ca(CNS)_2$, ZnCl, ClO_4Na, y sales de amonio cuaternarias.

El poliacrilonitrilo no resulta afectado por los disolventes más comunes, aceites o grasas, ni tampoco por el agua o soluciones de hipoclorito de la mayoría de los ácidos.

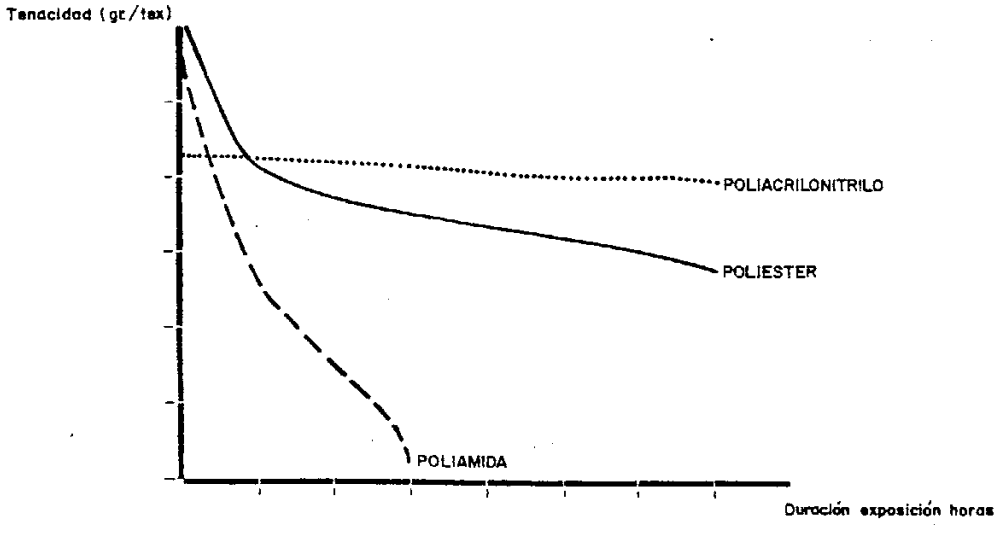
Su estructura molecular se descompone en presencia de alcalis concentrados y en soluciones alcalinas diluidas en caliente, o mediante sulfúrico en caliente al 50%.

6.3.7. Durabilidad.

El poliacrilonitrilo se ve poco afectado en sus propiedades por la acción conjunta de la radiación ultravioleta y el oxígeno del aire, reticulándose y volviéndose quebradizo de modo prácticamente inapreciable,

incluso después de exposiciones prolongadas ante dichos agentes.

En el caso de nuestro estudio este problema queda soslayado, al no existir un contacto directo con la radiación solar por estar embebido como agregado en el interior de la matriz de yeso.



Resistencia a los agentes atmosfericos

6.3.8. Procesos de transformación.

Debido a la característica de linealidad de la cadena molecular, el poliacrilonitrilo es un polímero apto para la fabricación de fibras.

Estas fibras se obtienen por extrusión, (a través de boquillas, denominadas también placas inyectoras con numerosos orificios), del producto en estado fundido

obtenido mediante adición catalítica del ácido cianhídrico al acetileno.

Estas fibras son estiradas en caliente para producir una orientación molecular en su dirección, de los segmentos moleculares conformadores de la estructura amorfa, arrastrando a las cristalizaciones existentes a lo largo del eje de la fibra.

El estirado incluye los siguientes cambios estructurales en las fibras:

- Cambios de orden paracristalino.
- Orientación de las moléculas en regiones amorfas en la dirección de la fuerza aplicada.
- Orientación de los segmentos cristalinos de acuerdo con los vectores de fuerza.
- Deformación y ruptura de la estructura supramolecular en ciertos casos.
- Alineamiento de los trozos de la estructura supramolecular en la alineación de la fuerza aplicada.
- Cambios en la cristalinidad, en el tamaño de los cristales y en el grado de perfección.

Este proceso de estirado consiste en lo que podríamos denominar una deformación plástica provocada por la aparición de estados internos de fluencia, que traerán como consecuencia fenómenos de estricción y aparición de microgrietas en el sentido longitudinal de la fibra.

El grado de estiramiento aumenta los valores de resistencia de la fibra a la vez que disminuye la deformación ante posteriores tensiones.

6.3.9. Tipos de fibras.

Los diferentes tipos de fibras se obtienen variando determinados parámetros del proceso de transformación y del tratamiento posterior.

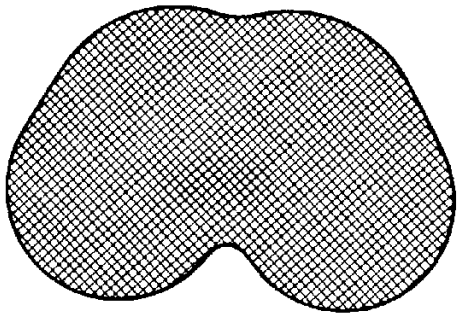
Dependiendo de las características de los monómenos empleados pueden obtenerse productos con diferentes propiedades, destinándose a aplicaciones diversas.

El aspecto externo puede alterarse, pudiéndose fabricar tanto fibras no rizadas como rizadas, cardadas, punzonadas, etc.

La aplicación de las fibras rizadas es principalmente textil, por la facilidad que presentan para retorcerse, tejerse e incluso afieltrarse.

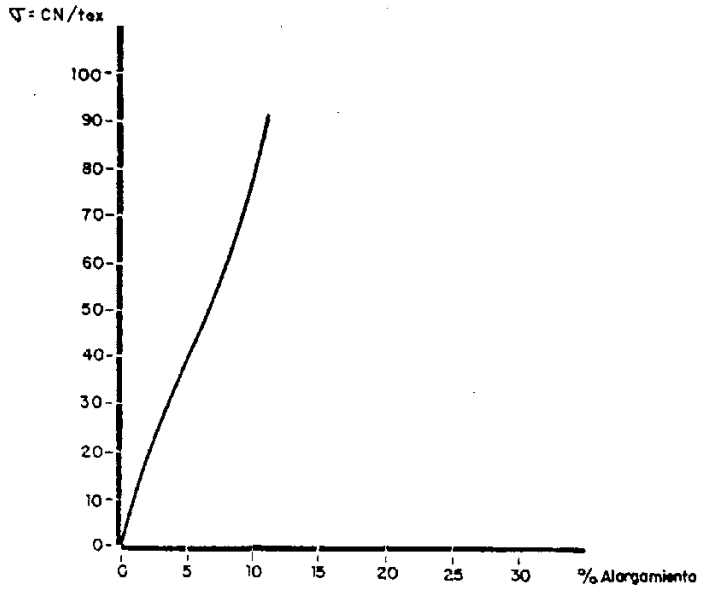
La aplicación de las fibras no rizadas se reserva para su incorporación en matrices inorgánicas.

Este tipo de fibra presenta una forma arriñonada y una superficie lisa y no escindida.



Comercialmente son conocidos bajo la denominación de Dolanit.

Este tipo de fibra presenta una longitud de corte que puede oscilar desde 1-24 mm, con secciones entre 13-100μmm (1,5-100 dtex) y una densidad de 1,18 gr/cm^3; con la siguiente gráfica tensión-deformación:



Relación entre tensiones y deformaciones

7. DISPERSIONES POLIMERICAS.

7. DISPERSIONES POLIMERICAS

7.0.0. Generalidades.

Una vez conocido el mecanismo interno de funcionamiento de los agregados, es necesario analizar de modo particular aquellos que han sido seleccionados para formar parte del material híbrido, obteniendo sus propiedades específicas.

Este estudio individualizado incluye al polímero en sí y a la dispersión que se añadirá al yeso en su proceso de hidratación.

Estas propiedades específicas de comportamiento individualizado de las dispersiones acrílicas, de acetato de polivinilo, y de melamina-formaldehido, unidas a las conclusiones obtenidas en los estudios de los capítulos sobre: materiales reforzados [3], yesos [4] y polímeros [5], nos permiten interpretar los resultados de los ensayos realizados entre el yeso y los agregados.

Estos productos pueden presentarse tanto en polvo como en dispersión acuosa, necesitando en este caso incorporar agentes emulsionantes y estabilizantes.

Los agentes emulsionantes dan lugar a la dispersión del polímero, (produciendo el estado coloidal) y los estabilizadores evitan la precipitación prematura de ésta.

El ph del agua influye también sobre la estabilidad del producto en sí, y en el proceso de hidratación del yeso [4,1], generando efectos extremadamente complejos sobre el proceso de cristalización del dihidrato, principalmente en presencia de aditivos.

Las dispersiones endurecen por medios puramente físicos siempre que sean de naturaleza termoplástica, empleándose el término curado para los de naturaleza termoestable.

Los adhesivos termoplásticos están formados por macromoléculas lineales. Debido a esta característica común sus propiedades están influenciadas predominantemente por factores tales como: el peso y distribución molecular, concentración de aditivos, estabilizantes y plastificantes; y en los copolímeros, además, por la relación de los monómeros que integran las cadenas moleculares.

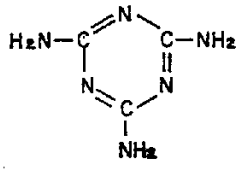
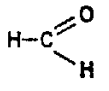
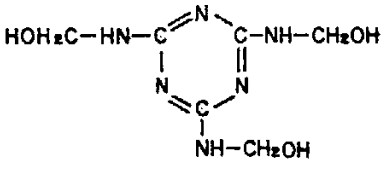
Independientemente de su estructura molecular, una variación en uno o más de los factores anteriores acarreará un cambio predecible en las propiedades del polímero endurecido.

7.1.0. Melamina-Formaldehido.

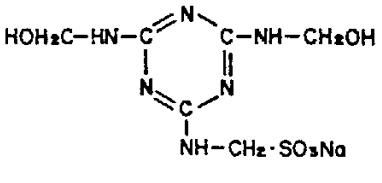
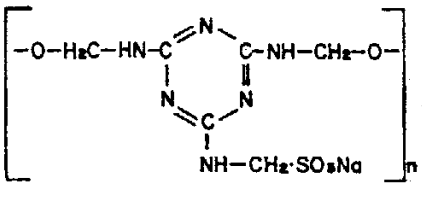
7.1.1. Estructura molecular.

Las dispersiones de melamina-formaldehido pertenecen a la familia de los Aminoplastos de naturaleza termoestable.

Esta familia surge por combinación de una Amina con un formaldehido, comprendiendo principalmente urea-formaldehido y melamina-formaldehido.

CONSTITUYENTES		MONOMERO GENERAL
MELAMINA	FORMALDEHIDO	MELAMINA — FORMALDEHIDO
		

Con el fin de que el producto polimerizado de naturaleza termoestable (integrado por una estructura molecular reticular espacial), sea soluble en agua, el monómero es sometido antes de producirse la polimerización a un tratamiento con sulfato sódico ($NaHSO_3$) de modo que anule en cada monómero uno de los tres grupos hidróxilos, condicionando la formación de una estructura lineal en la polimerización y haciendo soluble el producto en agua.

MONOMERO	POLIMERO
	

7.1.2. Macroestructura.

El policondensado de melamina-formaldehido que se agrega, es un producto en polvo totalmente inocuo, exento de cloruros y de productos agresivos.

7.1.3. Propiedades.

Los aditivos a base de melamina-formaldehido producen los siguientes efectos observables sobre el yeso:

- Aumento de la dureza.
- Aumento de la resistencia a la abrasión.
- Mejora de la plasticidad de las pastas.
- Mayor estabilidad térmica.
- Mejora de la resistencia al agua.

Puede incorporarse disuelto en agua o mezclado en seco con el yeso en polvo; la presencia de agua no provocará una distribución homogénea debiendo agitarse fuertemente la mezcla.

El conjunto de propiedades puede ser controlado a través de la cantidad de producto añadido.

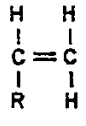
Debido a las características de aumento de la plasticidad, puede conseguirse una disminución de la cantidad de agua añadida.

7.2.0. Acetato de Polivinilo.

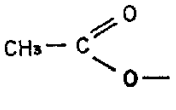
7.2.1. Estructura molecular.

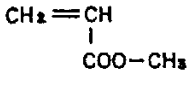
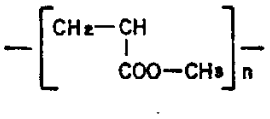
Las dispersiones de acetato de vinilo pertenecen a la familia de los polímeros vinílicos de naturaleza termoplástica.

La familia de los polímeros vinílicos comprende principalmente el cloruro de polivinilo, el acetato de polivinilo y el alcohol polivinílico.

MONOMERO GENERAL	COMPUESTO	
	CLORURO DE POLIVINILO	R=Cl—
	ACETATO DE POLIVINILO	R= CH_3—COO—
	ALCOHOL DE POLIVINILO	R= —OH

Las dispersiones de acetato de polivinilo presentan una composición a base de una cadena polivinílica con grupos laterales del tipo acetado.



ACETATO DE POLIVINILO	
MONOMERO	POLIMERO
	

Las dispersiones de acetato de vinilo suelen presentar una pureza de alrededor del 90%, coexistiendo con alcoholes polivinílicos en un contenido aproximado del 10%.

7.2.2. Macroestructura.

El compuesto que se agrega es un producto en polvo a base de acetato de polivinilo con un contenido en sólidos mayor del 99%, estando el resto formado por componentes volátiles.

7.2.3. Propiedades.

Los aditivos a base de acetato de polivinilo aumentan la adherencia y la elasticidad de las pastas y de los morteros, pudiendo incorporarse al yeso antes o después de añadir el agua necesaria.

La presencia de agua provoca la aparición de una dispersión con una distribución homogénea del aditivo.

La dispersión forma una película elástica y pegajosa.

El conjunto de propiedades puede ser controlado a través de la cantidad de producto añadido.

La formación de la película adhesiva necesita sólo la existencia de temperaturas superiores a 16°C tras la aplicación a la base, se elimina el agua por evaporación,

dando como resultado un conjunto de partículas hinchadas que coalescen para formar una película adhesiva contínua.

Este tipo de adhesivo puede presentar una baja resistencia a la fluencia bajo esfuerzo, que puede mejorarse añadiendo una resina de urea-formaldehido.

Aunque la estabilidad a temperatura ambiente es normalmente buena, es muy probable que la formación de la película se inhiba por debajo del punto de congelación de la fase acuosa, añadiéndose para evitarlo alcohol-polivinílico en proporción de hasta un 10%. Su resistencia al calor es satisfactoria hasta temperaturas de 50 a 60°C.

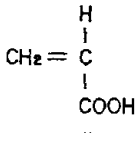
El acetato de polivinilo no es sólamente un buen adhesivo para una gran cantidad de materiales porosos y fibrosos, con los cuales adquiera rápidamente un grado útil de resistencia, sino también para aquellos no porosos (como las fibras sintéticas), presentando diferentes aplicaciones dentro del campo textil.

Por último es de reseñar el mediocre comportamiento de la película ante líquidos polares, presentando una mediana resistencia al agua, lo que limita su uso como refuerzo del yeso cuando se prevean utilizaciones en exteriores o en ambientes muy húmedos.

7.3.0. Acido Acrílico.

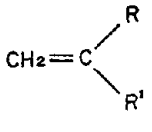
7.3.1. Estructura molecular.

Las dispersiones acrílicas pertenecen al grupo de los termoplásticos, caracterizándose por obtenerse a partir del ácido acrílico.

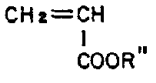
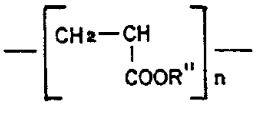


La familia de los polímeros acrílicos comprende principalmente los poliacrilatos, polimetacrilatos y poliacrilonitrilo.

La fórma general de estos compuestos puede expresarse del siguiente modo.

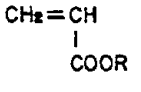
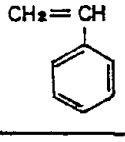
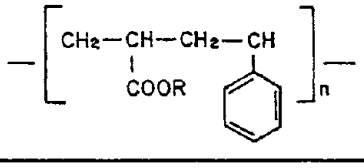
MONOMERO GENERAL		COMPUESTO
	POLIACRILATO	R = H R' = COOR"
	POLIMETACRILATO	R = CH_3 R' = COOR"
	POLIACRILONITRILO	R = H R' = CN

Las dispersiones acrílicas se basan en copolimerizaciones a base de ésteres de ácido acrílico, es decir a base de poliacrilatos en los que el grupo R" puede ser un alquilo, un arilo, vinilo, etc.

ESTER DE ACIDO ACRILICO	
MONOMERO	POLIMERO
	

El copolímero surge por la constitución de una cadena molecular a base de monómeros que se diferencian entre sí por la variabilidad del grupo R".

Los productos comúnmente utilizados son copolímeros de ésteres de ácido acrílico con estireno o butadieno.

MONOMERO		POLIMERO
ACRILICO	ESTIRENO	
		

7.3.2. Macroestructura.

El coplímero a base de ácido acrílico y estireno que se agrega es una dispersión plástica acuosa con un contenido en sólidos de aproximadamente un 50%.

Contiene además aproximadamente un 50% de agua, que debe de tenerse en cuenta en los cálculos de la relación agua-yeso.

La dispersión posee baja viscosidad y es de tamaño de partícula fino, no conteniendo halógenos ni productos agresivos.

7.3.3. Propiedades.

Los aditivos a base de ácidos acrílicos aumentan la adherencia y la elasticidad de las pastas y los morteros, debido a que posee un fuerte efecto plastificante, lo cual favorece las propiedades de trabajabilidad, permitiendo una reducción del contenido de agua total aproximadamente en un 10%.

La dispersión forma un película altamente elástica y muy pegajosa, siendo resistente a la alcalinidad.

El conjunto de propiedades puede ser controlado a través de la cantidad de dispersión añadida.

La formación de la película adhesiva necesita sólo la existencia de temperaturas superiores a 0°C.

La variación de las cantidades de cada elemento integrante del copolímero tiene un marcado efecto sobre la polaridad resultante del copolímero y por tanto sobre los fenómenos de adherencia. El ácido acrílico es altamente

polar, mientras que el estireno no es polar, contribuyendo el primero de ellos a mejorar las características de flexibilidad de la película de unión.

Este tipo de adhesivo presenta en general una buena resistencia al agua y una excelente estabilidad a la luz. Su resistencia al calor depende de sus puntos de reblandecimiento, y éstos de la relación de componentes, pudiéndose aceptar como valor medio aproximadamente 100°C.

Es un adhesivo especialmente indicado para favorecer la adherencia a fibras textiles, tanto naturales como sintéticas.

Dependiendo del uso puede presentar una baja resistencia a la fluencia, que puede mejorarse añadiendo una resina fenólica que debería de ser de un tipo intrínsecamente sólido.

En general las dispersiones acuosas de copolímeros acrílicos son superiores a las de acetato de vinilo, en valores de adherencia y en precio.

8. ENSAYOS.

8. ENSAYOS

8.0.0. Generalidades.

Una vez analizados y seleccionados los materiales que van a reforzar al yeso se procede a realizar unos ensayos comparativos que corroboren las conclusiones teóricas enunciadas y optimicen las mezclas en función del comportamiento mecánico del material híbrido.

8.1.0. Descripción de los ensayos.

8.1.1. Condiciones generales de los ensayos.

Los ensayos realizados se amoldan a lo especificado en el "Pliego General de condiciones para la recepción de yesos y escayolas en las obras de construcción" RY.85, cuyo epígrafe 7, correspondiente a "Métodos de ensayo", que hace referencia a la Norma UNE 102.032 Yesos".

Las condiciones generales de los ensayos, se ajustarán a los siguientes requerimientos:

- Las temperaturas del ambiente de laboratorio, del yeso y del agua utilizada se aproximarán a 20°C con un tolerancia de ±2°C.
- Humedad relativa del laboratorio no menor del 65%.
- Todos los recipientes, así como los moldes utilizados para el amasado del yeso y la

E. T. S. A. de M.
BIBLIOTECA

fabricación de probetas, son estancos, realizados con material impermeable y resistente al sulfato cálcico.

Todo el material utilizado para la realización de los ensayos se limpia previamente a la realización de éstos.

8.1.2. Confección de probetas.

Para las probetas prismáticas se utilizan moldes nomalizados de 4x4x14 cm, para las placas moldes de 17,08x12,4x1,05 cm, y ochos para los ensayos de tracción, rellenándose con la mezcla correspondiente de escayola, adición y agua. Esta mezcla se homogeiniza previamente en una amasadora durante minuto y medio evitando que se produzcan burbujas de aire durante el vertido, que pudieran quedar ocluidas en la masa. Con objeto de evitar este inconveniente, el molde, una vez lleno, se coge por un extremo y se sacude diez veces sobre la mesa que lo soporta.

Una vez realizada esta operación, se elimina la pasta sobrante y se alisa la probeta sin ejercer presión sobre la pasta.

Pasada media hora, y siempre que el fraguado haya finalizado, se desenmoldan las probetas.

Las probetas así confeccionadas se introducen en cámara húmeda durante cinco días, con una temperatura de 20°C±3°C y una humedad relativa del 90±5 por ciento.

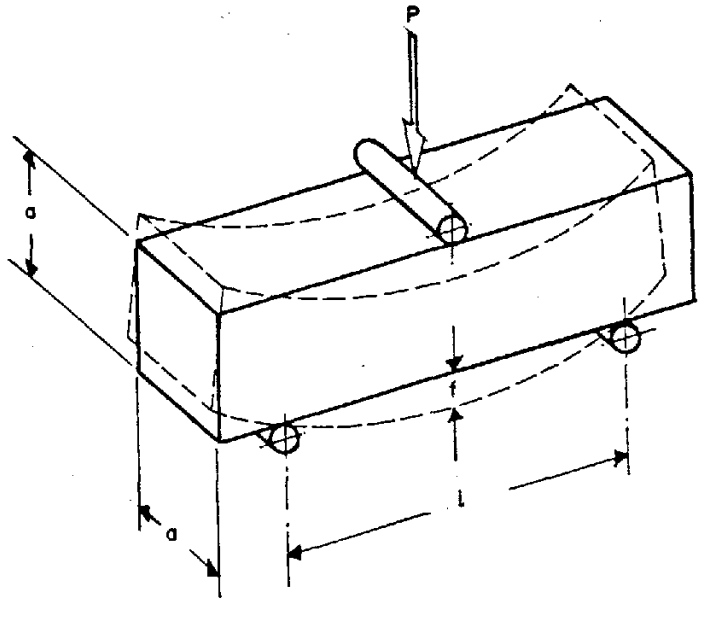
Posteriormente se introducen en una estufa a 45-50°C durante dos días.

Pasado este tiempo se dejan enfriar en atmósfera de laboratorio y se someten a ensayo.

8.1.3. Ensayo de flexotracción.

Probetas prismáticas.

De acuerdo con el RY-85 y la UNE 102.032 las probetas fabricadas se someten a ensayo de flexotracción aplicando una carga única en el centro de la probeta, que debe estar apoyada sobre dos soportes separados 10,67 cm, de modo que la superficie alisada a mano quede sobre un lateral.



$$\sigma = \frac{3Pl}{2a^3}$$

$$\epsilon = \frac{6af}{l^2}$$

Para $a = 4$ cm

$l = 10,67$ cm

$\sigma = 0,25\ P$

$\epsilon = 0,21\ f.$

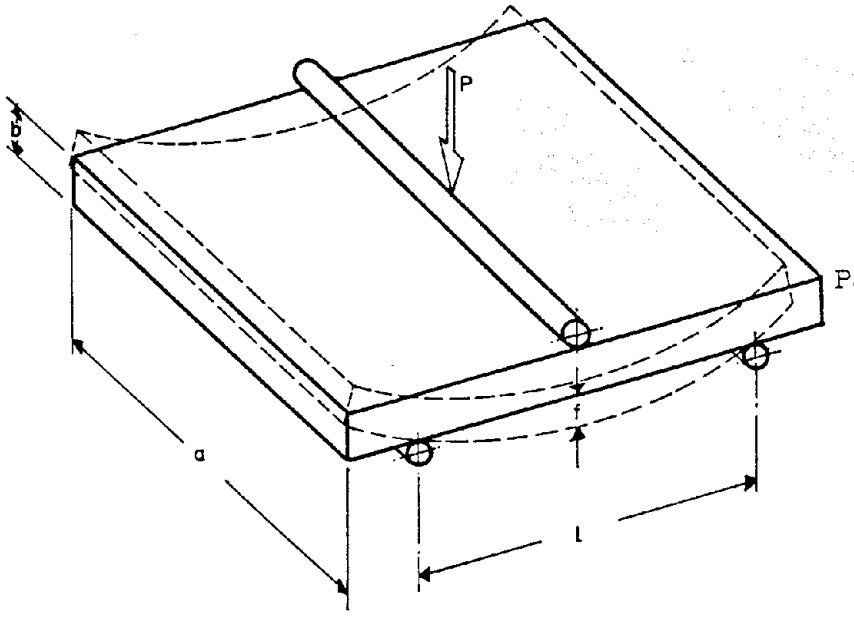
Una vez ensayadas las probetas, se considera como resultado de la resistencia a flexotracción a la media de los resultados de cada una de ellas, expresándose en

Kp/cm^2 y dibujándose las gráficas tensión-deformación correspondientes.

Placas.

Las placas fabricadas se someten a ensayo de flexotracción aplicando una carga única en el centro de la placa, que debe estar apoyada sobre dos soportes separados 10,67 cm.

Una vez ensayadas las placas, se considera como resultado de la resistencia a flexotracción a la media de los resultados de cada una de ellas, expresándose en Kg/cm^2 y dibujándose las gráficas de tensión-deformación correspondientes.



$$\sigma = \frac{3Pl}{2ab^2}$$

$$\epsilon = \frac{6af}{l^2}$$

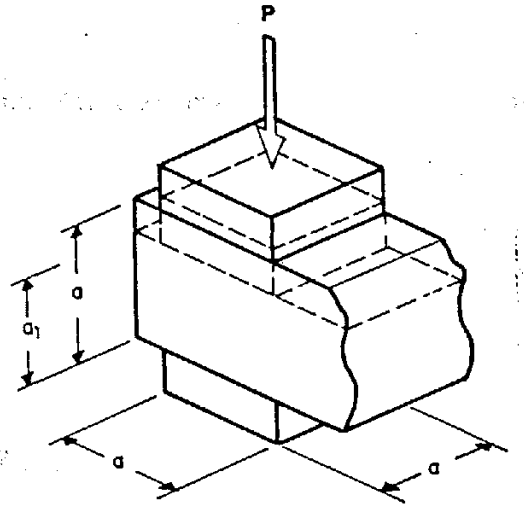
Para a = 12,48 cm
b = 1,05 cm
l = 10,67 cm

σ = 1,16 P
ϵ = 0,65 f

8.1.4. Ensayo de compresión.

Una vez rotas las probetas prismáticas del ensayo anterior, se ensayan a compresión las mitades resultantes

utilizando platos de 4x4 cm y colocando la superficie alisada a mano en un lateral.



$$\sigma = \frac{P}{a^2}$$

$$\epsilon = \frac{a - a_1}{a}$$

Para $a = 4$ cm

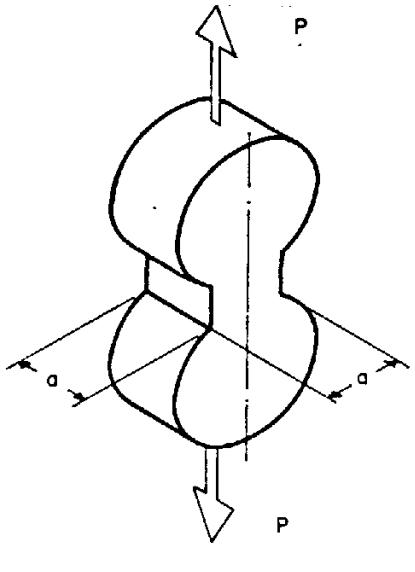
$$\sigma = \frac{P}{16}$$

$$\epsilon = \frac{4 - a_1}{4}$$

Análogamente al ensayo anterior, se considera como el resultado de la resistencia a compresión a la media de los resultados de cada una de las probetas, expresándose en Kp/cm^2 y dibujándose las gráficas tensión-deformación correspondientes.

8.1.5. Ensayo de tracción.

Para realizar el ensayo a tracción se utilizan las probetas con forma de ocho.



$$\sigma = \frac{P}{a^2}$$

Para $a = 2,35$ cm

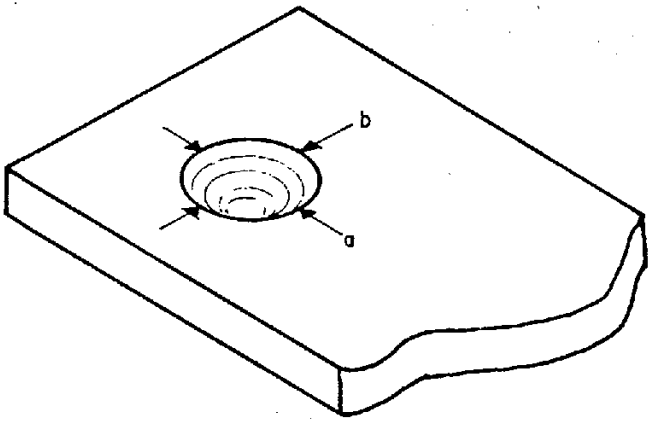
$$\sigma = 0.181 \cdot P$$

Análogamente a los ensayos anteriores, se considera como el resultado de la resistencia a tracción a la resistencia media de los resultados de cada una de las probetas, expresándose en Kp/cm^2 y dibujándose las gráficas de tensión-deformación correspondientes.

8.1.6. Ensayo de impacto.

Este ensayo se realiza con una bola de acero de 22 gr y 1,75 cm de diámetro, que golpea en caida libre desde diversas alturas a la superficie de las placas antes ensayadas.

El impacto de la bola en la superficie de la placa produce una huella de la cual se toman dos medidas perpendiculares, obteniéndose su valor medio.



$$\text{Huella} = \frac{a + b}{2}$$

Los resultados expresan la relación entre la huella y la altura desde la que se deja caer la bola.

8.1.7. Porosidad.

Para calcular la porosidad aparente de las medias probetas resultantes del ensayo de flexotracción de las probetas optimizadas, se desecan en estufa a 40°C hasta peso constante, obteniendo el peso en seco Ps.

Posteriormente se sumergen en agua hasta obtener peso constante, cuyo valor es el peso saturado Psat.

Por último se pesan las probetas en la balanza hidrostática, obteniendo el valor de Psum.

La porosidad aparente vendrá dada por la relación entre el volumen de poros y el volumen aparente.

$$\beta = \frac{V_{poros}}{V_{aparente}} = \frac{P_{sat} - P_{seco}}{(P_{sat} - P_{sum}) \cdot \gamma_A}$$

Utilizando agua con densidad $\gamma_A = 1$

$$\beta = \frac{P_{sat} - P_{seco}}{P_{sat} - P_{sum}}$$ Expresándose en %

8.1.8. Tiempos de fraguado.

Para determinar los tiempos de fraguado se utiliza la pasta, con la adición optimizada, y se preparan tres

galletas de unos cinco milímetros de espesor sobre placas de vidrio.

Cada treinta segundos se cortan con un cuchillo, formando planos perpendiculares y paralelos (limpiando perfectamente el cuchillo entre cada dos cortes).

El principio de fraguado es el tiempo transcurrido desde el momento de añadirse yeso al agua hasta que los bordes de la hendidura producida por la hoja de cuchillo dejan de unirse.

Posteriormente se ejerce una presión con un dedo cada treinta segundos hasta que no aparece huella visible, momento en el que finaliza el fraguado. La duración del fraguado será el tiempo transcurrido desde que comienza a añadirse yeso al agua hasta que la huella no es apreciable.

En ambos casos el resultado se expresa en minutos y medios minutos.

8.1.9. Análisis químico.

Se determina: el agua combinada, contenido de sulfato cálcico, el índice de pureza, etc. de acuerdo a lo especificado en el apartado 7 del Pliego RY-85, y en el apartado 5 de la Norma UNE 102.032.

El agua combinada se determina por la pérdida en peso que experimenta una muestra de yeso de 100 gr cuando se

deshidrata totalmente por la acción del calor a una temperatura de 400±30°C durante dos horas.

$$\text{Porcentaje de agua combinada} = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \cdot 100$$

P_1: peso de la muestra seca inicial en gramos.

P_2: peso de la muestra final en gramos.

El contenido de sulfato cálcico se determina por precipitación del ión sulfato presente en la disolución clorhídrica de la muestra de yeso con el Cl_2Ba, de acuerdo a la técnica operatoria especificada en el artículo 6 de la Norma UNE 102.032, expresándose los resultados en tanto por ciento en peso, referido a la muestra original.

El índice de pureza, o contenido teórico total de fases de sulfato cálcico-agua del producto, se determina teniendo en cuenta la relación teórica entre los pesos moleculares del anhídrido sulfúrico (SO_3) y del sulfato cálcico (SO_4Ca), que es igual a 1,70, y suponiendo que todo el sulfato contenido en la muestra corresponde a sulfato cálcico. Al contenido de sulfato cálcico se le añade el contenido de agua combinada para obtener el contenido teórico total en fases de sulfato cálcico-agua ($SO_4Ca \cdot H_2O$).

Indice de pureza = 1,7% SO_3 + porcentaje de agua combinada.

8.1.10. Difracción de rayos X (DRX).

Se utiliza para determinar cualitativamente la composición de un material que posea una estructura cristalina.

El procedimiento consiste en radiar una muestra de material, obteniendo el espectro de la difracción obtenida, que es diferente para cada material en función de su estructura cristalina. Esta radiación se realiza con un goniómetro, con lo cual se obtiene un espectro de las difracciones producidas para cada uno de los diferentes ángulos de incidencia de la radiación.

Se han empleado un equipo automático de DRX marca Philips compuesto de las siguientes unidades:

- Generador de alta tensión de 4 Kw, ... PW-1730
- Rendija automática de divergencia, ... PW-1386/50
- Monocromador de grafito, ... PW-1743/60
- Portamuestras automático para 42 muestras . PW-1780
- Unidad de refrigeración automática, ... DM-6000
- Softward analítico philips APD-1700, ... (V.S.2.0.)
- Portamuestras con rotatorio.
- Miniordenador DIGITAL, modelo PDP 11/24 de 256 Kbytes.
- Teleimpresora DIGITAL, modelo LA-120.
- Terminal gráfico H.P. modelo 2648-A.
- Impresora gráfica H.P. modelo 2631-G.
- Prensa semiautomática Hergog modelo HDIFP.

Las condiciones de trabajo son las siguientes:

- Anodo de Cu λ(K_1 = 1,54056, K_2 = 1,54435, y K_1/K_2 = (0,5).
- Condiciones del generador 40 Kw, 50mA.
- Tamaño del paso : 0,02°
- Tiempo de un paso : 0,80 s.
- Rango de recorrido : de 5° a 75°.
- Discriminación : desde nivel 35 a nivel 70.
- Velocidad de la carta : 20
- Factor de escala : $2 \cdot 10^3$
- Velocidad de goniómetro : 0,025 grados/minuto.

8.2.0. Ensayos del yeso.

Los siguientes ensayos se realizan sobre el conglomerante que se utiliza para realizar la matriz del material híbrido, comprobándose la naturaleza de éste y los elementos que lo integran.

Se utiliza escayola E·35·L de "Escayolas Marín" recogida directamente en la fábrica en el proceso de llenado de sacos para garantizar la calidad del producto.

8.2.1. Análisis químico.

El análisis químico realizado nos da los siguientes resultados:

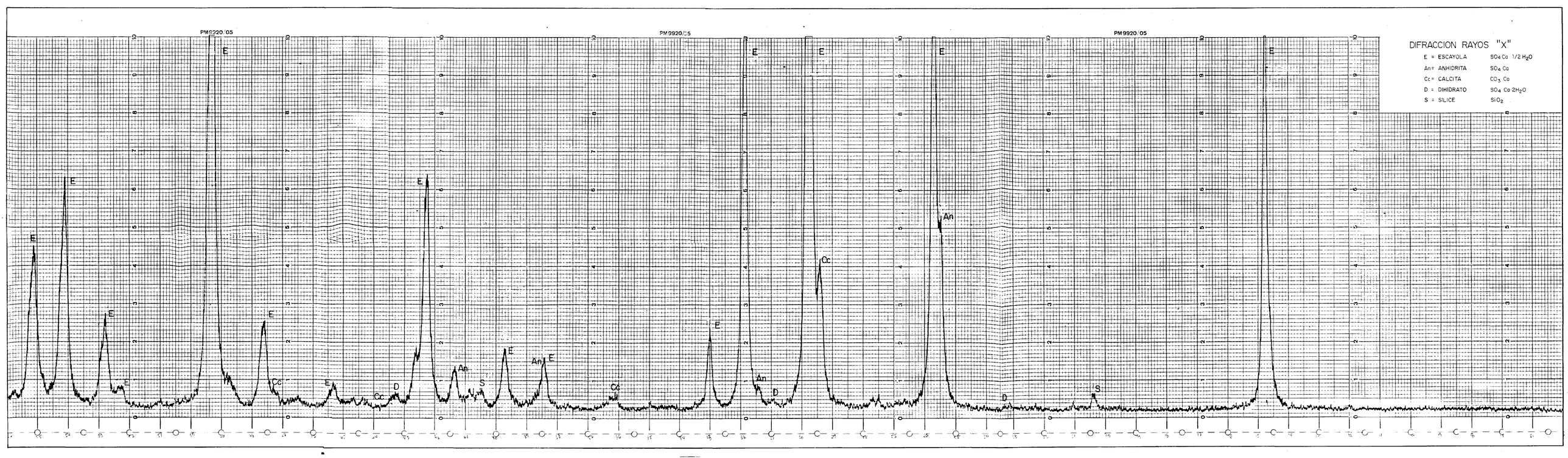
Agua combinada	6,6%
SO_3	51,3%
CO_2	1,0%
Sílice e insoluble	1,8%
Oxidos	0,4%
CaO	38,0%
MgO	0,8%
ClNa	0,10%
Agua libre	0,11%

De este análisis químico se obtiene la siguiente composición, confirmándose que el conglomerante es una escayola:

Semihidrato	92,0%
Anhidrita	3,7%
CO_3Ca	0,3%
CO_3Mg	1,7%
SiO_2 e insoluble	1,8%
Oxidos	0,4%
ClNa	0,1%

8.2.2. Difracción de rayos X (DRX).

En la difracción realizada con la muestra utilizada se confirma que el conglomerante utilizado para formar la matriz del material híbrido, está compuesto fundamentalmente por semihidrato, con pequeñas cantidades de impurezas de Anhidrita, Carbonato cálcico y sílice.


PM9920/05
PM9920/05
PM9920/05
DIFRACCION RAYOS "X"
E = ESCAYOLA SO4 Ca 1/2 H2O
An = ANHIDRITA SO4 Ca
Cc = CALCITA CO3 Ca
D = DIHIDRATO SO4 Ca·2H2O
S = SILICE SiO2

8.3.0. Comportamiento conjunto.

Los polímeros sintéticos seleccionados, estudiados en los capítulos 6 (Fibras poliméricas) y 7 (Dispersiones poliméricas), se ensayan conjuntamente con la escayola E·35·L que se utiliza de matriz, por poseer la mayor resistencia entre los productos de yeso normalizados existentes en el mercado.

Los ensayos se realizan sobre probetas prismáticas normalizadas hasta conseguir una optimización de la mezcla.

En una primera etapa se realizan unos ensayos previos entre la escayola y las seis adiciones seleccionadas con un porcentaje fijo, con el fin de comprobar si alguna de ellas presenta un comportamiento diferenciado.

Posteriormente se realizan ensayos individuales de flexotracción y compresión con la escayola y diferentes porcentajes de cada adición, con el fin de observar las diferencias de comportamiento, que quedan reflejados en los resúmenes de resultados correspondientes.

Una vez acotado el porcentaje óptimo de cada adición se procede a realizar mezclas binarias de éstas con la escayola, obteniéndose como resultado la selección de la fibra y la dispersión polimérica idónea, así como el porcentaje óptimo, quedando reflejados en los cuadros resumen de resultados.

El porcentaje de adición optimizado para probetas prismáticas se comprueba con placas (mediante ensayos de flexotracción e impacto y de tracción mediante ensayo con ochos.

Se comprueba también la variación de la porosidad aparente y absoluta del nuevo material con respecto a la escayola origen, así como los tiempos de fraguado.

8.3.1. Ensayos previos de flexotracción con probetas prismáticas.

Se utiliza escayola E·35·L de Escayolas Marín, comprobándose los valores de resistencia a flexotracción con relación agua-yeso de 0,8 y 0,7.

Se aditivan individualmente con relación agua-yeso 0,8 los tipos de fibra seleccionados (acrílicas, poliéster y polipropileno). Se dispone de un único tipo, para las acrílicas y de poliéster, consistente en fibra cortada, y tres tipos de fibra de polipropileno: cortada, monofilamento y fibrilada; seleccionándose la cortada para que los ensayos que se realizan sean comparables con las dos anteriores.

Los datos de las fibras son los siguientes:

- Fibra acrílica.
  Casa comercial: Hoechst, denominación Dolanit VF11
  Diámetro: 2,5 denier.
  Longitud de corte: 24 mm
- Fibra de poliéster.
  Casa comercial: Nurel
  Diámetro: 1,1 denier
  Longitud de corte: 38 mm
- Fibra polipropileno.
  Casa comercial: Propilan
  Diámetro: 2 denier
  Longitud de corte: 20 mm

E. T. S. A. de M.
BIBLIOTECA

Se aditivan individualmente también con relación agua-yeso 0,7, debido al efecto plastificante que ejercen los tipos de dispersiones seleccionados (melamina-formaldehido, acetato de polivinilo y ácido acrílico).

Los productos para realizar las dispersiones han sido cedidos por la casa comercial Hoechst, con las siguientes denominaciones:

- Melment F10: Policondensado de melamina-formaldehido.
- Mowilith DS pulver: Dispersión a base de acetato de polivinilo.
- Mowiton M-300: Dispersión copolímera a base de ésteres de ácido acrílico.

COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L
ADICION: SIN ADICION

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,8		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	–	gr.....	– %
		gr.....	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85
UNE 102031

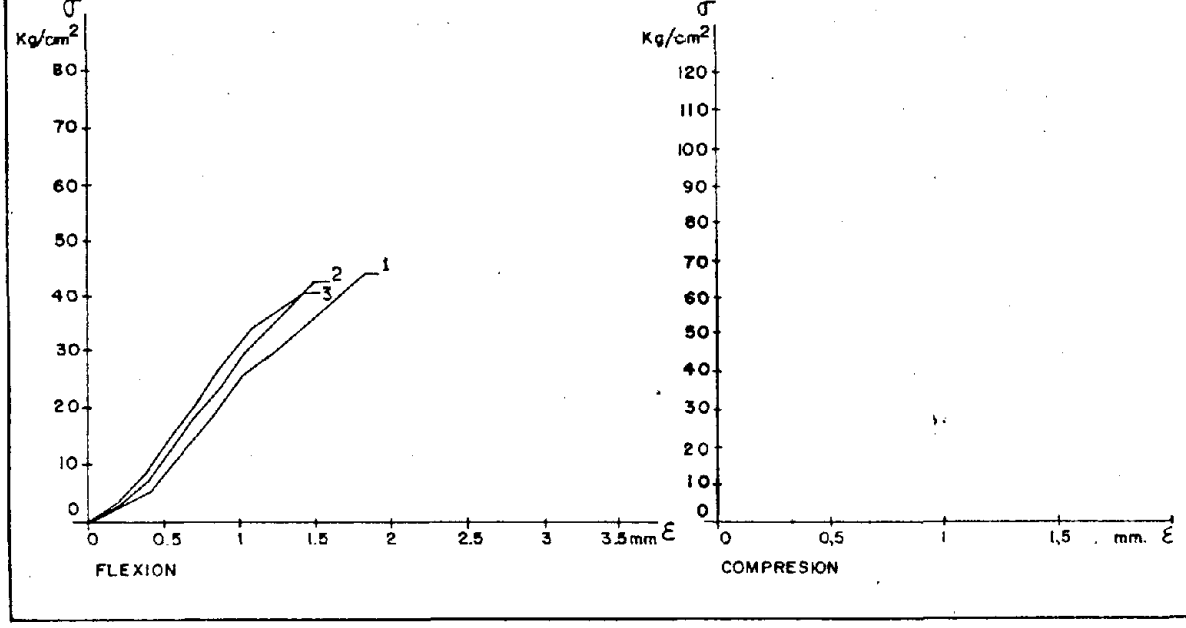
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	1	2	3
CAMARA HUMEDA			
	389,0	388,5	388,7
	381,0	382,9	382,0
	313,5	307,0	301,7
	–	–	–
ESTUFA 40°C	272,3	255,1	253,0
	252,0	252,0	251,6
	251,7	252,0	251,6

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	42,0	41,25	39,5
VALOR MEDIO	40,91		
COMPRESION			
VALOR MEDIO			

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L
ADICION: SIN ADICION.

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y		0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	(825)	750	gr.	
CANTIDAD ADICION		–	gr.....	– %
			gr.....	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85
UNE 102031

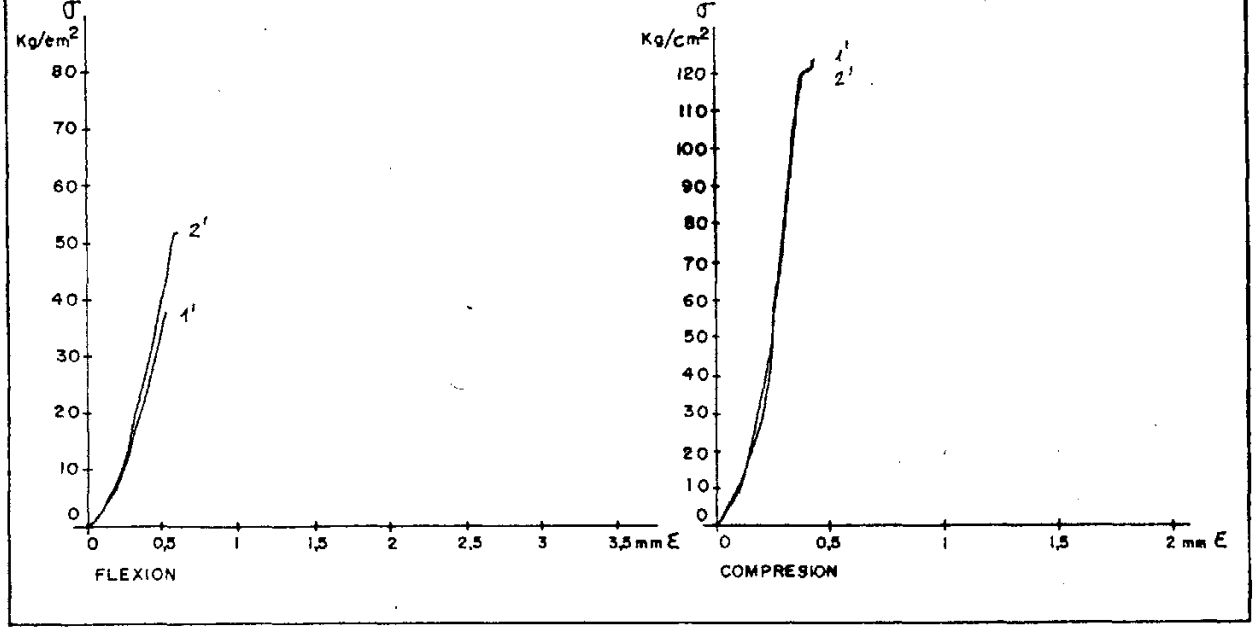
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	1'	2'	3'
CAMARA HUMEDA			
	411,0	413,5	–
	408,4	411,1	–
	407,6	410,3	–
	406,9	409,6	–
	406,0	409,0	–
ESTUFA 40°C	405,1	408,1	–
	287,2	291,0	–
	287,1	290,0	–

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	37,0	50,25	–
VALOR MEDIO	43,62		
COMPRESION	>125	>125	–
VALOR MEDIO	>125		

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA ACRILICA (DOLANIT)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,8		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	2,5	gr.....	0,3 %
		gr.....	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

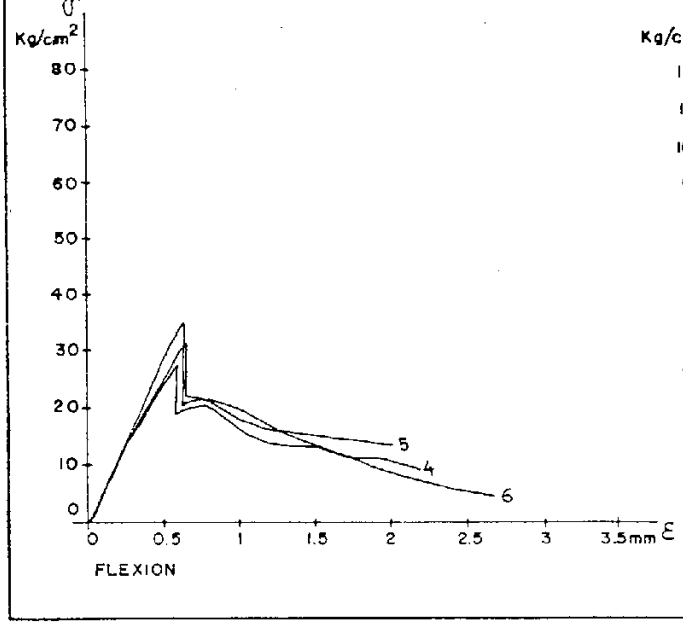
PESOS PARCIALES

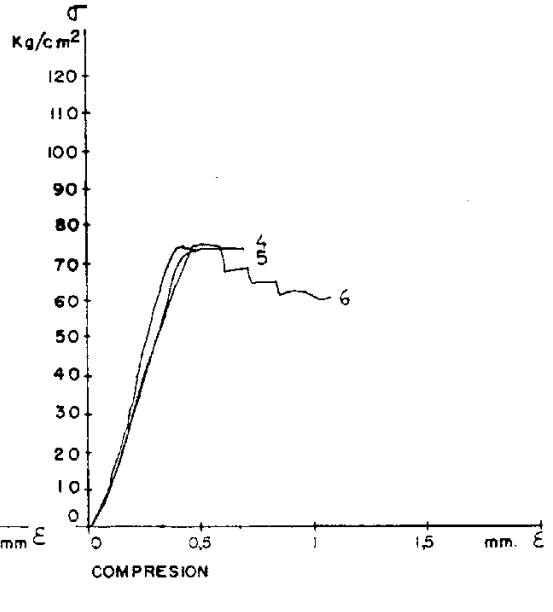
Nº DIAS	SERIE		
	4	5	6
CAMARA HUMEDA			
	381,6	380,6	382,4
	380	379,1	381,0
	377,5	377,2	378,5
	377,2	377,0	378,2
	373,4	374,6	375,3
ESTUFA 40°C	293,3	280,0	261,2
	241,7	239,4	240,8
	241,7	239,4	240,7

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	30,5	27,5	33,75
VALOR MEDIO	30,58		
COMPRESION	77,68	77,94	77,43
VALOR MEDIO	77,68		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION





COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIESTER (NUREL)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,8			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	2,5	gr.....	0,3	%
		gr.....		

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

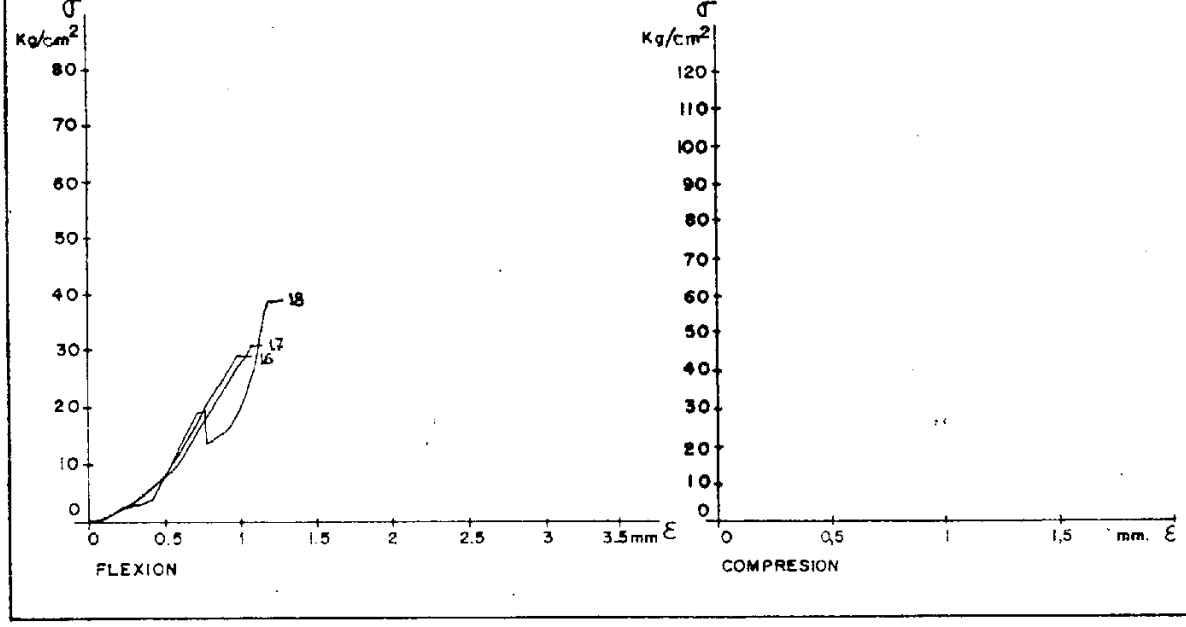
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	16	17	18
CAMARA HUMEDA			
	389,0	388,0	386,0
	383,2	382,3	380,1
	299,4	310,4	330,7
	-	-	-
ESTUFA 40°C	251,7	257,7	266,3
	251,0	250,0	248,7
	251,0	250,0	248,5

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	29,0	30,5	37,75
VALOR MEDIO	30,91		
COMPRESION			
VALOR MEDIO			

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,8		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	2,5	gr.....	0,3 %
		gr.....	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

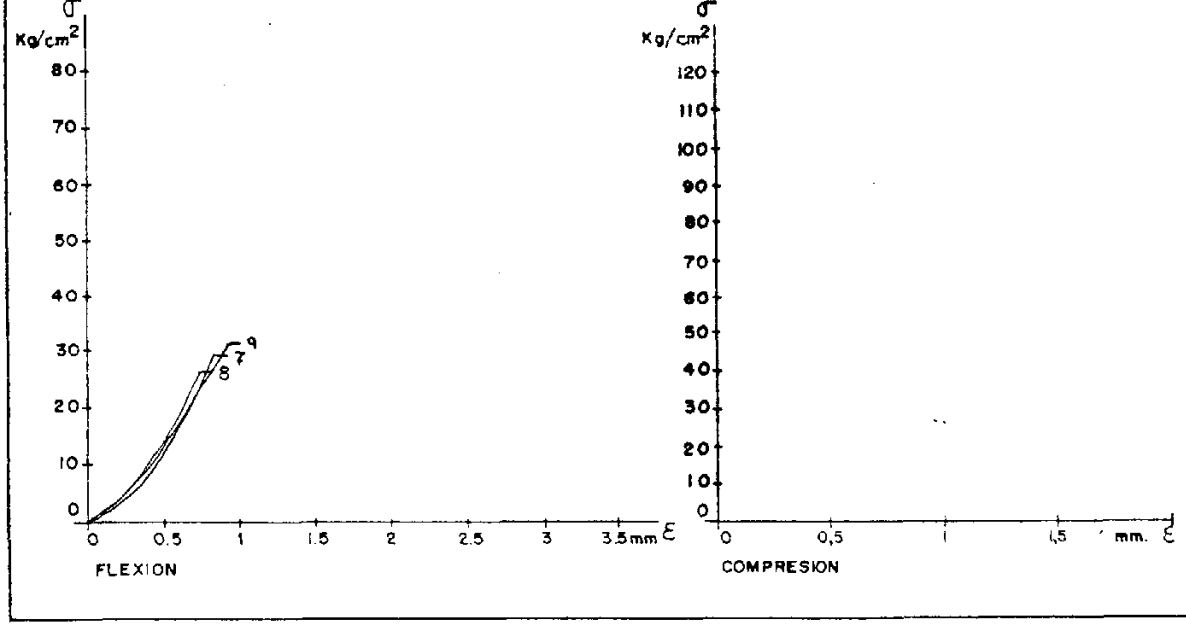
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	7	8	9
CAMARA HUMEDA			
	385,1	385,0	384,2
	380,1	379,1	378,8
	257,0	256,0	303,0
	-	-	-
ESTUFA 40°C	248,3	248,0	263,0
	247,4	248,0	247,0
	247,4	247,5	247,0

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	28,25	24,25	32,5
VALOR MEDIO	28,33		
COMPRESION			
VALOR MEDIO			

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO FIBRILADO (HALESA)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,8			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	2,5	gr.....	0,3	%
		gr.....		

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

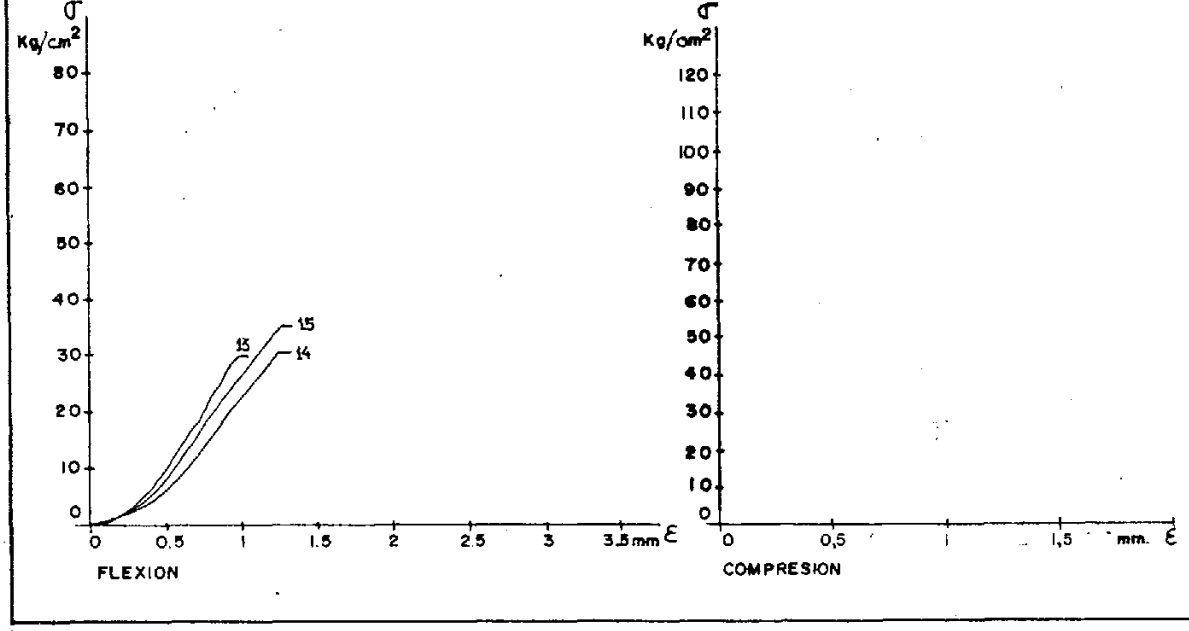
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	13	14	15
CAMARA HUMEDA			
	389,0	387,1	387,0
	383,0	380,3	381,0
	383,3	315,6	300,9
	-	-	-
ESTUFA 40°C	303,2	266,2	248,4
	252,0	246,8	247,5
	251,5	246,8	247,5

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	28,25	28,75	34,0
VALOR MEDIO	30,33		
COMPRESION			
VALOR MEDIO			

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO MONOFILAMENTO (CONCRE FIB HALESA)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,8			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	2,5	gr.....	0,3	%
		gr.....		

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

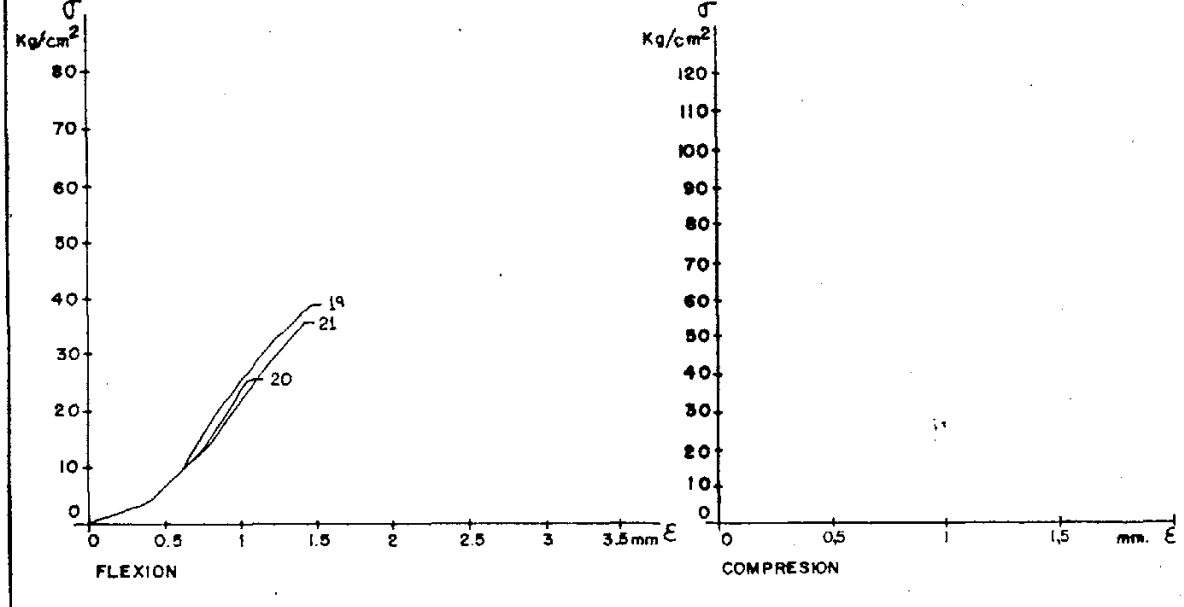
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	19	20	21
CAMARA HUMEDA			
	388,2	388,0	389,0
	381,4	380,0	382,5
	330,3	299,6	338,2
	274,3	248,7	251,7
ESTUFA 40°C	251,3	248,6	250,0
	251,2	248,4	250,0

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	38,0	25,5	32,25
VALOR MEDIO	31,91		
COMPRESION			
VALOR MEDIO			

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: POLICONDENSADO DE MELAMINA Y FORMALDEHIDO (MELMENT F.10)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	7,5	gr.....	1 %
		gr.....	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

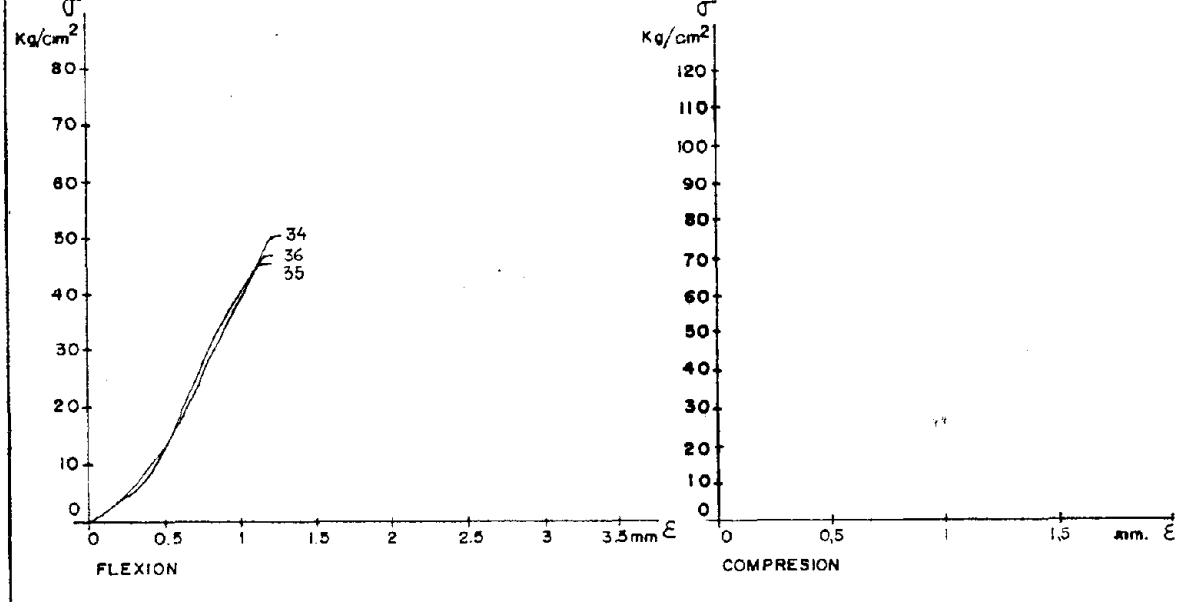
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	34	35	36
CAMARA HUMEDA			
	396,8	397,3	397,0
	385,5	386,0	385,0
	335,4	338,0	328,0
	–	–	–
ESTUFA 40°C	285,5	288,0	281,0
	266,0	266,7	266,6
	266,0	266,5	266,5

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	50,5	46,0	47,25
VALOR MEDIO	47,91		
COMPRESION			
VALOR MEDIO			

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: DISPERSION A BASE DE ACETATO DE POLIVINILO (MOWILITH PULVER DS)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	7,5	gr.....	1 %
		gr.....	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

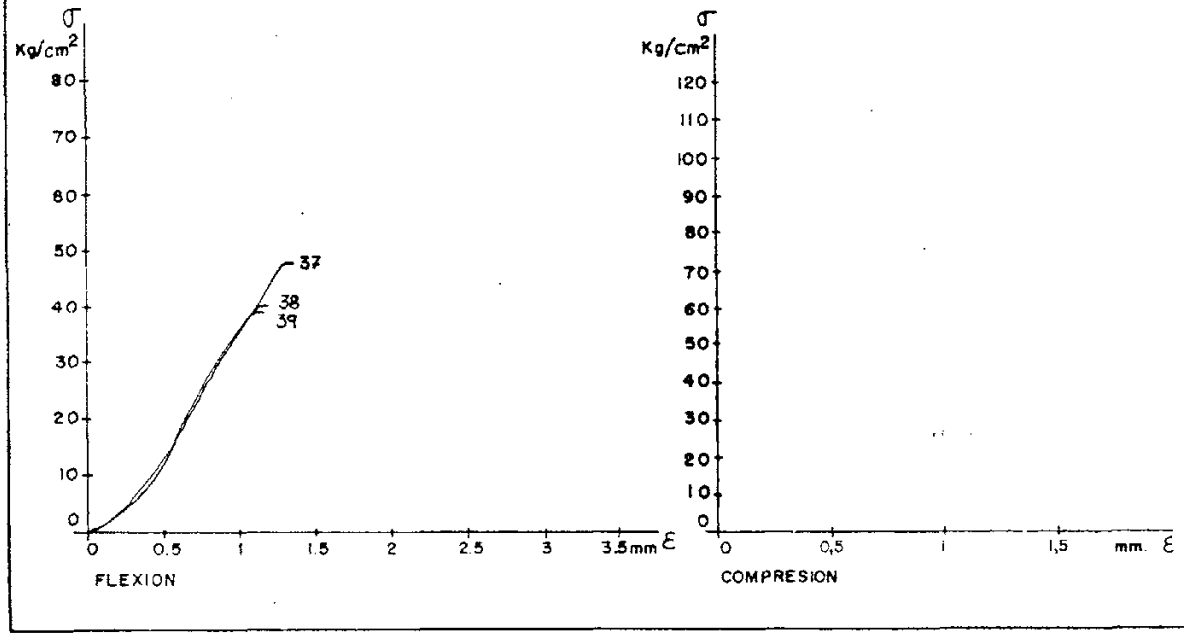
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	37	38	39
CAMARA HUMEDA			
	387,3	390,3	392,3
	378,0	382,0	383,9
	322,0	341,0	319,6
	-	-	-
ESTUFA 40°C	281,7	275,6	265,5
	259,6	262,1	263,2
	259,4	262,0	263,2

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	46,0	40,0	40,0
VALOR MEDIO	42,0		
COMPRESION			
VALOR MEDIO	-		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: DISPERSION COPOLIMERA A BASE DE ESTERES DE ACIDO ACRILICO (MOWITON M-300)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	7,5	gr.....	1	%
		gr.....		

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

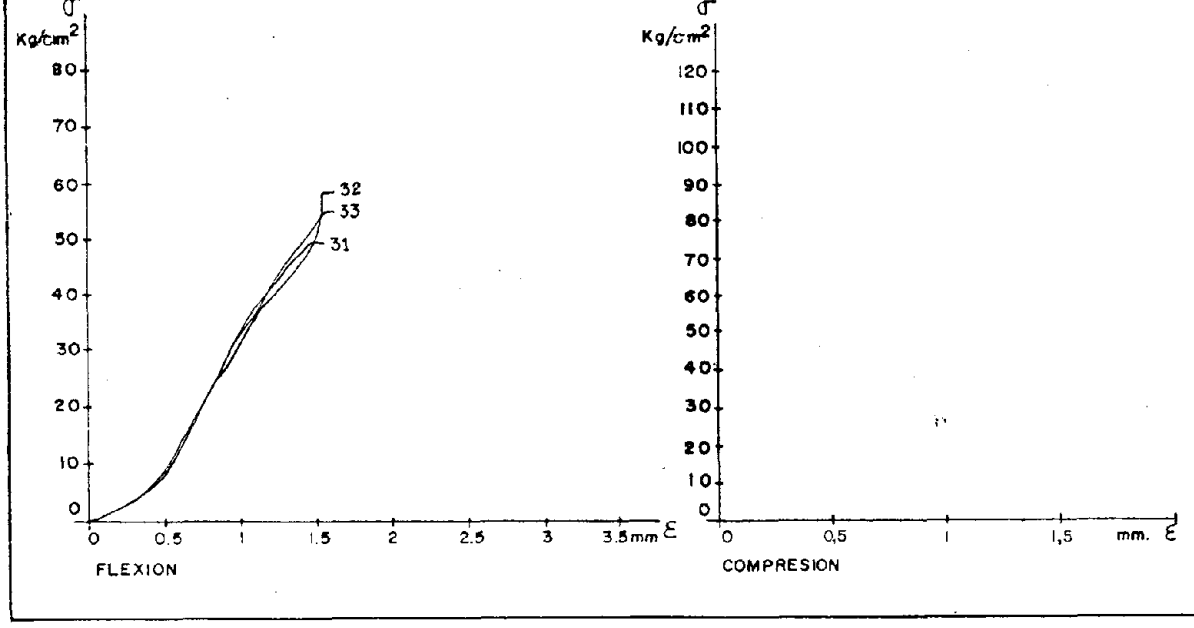
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	S E R I E		
	31	32	33
CAMARA HUMEDA			
	384,7	384,1	382,4
	375,8	373,2	372,8
	290,4	306,0	313,3
	-	-	-
ESTUFA 40°C	257,8	304,4	275,5
	253,0	252,7	251,3
	252,8	252,3	251,3

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	S E R I E		
FLEXION	49,5	56,25	54,0
VALOR MEDIO	53,25		
COMPRESION			
VALOR MEDIO			

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

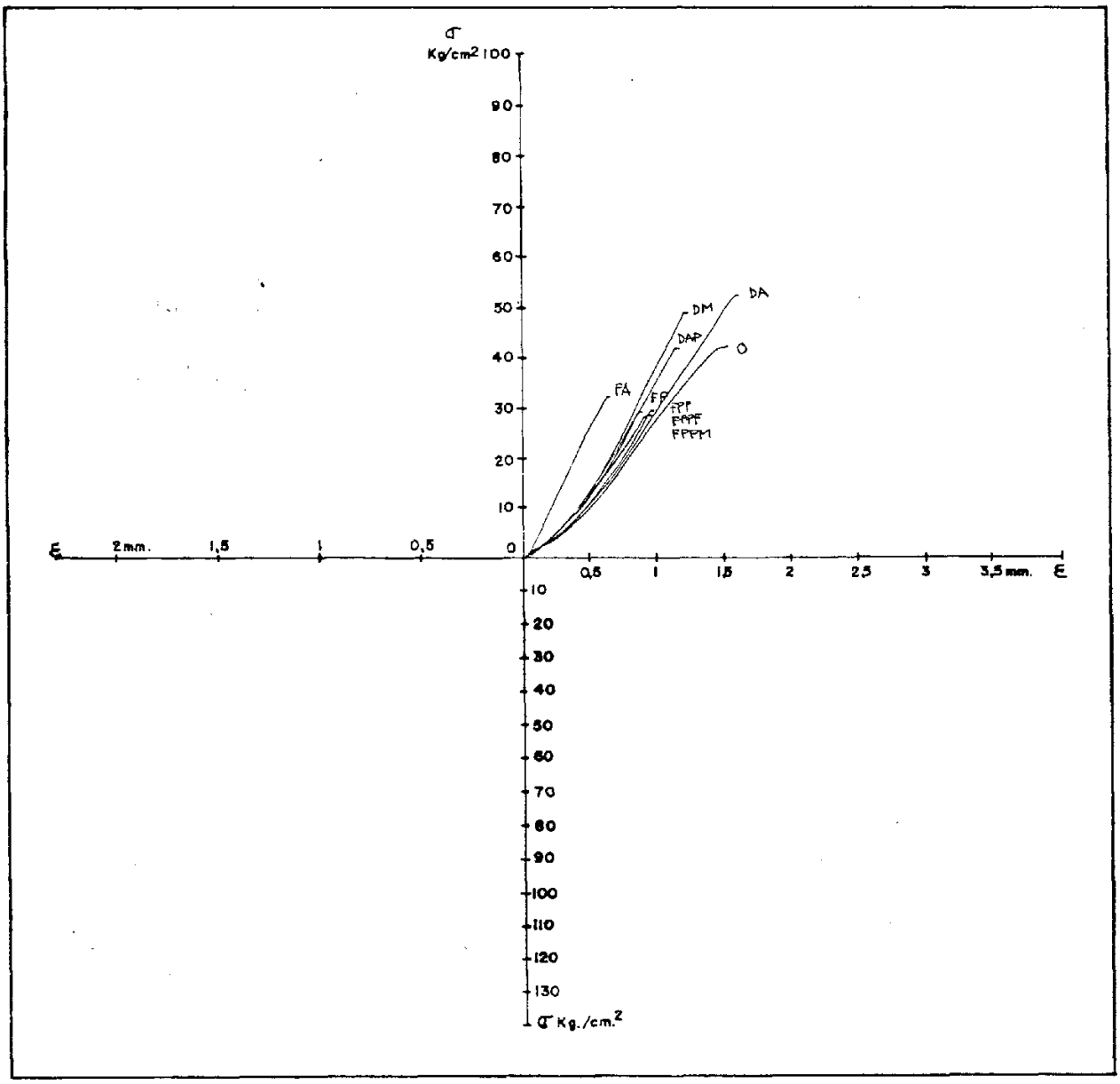
ADICION: COMPARATIVA ENSAYOS PREVIOS

CONCLUSIONES

0	Sin adición
FA	Fibra acrílica (Dolanit)
FP	Fibra Poliester (Nurel)
FPP	Fibra Polipropileno (Propilan)
FPPF	Fibra Polipropileno Fibrilado (Halesa)
FPPM	Fibra Polipropileno Monofilamento (Halesa)
DA	Dispersión Cop. Esteres Acido Acrílico (Mowiton M-300)
DM	Policondensado de Melamina y Formaldehido (Melment F-10)
DAP	Dispersión a base de Acetato de Polivinilo (Mowilith DS Pulver)

Los resultados observados no permiten realizar una selección previa de fibras y dispersiones. Se elige FPP por la longitud de su fibra.

GRAFICAS TENSION DEFORMACION



8.3.2. Yeso con fibras. Ensayos de flexotracción y compresión con probetas prismáticas.

Se utiliza escayola E·35·L de Escayolas Marín y los tipos de fibras poliméricas seleccionadas.

Se comprueba la influencia de cada fibra sobre los valores de resistencia mecánica del conjunto en relación a porcentajes crecientes de adición, con relaciones agua-yeso de 0,8.

Se realizan gráficas de tensión-deformación para cada porcentaje de adición, dibujándose superpuestas en el resumen de resultados de cada fibra.

Las probetas se numeran correlativamente según el orden de fabricación para cada tipo de adición, denominándose con las siguientes iniciales según la fibra que contengan.

FA: Fibra acrílica.

FP: Fibra de poliéster.

FPP: Fibra de polipropileno.

FIBRA ACRILICA (DOLANIT)

COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA ACRILICA (DOLANIT)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,8		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	2,25	gr.....	0,3 %
		gr.....	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

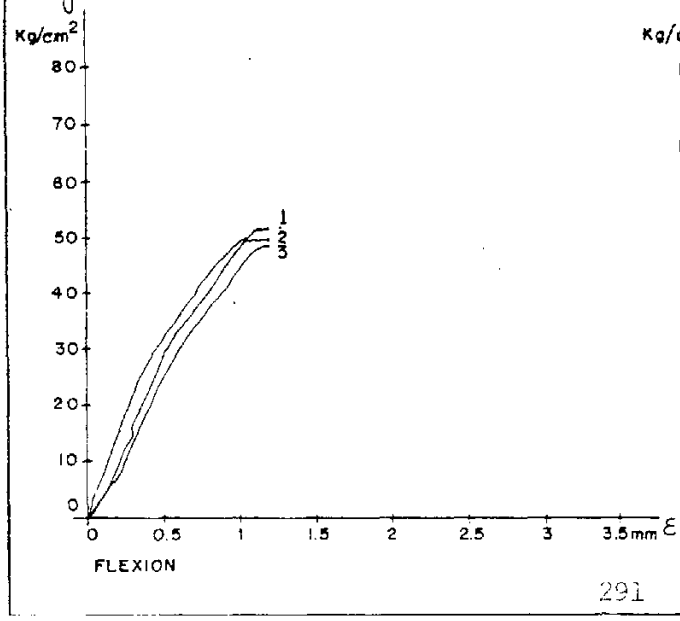
PESOS PARCIALES

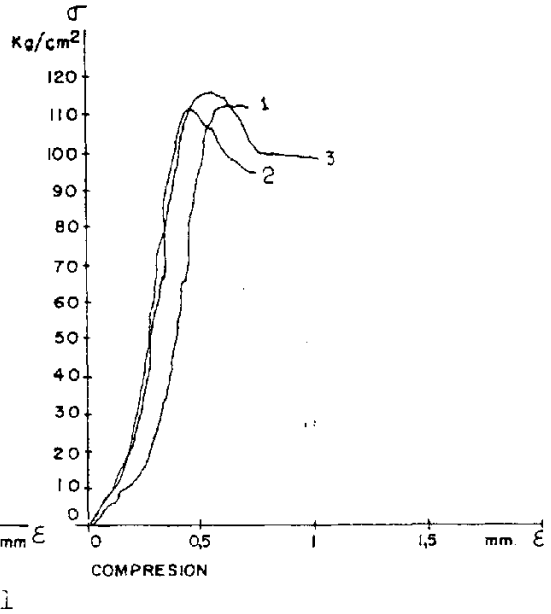
Nº DIAS	SERIE		
	FA 1	FA 2	FA 3
CAMARA HUMEDA			
	384,1	383,3	383,8
	382,1	381,3	381,9
	381,1	380,2	381,4
	380,3	379,6	380,6
ESTUFA 40°C			
	379,4	379,5	380,3
	375,4	375,6	376,6

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	51,1	49,5	49
VALOR MEDIO	49,86		
COMPRESION	117	112,5	119
VALOR MEDIO	116,16		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION





COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA ACRILICA (DOLANIT)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,8		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	1 %
CANTIDAD ADICION	7,5	gr.	
		gr.	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

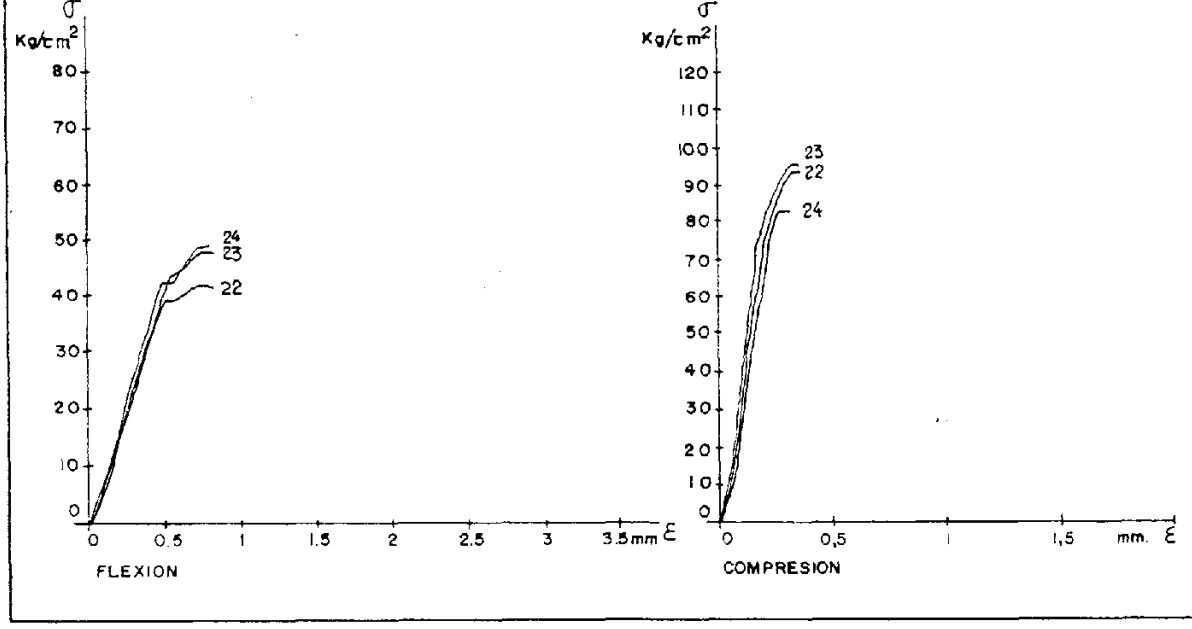
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FA 22	FA 23	FA 24
CAMARA HUMEDA			
	385,5	385,6	386,6
	382,9	383,1	384,0
	381,3	381,8	382,6
	380,0	381,2	381,9
	378,3	379,5	380,2
ESTUFA 40°C	259,3	265,5	285,3
	252,3	252,0	253,5
	252,2	251,9	253,4

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	41	46,5	47
VALOR MEDIO	44,83		
COMPRESION	92,56	94,81	82,87
VALOR MEDIO	90,08		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA ACRILICA (DOLANIT)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,8		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	7,5	gr.....	1 %
		gr.....	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

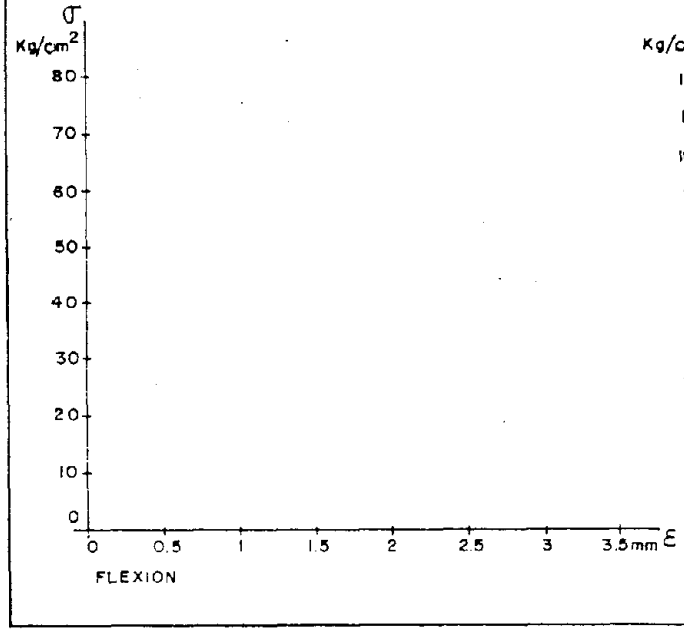
PESOS PARCIALES

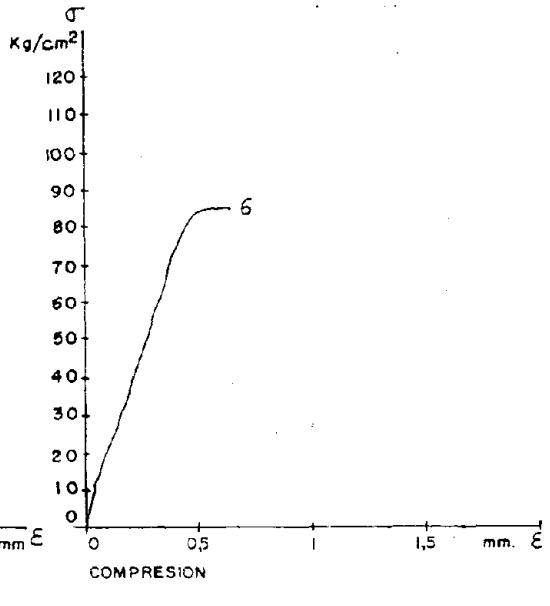
Nº DIAS	SERIE		
	FA 4	FA 5	FA 6
CAMARA HUMEDA			
	387,6	388,6	386,7
	383,1	383,7	381,9
	381,7	382,2	381,2
	380,7	381,8	380,3
ESTUFA 40°C			
	379,3	380,9	379,5
	375,0	376,4	374,8

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	50,25	48,25	47,5
VALOR MEDIO	48,66		
COMPRESION	89	84,3	91
VALOR MEDIO	88,1		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION





COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION : FIBRA ACRILICA (DOLANIT)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,8		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	11,25	gr.....	1,5 %
		gr.....	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

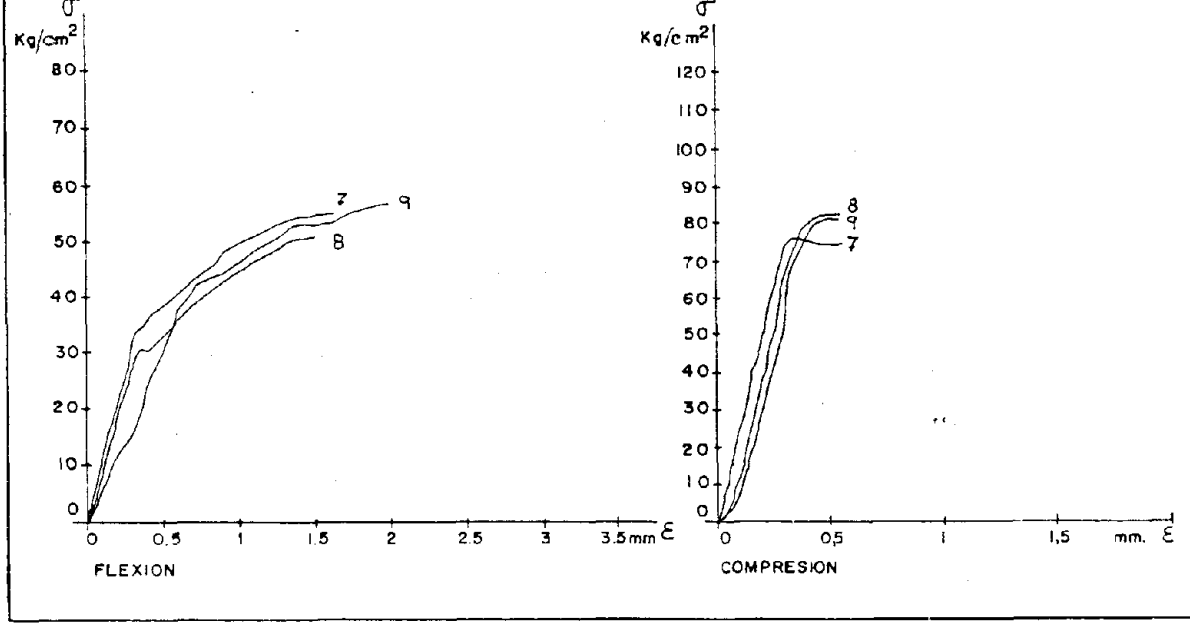
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	S E R I E		
	FA 7	FA 8	FA 9
CAMARA HUMEDA			
	385	384,6	384,6
	381,7	380,8	380,9
	381,1	380,5	380,3
	-	-	-
	378,7	379,0	378,1
ESTUFA 40°C			
	256,7	258,4	257,4
	252,1	252,4	252,0

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	S E R I E		
FLEXION	61	58,25	62,75
VALOR MEDIO	61,875		
COMPRESION	89,81	95,5	95,37
VALOR MEDIO	95,4		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA ACRILICA (DOLANIT)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,8		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	13,125	gr.....	1,75 %
		gr.....	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

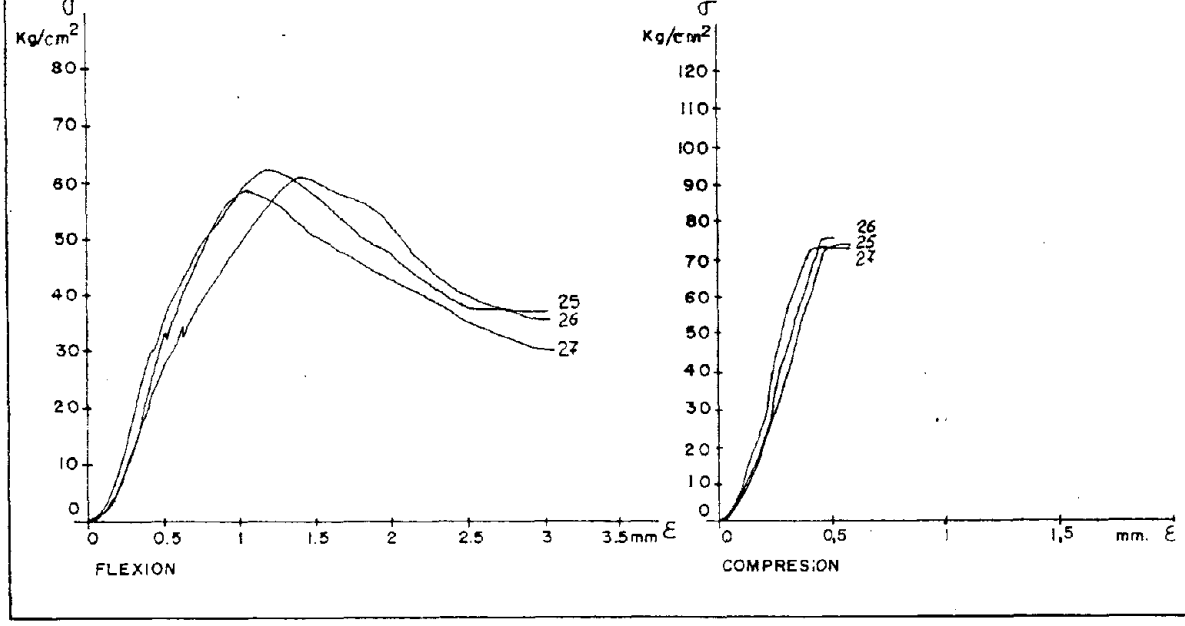
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FA 25	FA 26	FA 27
CAMARA HUMEDA			
	387,2	387,4	386,2
	385,4	385,7	384,6
	384,5	385,0	383,4
	384,2	384,6	383,1
	–	–	–
ESTUFA 40°C	381,7	382,5	380,0
	265,4	298,4	304,3
	251,8	252,2	252,1

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	60,5	59,75	56,75
VALOR MEDIO	59,0		
COMPRESION	75,25	75,87	74,19
VALOR MEDIO	75,10		

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA ACRILICA (DOLANIT)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,8		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	15	gr.....	2 %
		gr.....	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

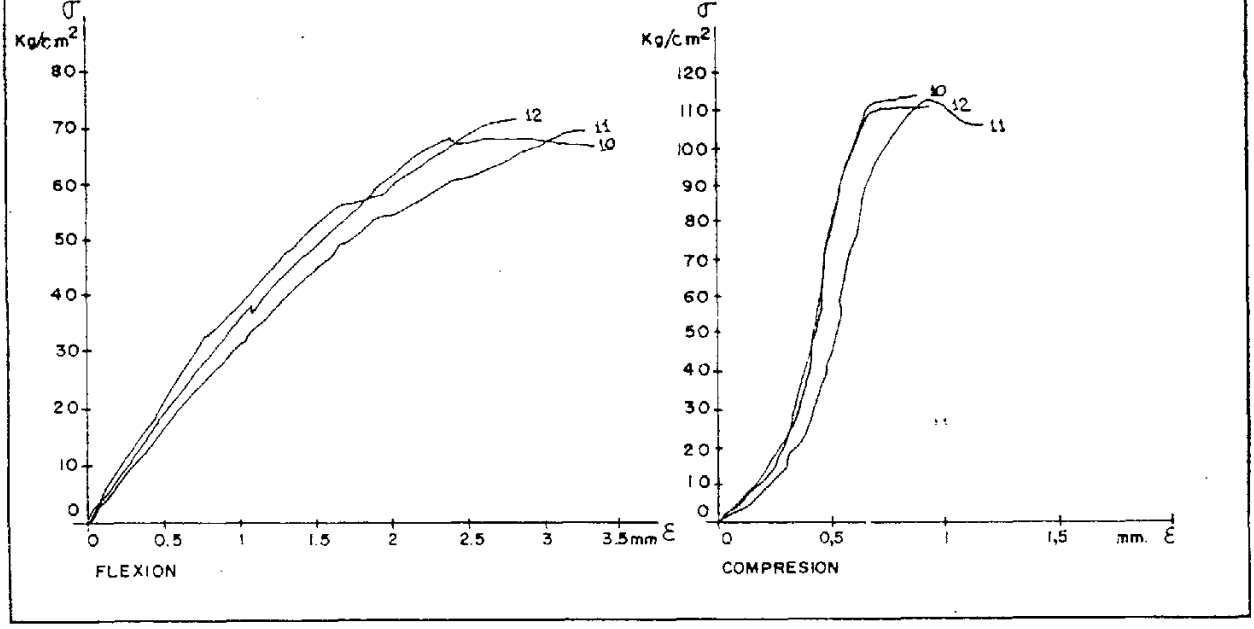
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FA 10	FA 11	FA 12
CAMARA HUMEDA			
	381,6	384,7	384,0
	378,8	381,7	381,3
	-	-	-
	377,4	379,6	379,6
	376,6	379,1	378,9
ESTUFA 40°C			
	277,2	278,7	274,8
	248,5	251,5	251,0

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	71,75	65	70,5
VALOR MEDIO	69,08		
COMPRESION	115,81	115,62	111,12
VALOR MEDIO	114,37		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA ACRILICA (DOLANIT)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,8		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	18,75	gr..... 2,5	%
		gr.....	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

PESOS PARCIALES

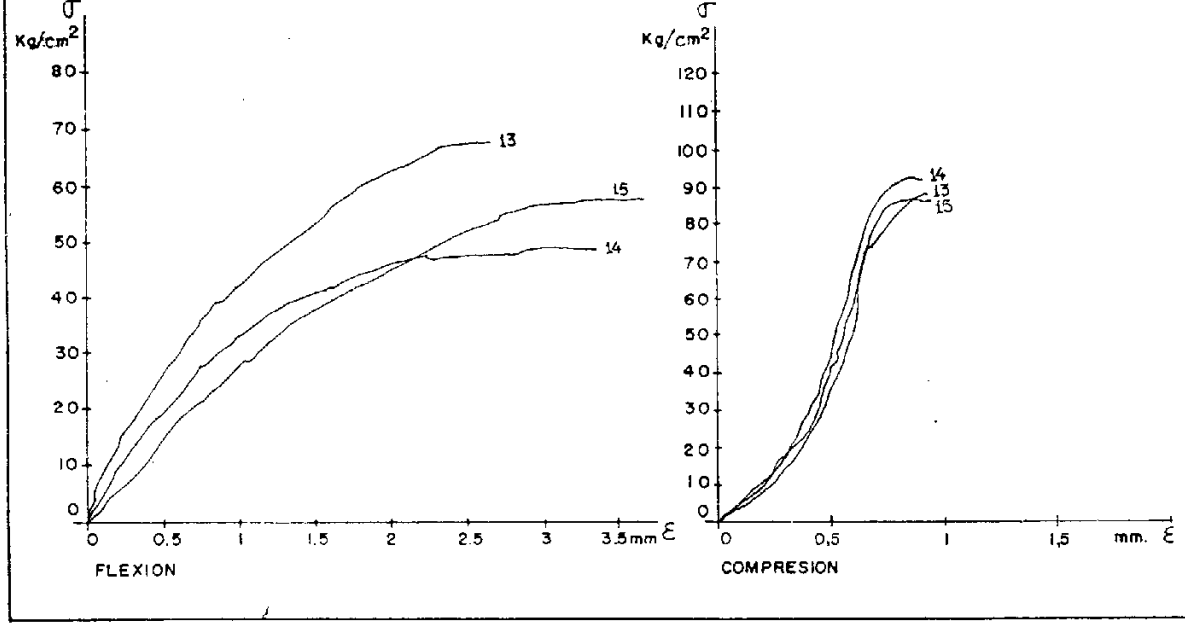
Nº DIAS	SERIE		
	FA 13	FA 14	FA 15
CAMARA HUMEDA	Dificultades de compactación		
	379,1	375,6	379,1
	–	–	–
	373,9	370,6	374,2
	373,1	369,9	373,5
	372,6	369,5	373,2
ESTUFA 40°C			
	–	–	–
	245,9	243,8	246,2

Repetición del ensayo

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	66,25	50	58,25
VALOR MEDIO	62,25		
COMPRESION	88,75	95,12	88,87
VALOR MEDIO	90,91		

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA ACRILICA (DOLANIT)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,8		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	18,75	gr.....	2,5 %
		gr.....	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

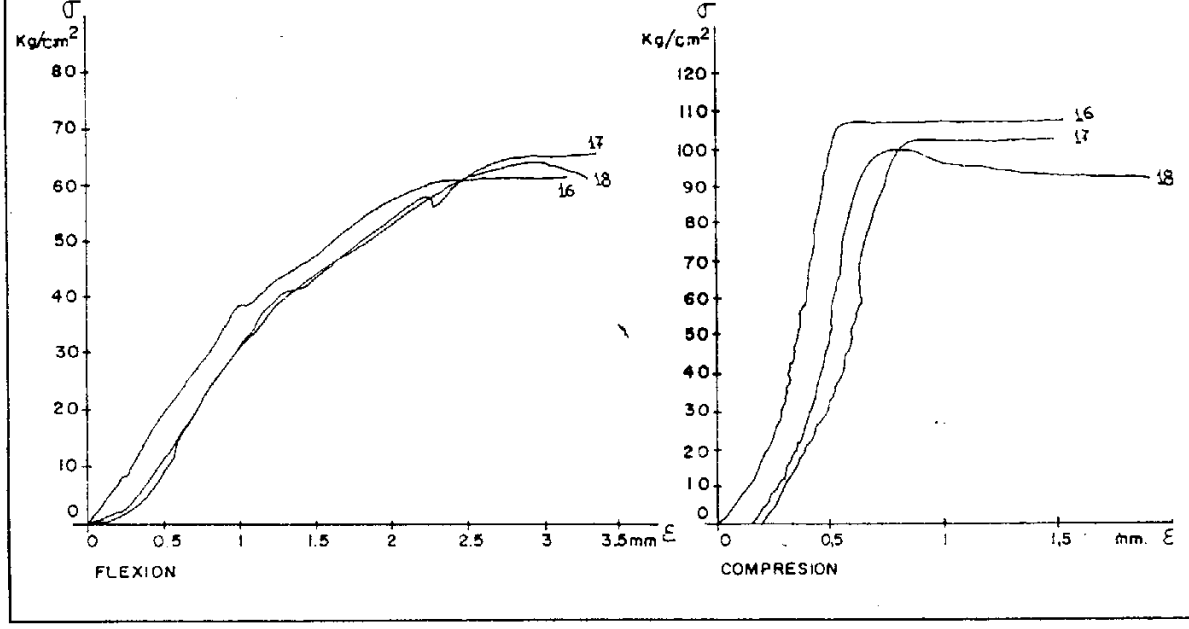
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FA 16	FA 17	FA 18
CAMARA HUMEDA			
	382,2	381,4	383,1
	380,4	379,3	381,7
	379,6	378,6	380,9
	379,0	378,2	380,4
	377,5	376,9	378,8
ESTUFA 40°C			
	325,5	319,6	328,2
	251,4	251,2	251,9

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	61	64,5	63,75
VALOR MEDIO	63,08		
COMPRESION	106,62	103,36	101
VALOR MEDIO	103,66		

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA ACRILICA (DOLANIT)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,8		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	22,5	gr.....	3 %
		gr.....	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

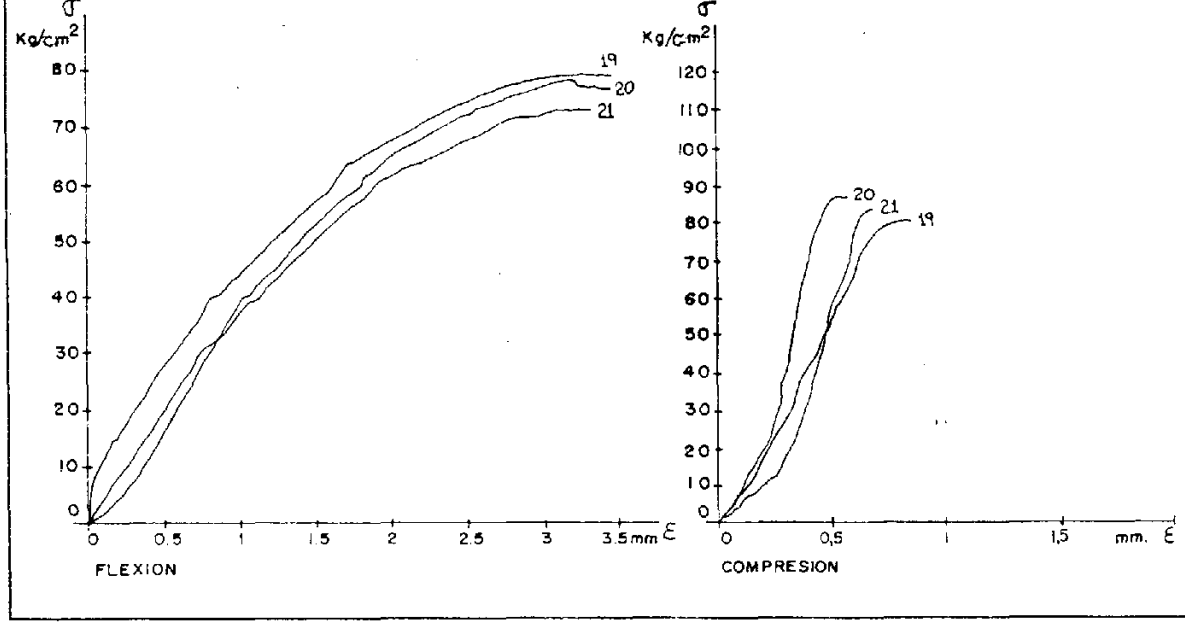
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FA 19	FA 20	FA 21
CAMARA HUMEDA			
	384,7	384,4	381,5
	381,3	381,5	378,2
	380,7	381,0	377,3
	380,3	380,5	376,8
ESTUFA 40°C	321,8	329,0	325,8
	253,3	253,1	251,3

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	80,75	78,75	72,75
VALOR MEDIO	77,29		
COMPRESION	86,25	97,18	93,62
VALOR MEDIO	92,35		

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



FIBRA DE POLIESTER (NUREL)

COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIESTER (NUREL)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,8		
CANTIDAD ESCAYOLA	750 gr.		
CANTIDAD ADICION	3,75 gr. ..... gr.	0,5	%

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

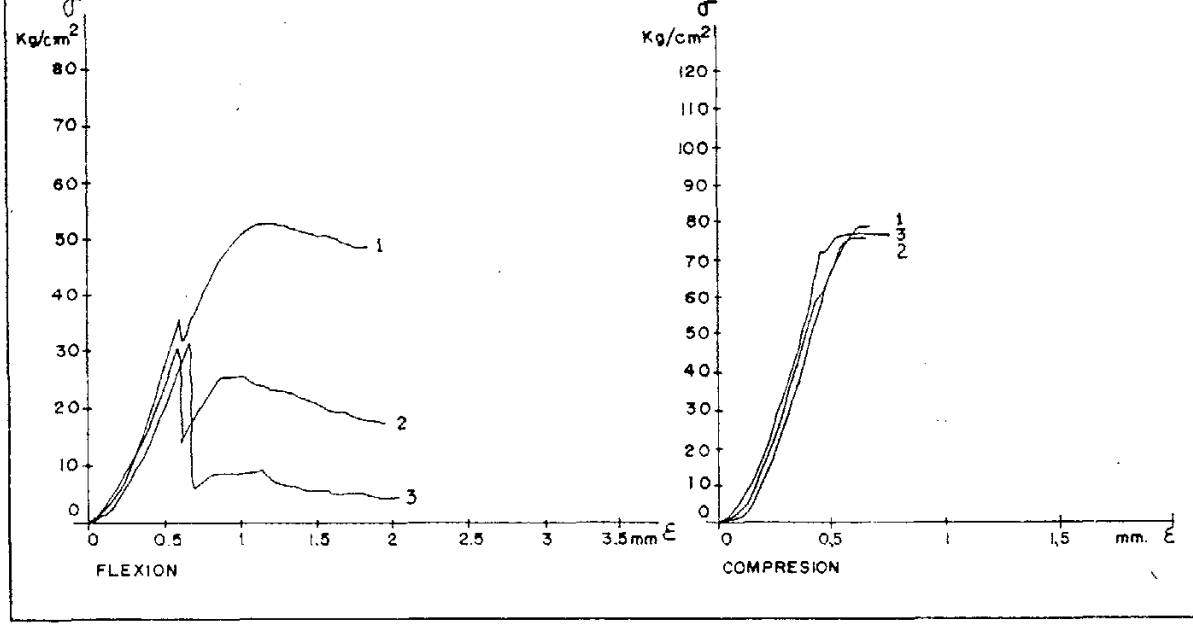
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FP 1	FP 2	FP 3
CAMARA HUMEDA			
	387,1	387,8	383,4
	384,9	385,8	381,1
	383,9	385,2	380,3
	382,3	384,1	378,3
	381,8	383,7	378,0
ESTUFA 40°C	378,2	381,6	374,6
	255,5	319,2	289,2
	252,9	252,7	249,2

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	50,0	30,5	33,5
VALOR MEDIO	38,0		
COMPRESION	77,81	74,62	77,18
VALOR MEDIO	76,54		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIESTER (NUREL)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,8			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	7,5	gr.....	1	%
		gr.....		

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

PESOS PARCIALES

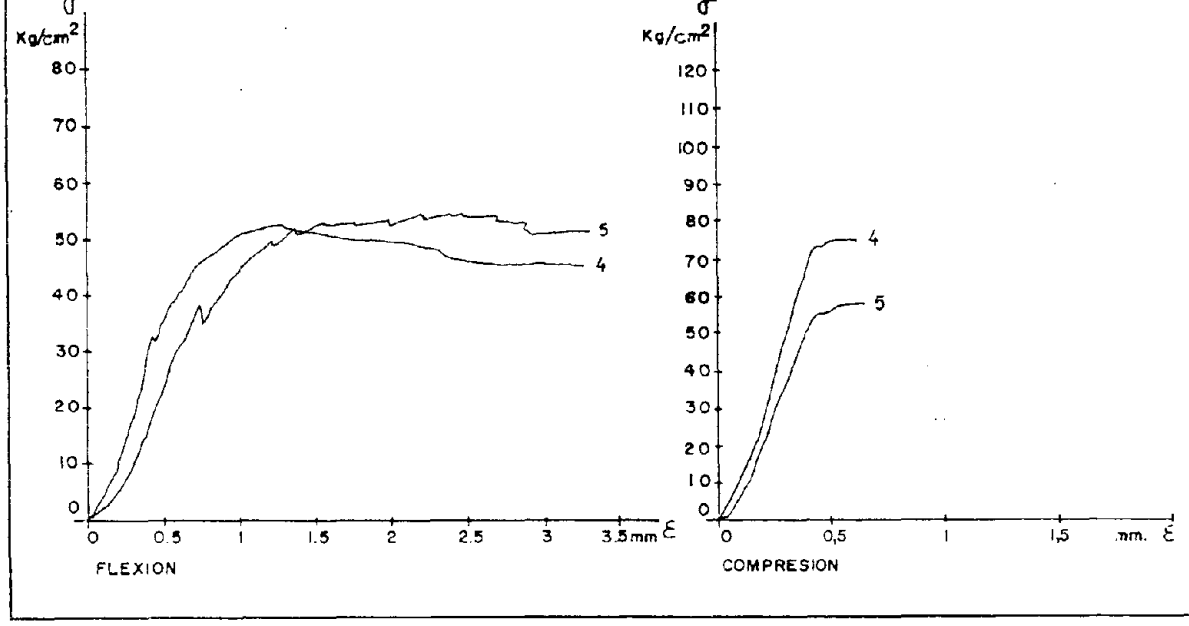
Nº DIAS	SERIE		
	FP 4	FP 5	FP 6
CAMARA HUMEDA			
	389,6	381,8	-
	384,6	377,2	-
	383,9	376,8	-
	383,2	376,1	-
	382,9	375,8	-
ESTUFA 40°C	380,8	374,6	-
	329,2	258,3	-
	246,3	257,0	-

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	50,0	52,25	-
VALOR MEDIO		51,12	
COMPRESION	73,68	55,87	-
VALOR MEDIO		73,68	

FP 6 Coqueras en compactación FP 5, compresión coqueras superficiales

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ: E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIESTER (NUREL)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,8			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	11,25	gr.	1,5	%
		gr.		

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

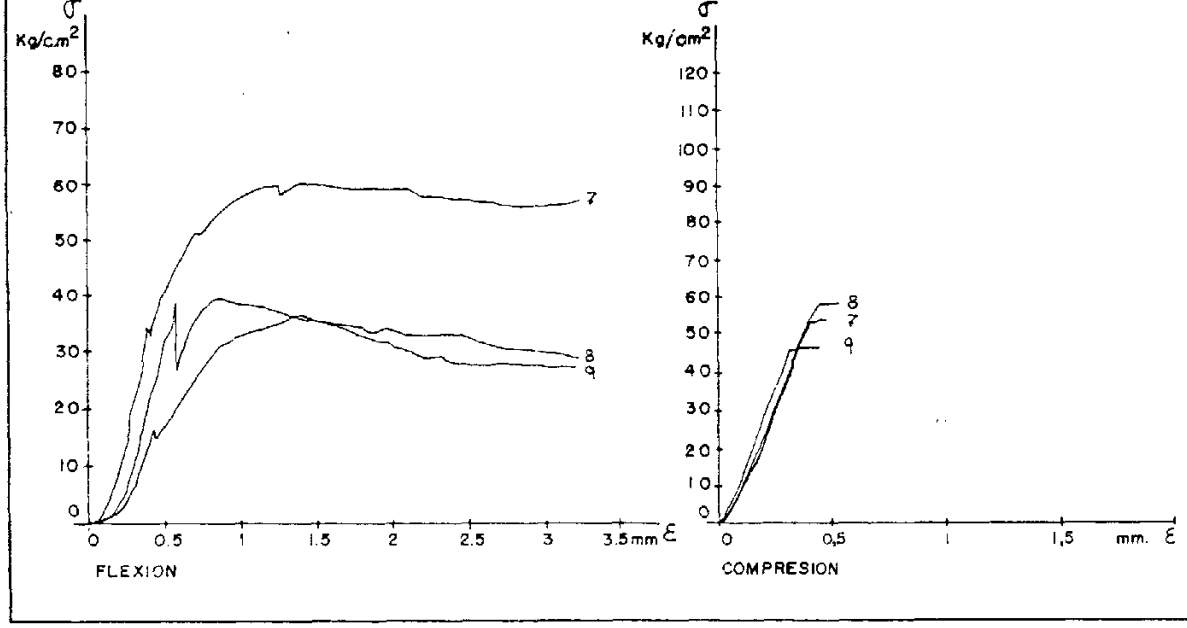
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FP 7	FP 8	FP 9
CAMARA HUMEDA			
	380,2	378,8	396,3
	378,1	377,5	394,2
	376,7	376,5	393,1
	373,7	375,9	390,8
	373,2	375,6	390,5
ESTUFA 40°C	370,5	374,3	388,1
	246,2	239,7	295,4
	245,7	239,4	263,9

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
		coqueras internas	mala distribución fibra
FLEXION	58,5	34,5	36,25
VALOR MEDIO	58,5		
COMPRESION	53,75	57,50	47,12
VALOR MEDIO	52,79		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIESTER (NUREL)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,8			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	15	gr.....	2	%
		gr.....		

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

PESOS PARCIALES

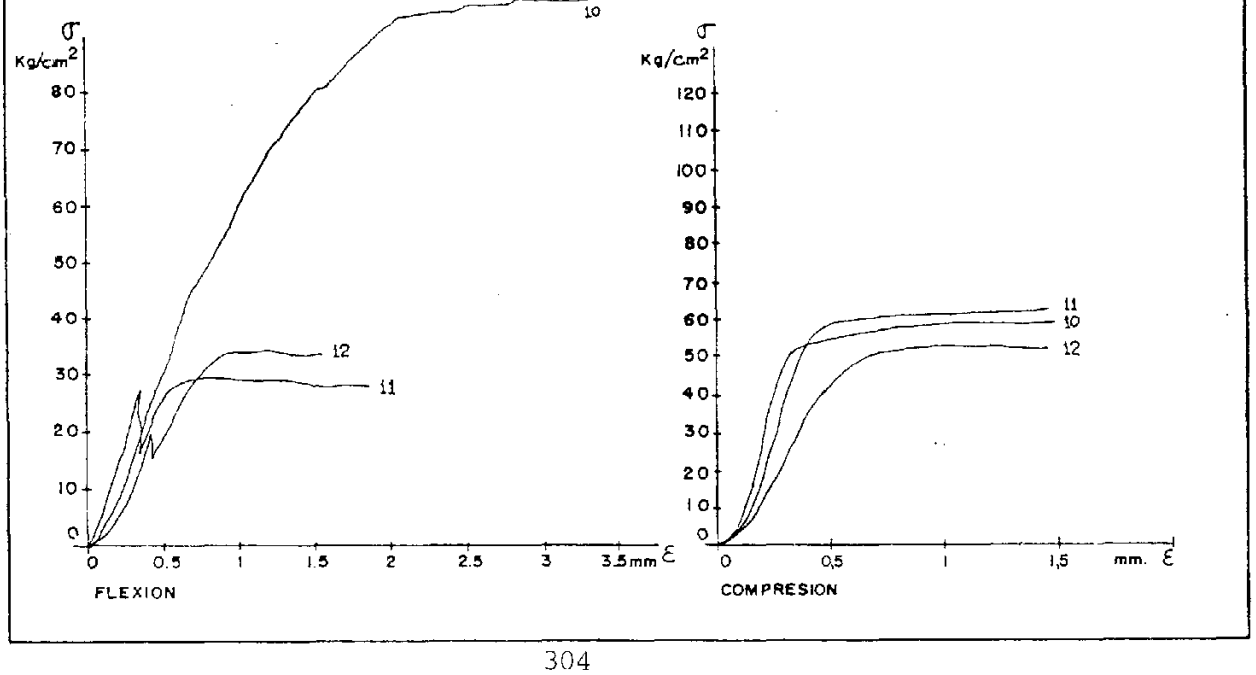
Nº DIAS	SERIE		
	FP 10	FP 11	FP 12
CAMARA HUMEDA			
	394,0	389,1	385,5
	390,8	386,4	383,2
	390,2	386,1	382,3
	389,7	385,7	382,1
	386,9	383,7	379,9
ESTUFA 40°C	312,9	279,9	335,5
	263,3	254,2	246,7

Probetas FP 11 y FP 12 con falta de compactación

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
		mala distribución fibra	mala distribución fibra
FLEXION	93,0	28,25	33,0
VALOR MEDIO	93,0		
COMPRESION	57,62	62,81	58,12
VALOR MEDIO	59,52		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)

E. T. S. A. de M.
BIBLIOTECA

COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,8			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	3,75	gr.....	0,5	%
		gr.....		

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

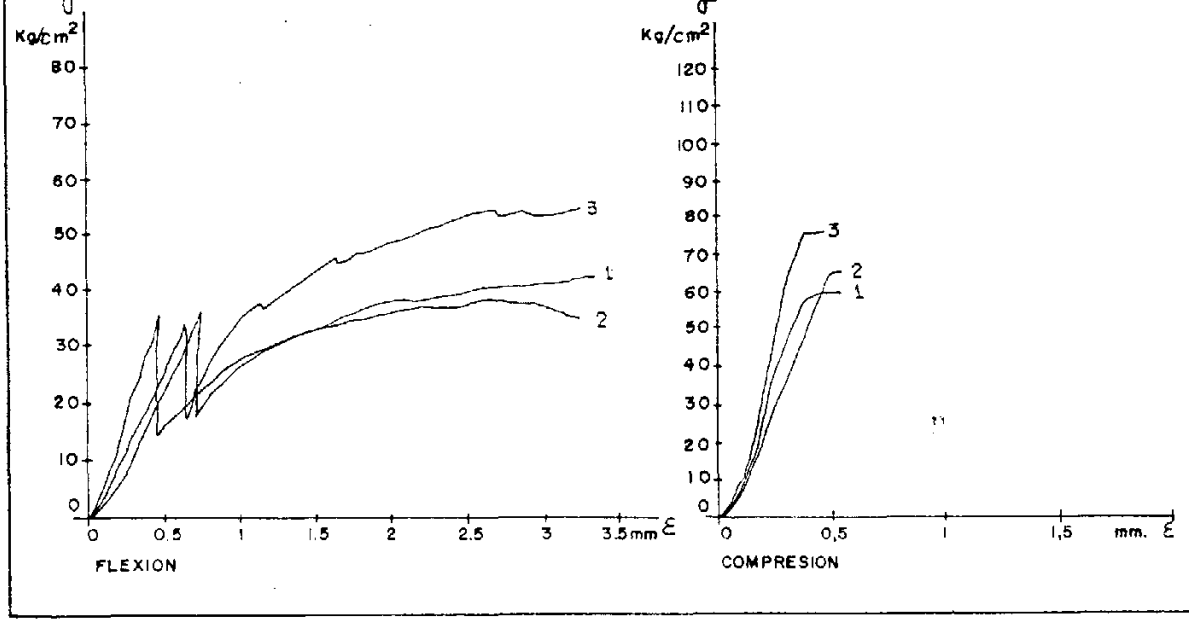
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FPP 1	FPP 2	FPP3
CAMARA HUMEDA			
	383,2	381,1	386,0
	380,8	378,7	383,1
	380,1	378,0	382,1
	378,5	376,6	380,4
	378,0	376,2	380,0
ESTUFA 40°C	374,9	374,0	376,7
	334,5	325,7	311,3
	245,5	243,0	254,5

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	41,0	37,25	52,75
VALOR MEDIO		43,66	
COMPRESION	60,37	66,06	76,6
VALOR MEDIO		67,50	

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,8		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	7,5	gr.....	1 %
		gr.....	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

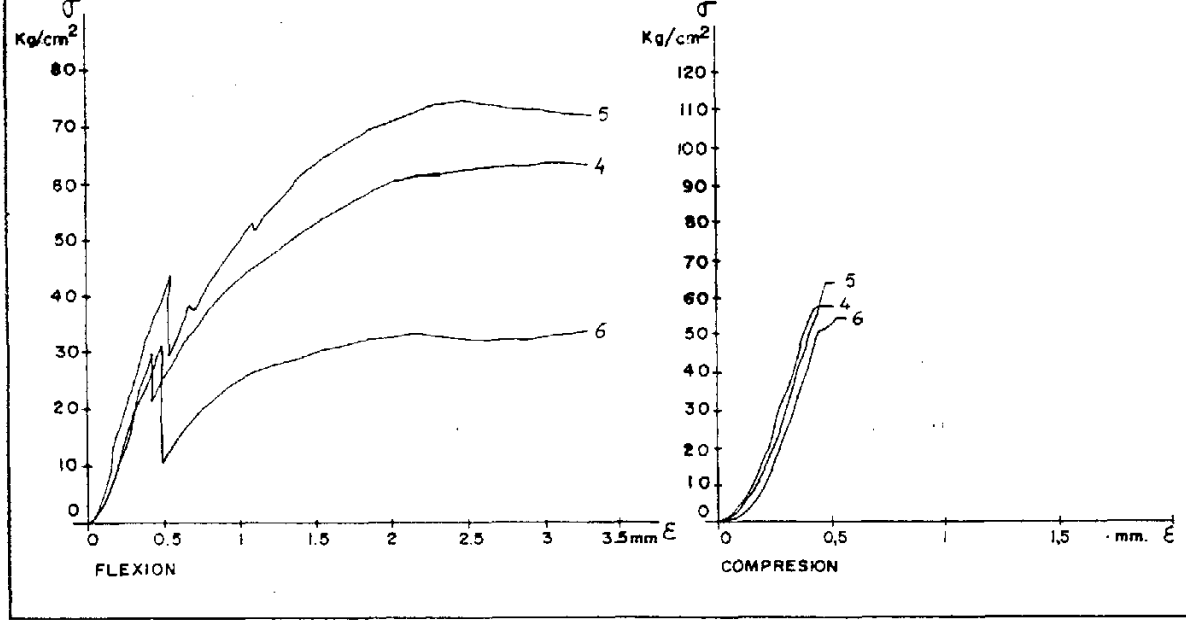
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FPP 4	FPP 5	FPP 6
CAMARA HUMEDA			
	382,6	387,9	380,6
	380,0	385,0	377,7
	379,3	384,6	377,0
	378,1	383,6	375,5
	377,8	383,4	375,1
ESTUFA 40°C	375,8	382,6	373,2
	303,0	349,8	322,8
	249,4	257,5	243,6

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	62,0	72,25	32,5
VALOR MEDIO		55,58	
COMPRESION	58,87	64,68	55,62
VALOR MEDIO		59,72	

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L
ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,8			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	11,25	gr.....	1,5	%
		gr.....		

NORMAS SOBRE ENSAYOS

R.Y. 85
UNE 102031

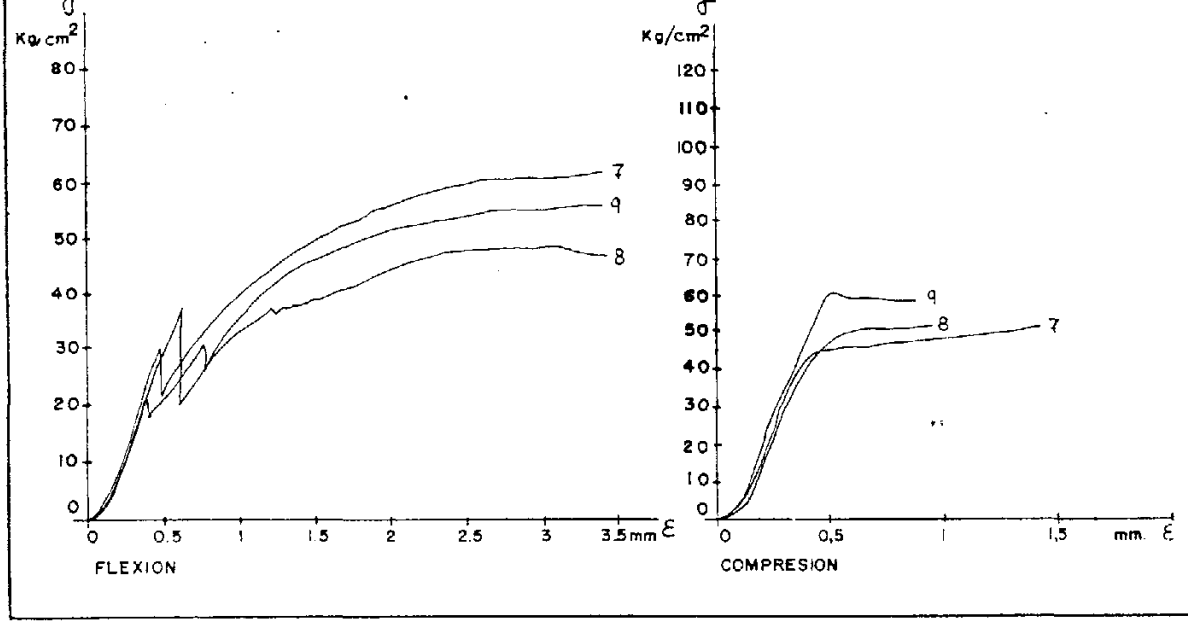
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	S E R I E		
	FPP 7	FPP 8	FPP 9
CAMARA HUMEDA			
	382,4	381,0	383,1
	378,5	377,6	379,3
	377,7	377,0	378,5
	375,4	375,7	376,9
	375,1	375,4	376,6
ESTUFA 40°C	373,0	374,6	374,7
	351,1	344,6	340,0
	245,5	244,4	248,1

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	S E R I E		
FLEXION	54,25	46,25	53,50
VALOR MEDIO		51,33	
COMPRESION	51,87	51,87	60,31
VALOR MEDIO		54,68	

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,8			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	15	gr.....	2	%
		gr.....		

NORMAS SOBRE ENSAYOS

R.Y. 85

UNE 102031

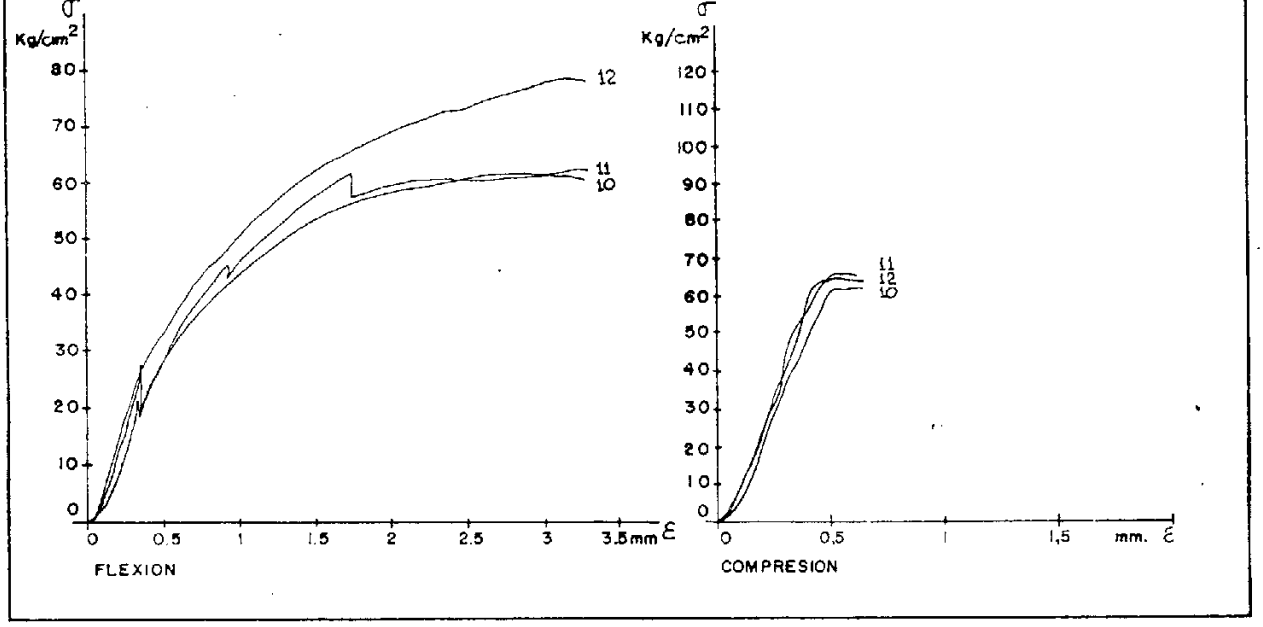
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	S E R I E		
	FPP 10	FPP 11	FPP 12
CAMARA HUMEDA			
	382,3	385,9	384,4
	377,7	380,7	379,3
	377,0	380,5	378,8
	376,2	380,3	378,0
	375,9	380,1	377,8
ESTUFA 40°C	374,7	379,1	376,2
	365,1	365,6	290,2
	244,6	261,4	247,8

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	S E R I E		
FLEXION	59,50	59,75	75,75
VALOR MEDIO		65,0	
COMPRESION	62,50	65,81	63,93
VALOR MEDIO		64,08	

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,8			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	18,75	gr.....	2,5	%
		gr.....		

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

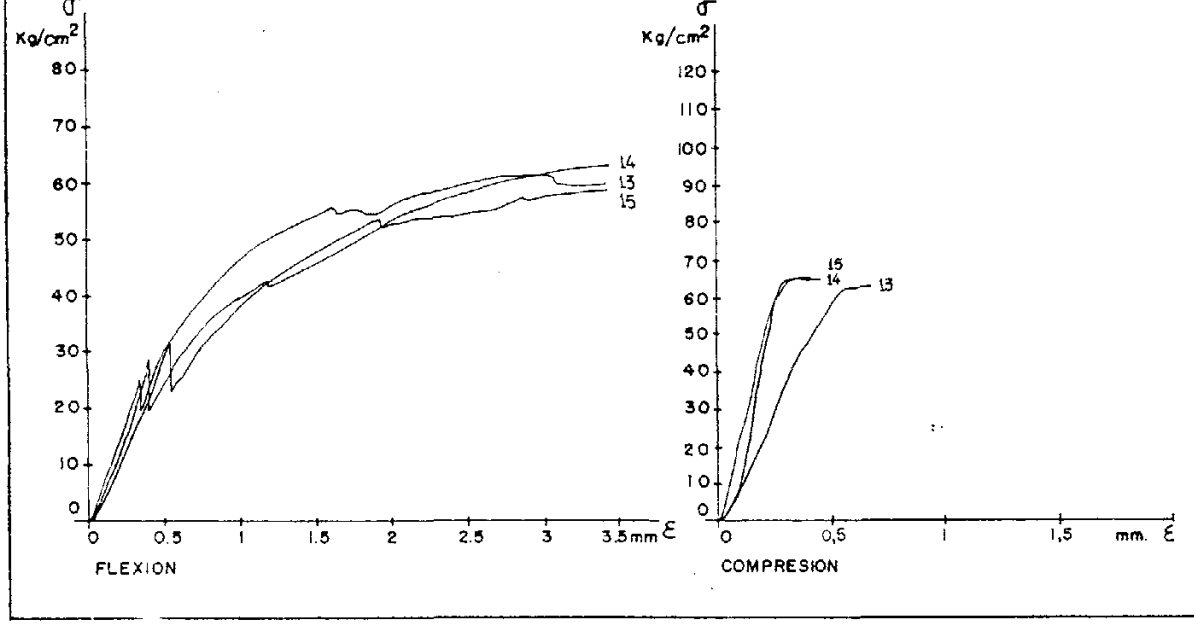
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FPP 13	FPP 14	FPP 15
CAMARA HUMEDA			
	385,5	381,8	378,6
	381,7	378,0	374,9
	380,8	377,2	373,9
	379,5	376,3	372,4
	379,1	376,0	372,1
ESTUFA 40°C	376,9	374,4	369,2
	351,2	351,4	314,4
	272,8	264,5	263,8

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	60,75	61,25	58,75
VALOR MEDIO	60,25		
COMPRESION	60,75	64,0	64,31
VALOR MEDIO	63,02		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



8.3.3. Yeso con dispersiones. Ensayos de flexotracción y compresión con probetas prismáticas.

Se utiliza escayola E·35·L de Escayolas Marín y los tipos de dispersiones poliméricas seleccionadas.

Se comprueba la influencia de cada dispersión sobre los valores de resistencia mecánica del conjunto, en relación a los porcentajes crecientes de adición, con relaciones agua-yeso de 0,7 debido a su efecto plastificante.

Se realizan gráficas de tensión-deformación para cada porcentaje de adición, dibujándose superpuestas en el resumen de resultados de cada dispersión.

Las probetas se numeran correlativamente según el orden de fabricación para cada tipo de adición, denominándose con las siguientes iniciales según la dispersión que contengan.

DM: Policondensado de melamina-formaldehido.

DAP: Dispersión de acetato de polivinilo.

DA: Dispersión copolímera a base de esteres de ácido acrílico.

POLICONDENSADO DE MELAMINA Y FORMALDEHIDO

(MELMENT F. 10)

COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ: E-35-L

ADICION: POLICONDENSADO DE MELAMINA Y FORMALDEHIDO (MELMENT F. 10)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	1,875	gr.....	0,25 %
		gr.....	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

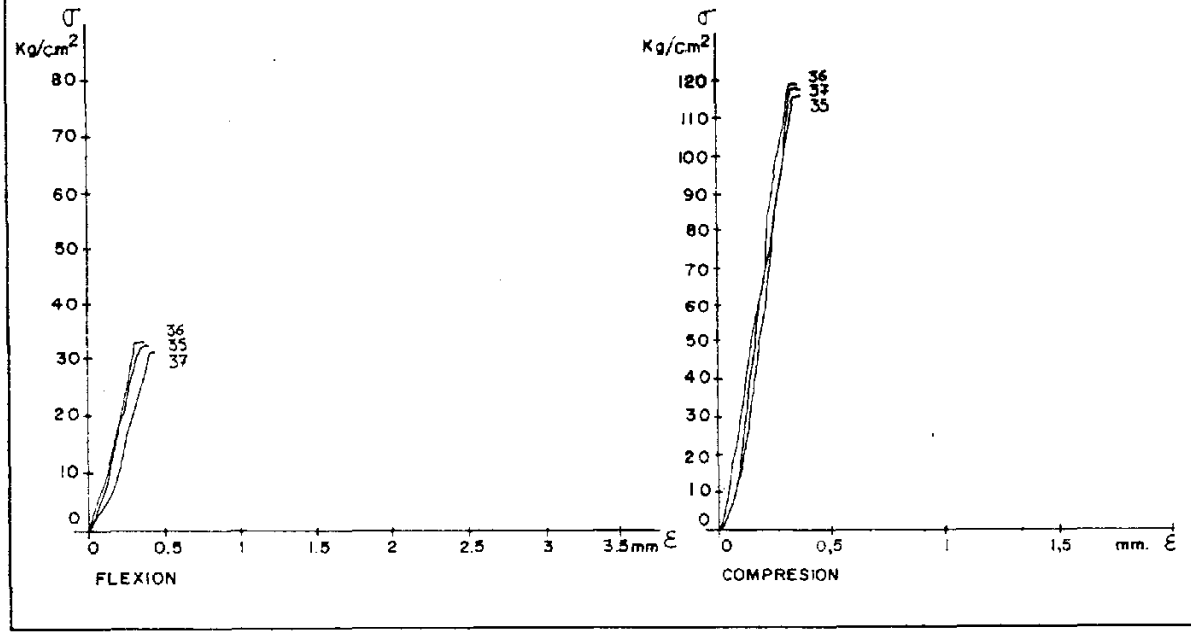
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	DM 35	DM 36	DM 37
CAMARA HUMEDA			
	406,8	398,7	394,9
	401,1	392,9	389,2
	400,2	392,5	388,6
	398,9	391,7	397,6
	398,2	391,2	386,7
ESTUFA 40°C	279,5	271,3	267,3
	275,1	269,4	266,9
	275,0	269,3	266,8

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	30,75	32,5	30
VALOR MEDIO		31,08	
COMPRESION	117,75	119,5	118,81
VALOR MEDIO		118,69	

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: POLICONDENSADO DE MELAMINA Y FORMALDEHIDO (MELMENT F.10)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	2,8129	gr.....	0,375	%
		gr.....		

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

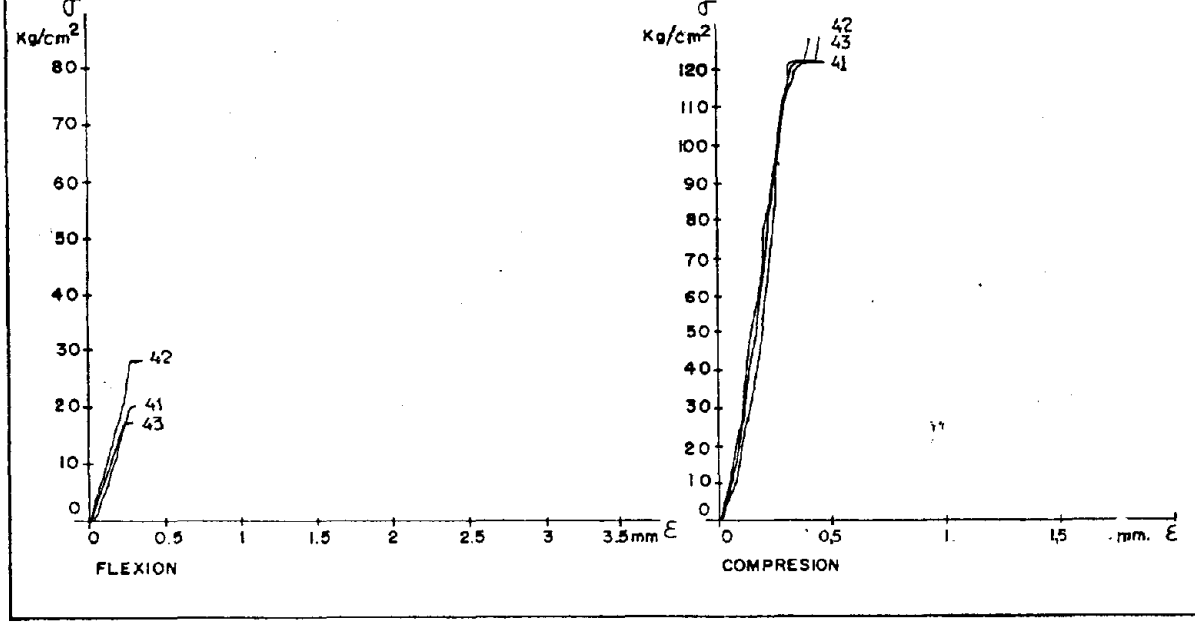
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	DM 41	DM 42	DM 43
CAMARA HUMEDA			
	399,5	397,8	397,2
	395,7	394,3	394,1
	395,2	394,0	393,5
	394,5	393,4	392,9
	393,6	392,7	391,8
ESTUFA 40°C	392,9	392,4	391,4
	361,4	330,6	318,2
	278,1	275,3	275,5

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	19	26,75	18,0
VALOR MEDIO	21,15		
COMPRESION	120,63	>125	>125
VALOR MEDIO	125		

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: POLICONDENSADO DE MELAMINA Y FORMALDEHIDO (MELMENT F.10)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	3,75	gr.....	0,5 %
		gr.....	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

PESOS PARCIALES

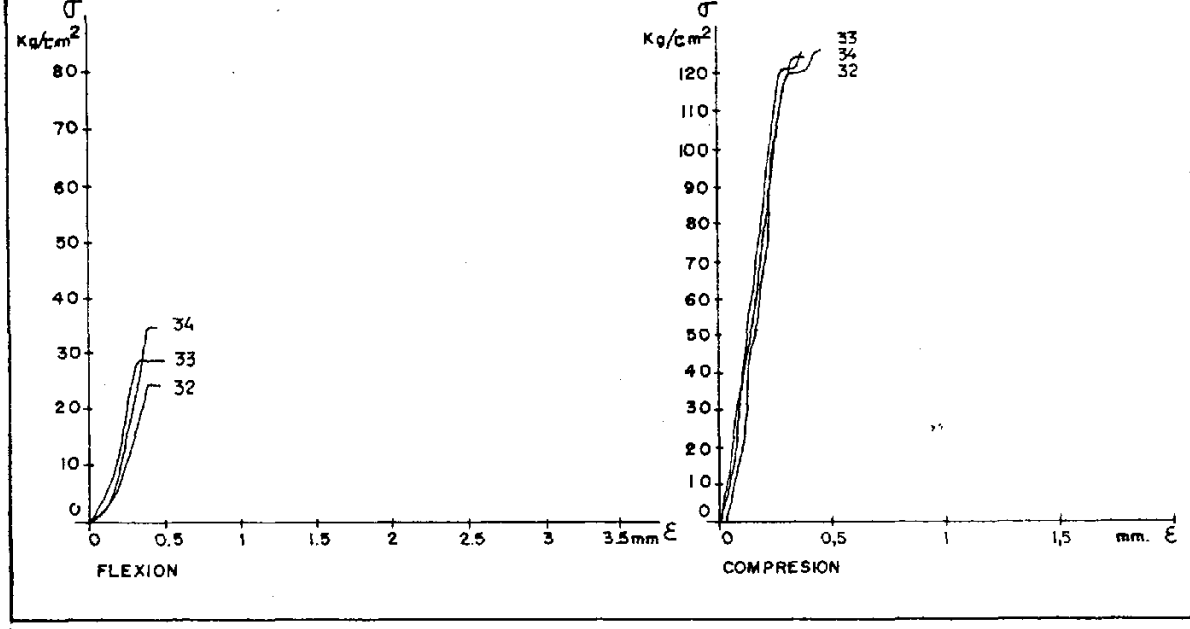
Nº DIAS	SERIE		
	DM 32	DM 33	DM 34
CAMARA HUMEDA			
	400,5	406,6	409,3
	395,3	400,9	403,7
	394,3	400,3	403,1
	393,1	399,6	402,2
	392,1	398,6	400,9
ESTUFA 40°C	256,1	293,2	293,1
	293,9	286,9	288,8
	283,7	286,7	288,6

DM 32 PERDIDA DE MASA Y RECONSTITUCION

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	23,75	28,75	33,25
VALOR MEDIO	31		
COMPRESION	123,75	124,87	124,06
VALOR MEDIO	124,23		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L
ADICION: POLICONDENSADO DE MELAMINA Y FORMALDEHIDO (MELMENT F.10)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	4,6875	gr.	
		gr.	0,625 %
		gr.	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85
UNE 102031

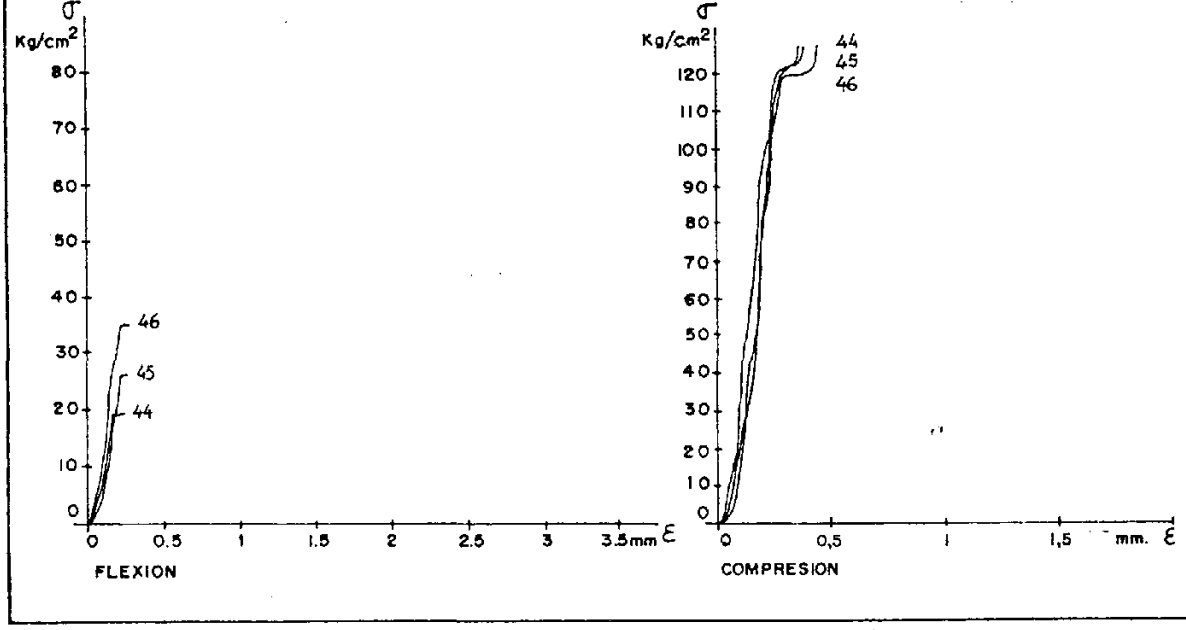
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	DM 44	DM 45	DM 46
CAMARA HUMEDA			
	397,7	399,6	398,4
	394,7	396,9	396,0
	394,3	396,6	395,5
	393,6	396,1	394,9
	393,1	395,8	394,3
ESTUFA 40°C	392,6	395,4	393,9
	363,0	338,8	333,0
	273,5	275,0	273,6

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	19,75	28,25	33,0
VALOR MEDIO	30,62		
COMPRESION	>125	>125	>125
VALOR MEDIO	>125		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: POLICONDENSADO DE MELAMINA Y FORMALDEHIDO (MELMENT F.10)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	5,625	gr.....	0,75	%
		gr.....		

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

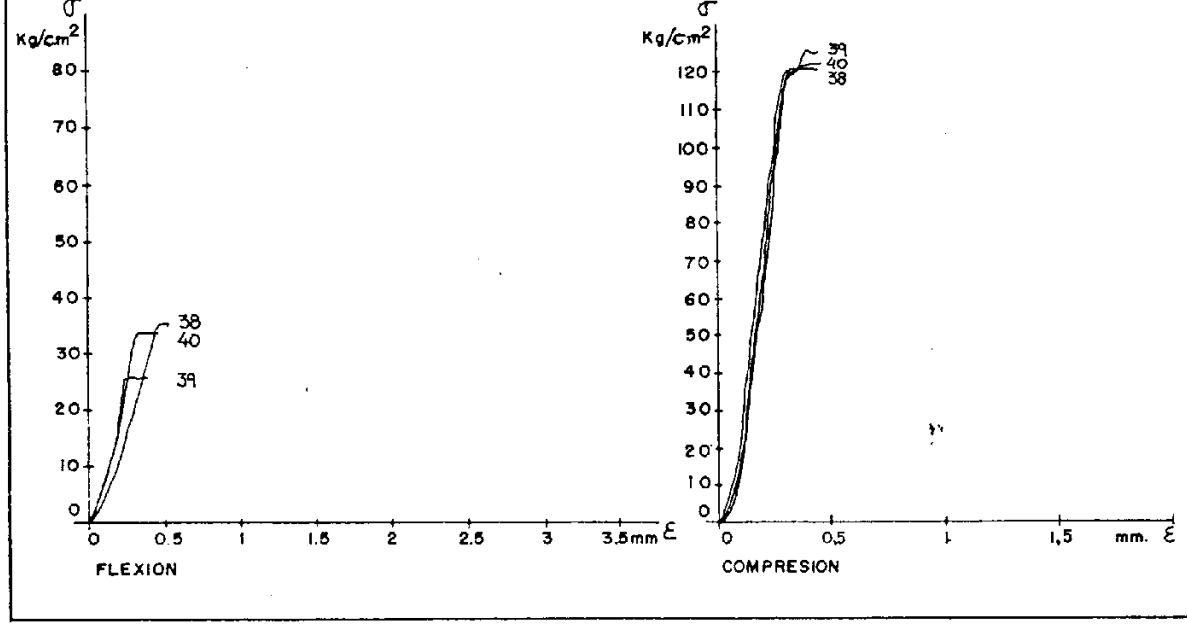
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	DM 38	DM 39	DM 40
CAMARA HUMEDA			
	399,3	404,3	403,5
	395,6	400,6	400,0
	394,8	400,3	399,4
	393,5	399,4	398,4
	392,8	398,9	397,5
ESTUFA 40°C	281,2	280,1	278,1
	272,9	276,3	275,7
	272,8	276,2	275,6

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	34,75	24,5	34,25
VALOR MEDIO	31,16		
COMPRESION	120,12	123,56	121,5
VALOR MEDIO	121,72		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L
ADICION: POLICONDENSADO DE MELAMINA Y FORMALDEHIDO (MELMENT F.10)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	6,5625	gr.....	0,875 %
		gr.....	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85
UNE 102031

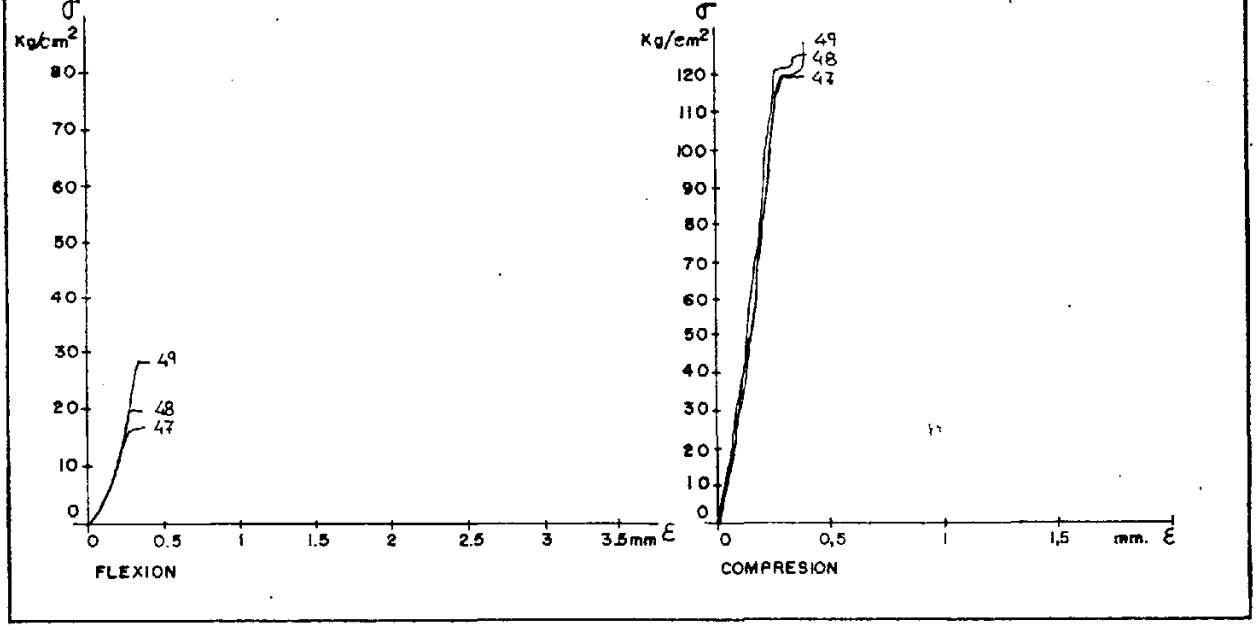
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	DM 47	DM 48	DM 49
CAMARA HUMEDA			
	399,4	402,0	401,1
	395,0	398,1	397,4
	394,4	397,7	396,8
	393,5	396,9	395,8
	392,4	396,3	394,9
ESTUFA 40°C	391,6	395,5	394,2
	323,0	326,5	297,2
	277,7	277,9	277,2

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	17,25	19,75	28
VALOR MEDIO	21,66		
COMPRESION	117,37	123,87	> 125
VALOR MEDIO	122,08		

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION : POLICONDENSADO DE MELAMINA Y FORMALDEHIDO (MELMENT F.10)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	7,5	gr.....	1 %
		gr.....	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

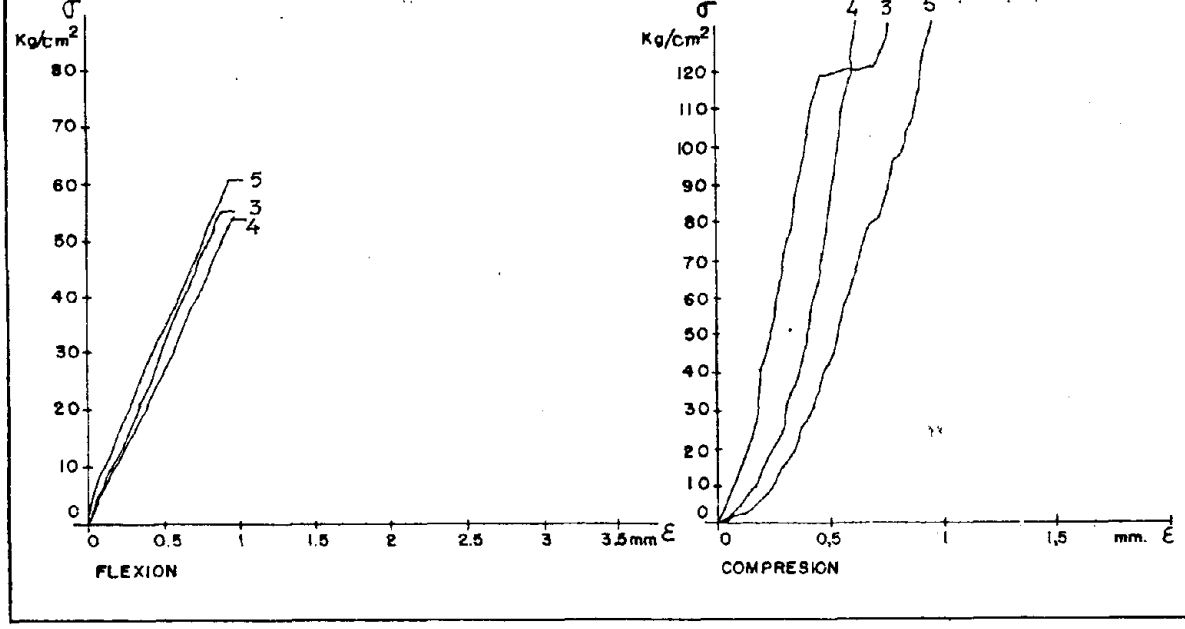
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	DM 3	DM 4	DM 5
CAMARA HUMEDA			
	396,4	396,4	397,8
	-	-	-
	392,4	392,7	393,8
	392,0	392,4	393,3
	397,1	397,8	398,7
ESTUFA 40°C	323,6	326,7	324,2
	271,7	272,5	272,6
	270,5	270,9	271,8

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	62,75	55,5	55,25
VALOR MEDIO	57,83		
COMPRESION	>125	>125	>125
VALOR MEDIO	>125		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION : POLICONDENSADO DE MELAMINA Y FORMALDEHIDO (MELMENT F.10)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	11,25	gr.....	1,5	%
		gr.....		

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

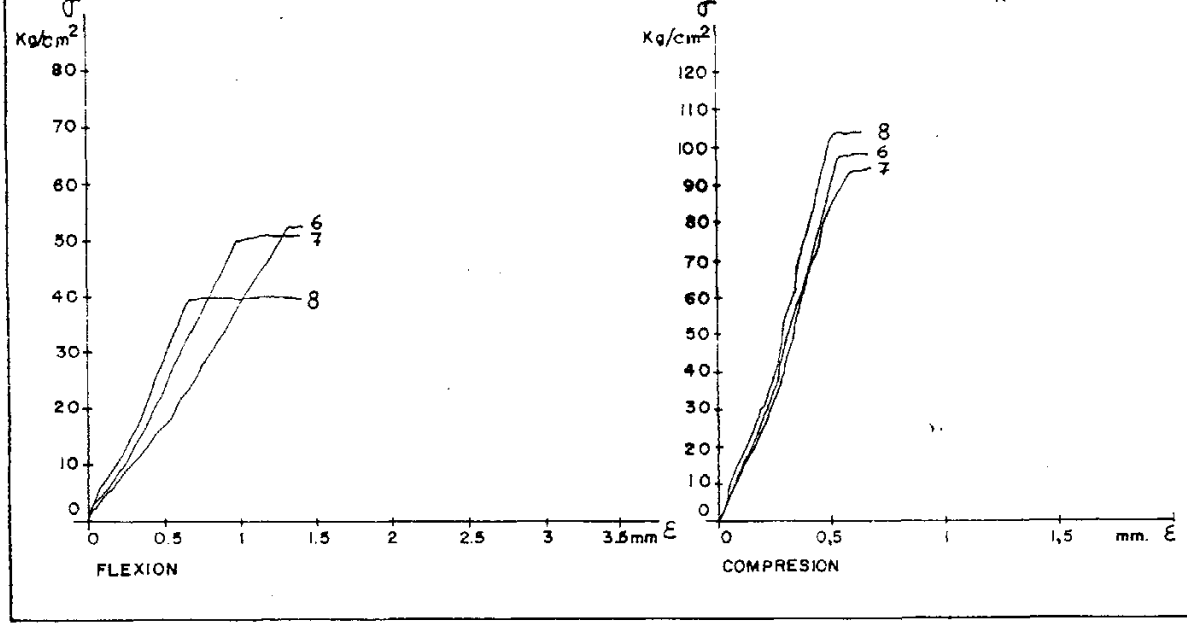
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	DM 6	DM 7	DM 8
CAMARA HUMEDA			
	395,1	401,9	400,7
	-	-	-
	389,0	394,2	395,3
	388,5	393,8	395,0
	395,0	393,5	394,2
ESTUFA 40°C	319,1	328,2	317,3
	271,9	277,2	277,0
	271,6	276,0	277,0

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	52,3	50,9	40,0
VALOR MEDIO	47,66		
COMPRESION	99,12	95,62	106,25
VALOR MEDIO	100,33		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: POLICONDENSADO DE MELAMINA Y FORMALDEHIDO (MELMENT F.10)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	15	gr.	2 %
		gr.	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

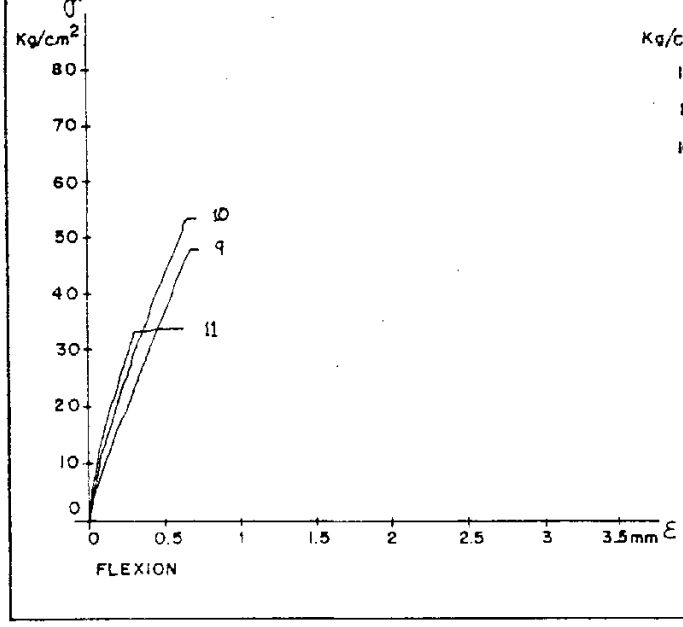
PESOS PARCIALES

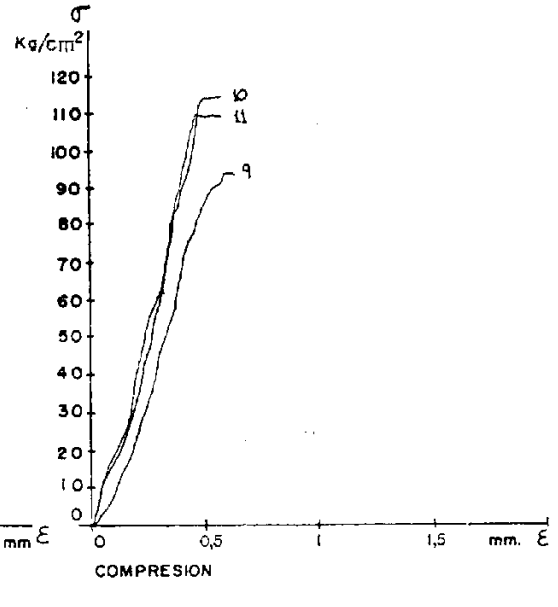
Nº DIAS	SERIE		
	DM 9	DM 10	DM 11
CAMARA HUMEDA			
	401,2	400,7	398,3
	–	–	–
	396,8	396,8	394,5
	396,3	396,3	394,1
	397,7	397,8	395,1
ESTUFA 40°C	323,8	322,9	303,9
	275,9	275,3	272,8
	274,9	274,6	272,7

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	47,0	52,5	32,25
VALOR MEDIO	43,91		
COMPRESION	96,87	117,12	111,68
VALOR MEDIO	108,56		

GRAFICA TENSION – DEFORMACION





COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ: E-35-L
ADICION: POLICONDENSADO DE MELAMINA Y FORMALDEHIDO (MELMENT F. 10)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	18,75	gr.....	2,5 %
		gr.....	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85
UNE 102031

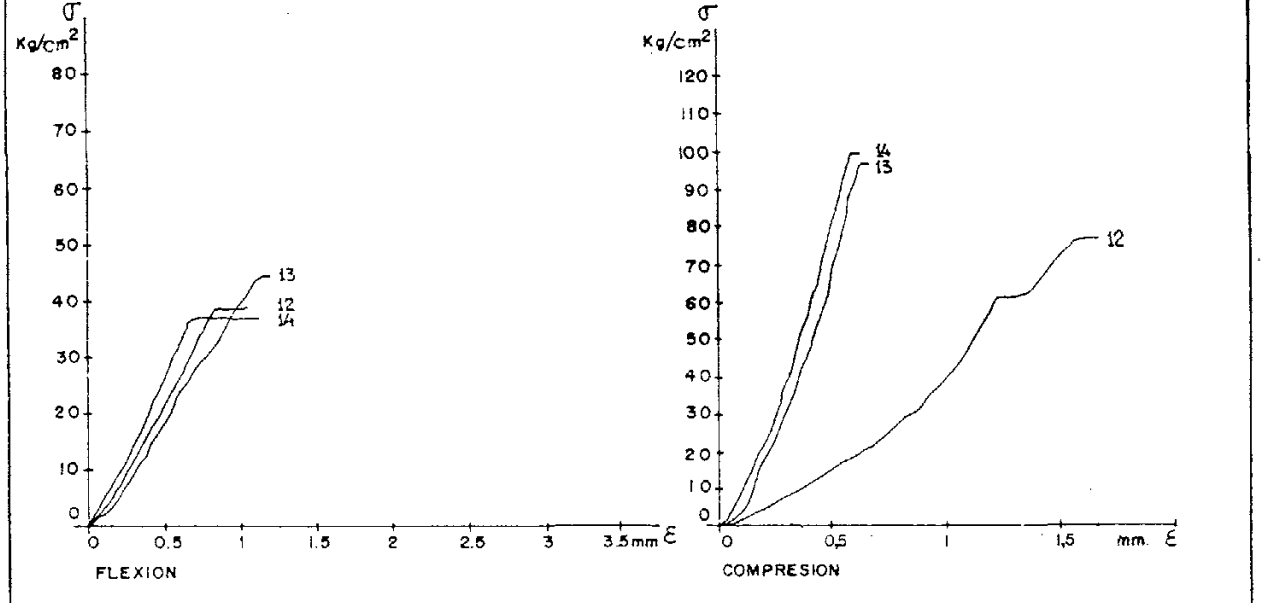
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	DM 12	DM 13	DM 14
CAMARA HUMEDA			
	396,8	398,5	405,8
	392,0	393,5	400,8
	390,9	392,4	399,7
	390,2	391,8	399,3
	-	-	-
ESTUFA 40°C	359,8	391,6	398,8
	309,8	309,3	313,2
	272,0	273,0	279,0

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	37,75	44,75	36,75
VALOR MEDIO	39,75		
COMPRESION	76,87	96,87	99,68
VALOR MEDIO	91,14		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION : POLICONDENSADO DE MELAMINA Y FORMALDEHIDO (MELMENT F. 10)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	22,5	gr.....	3 %
		gr.....	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

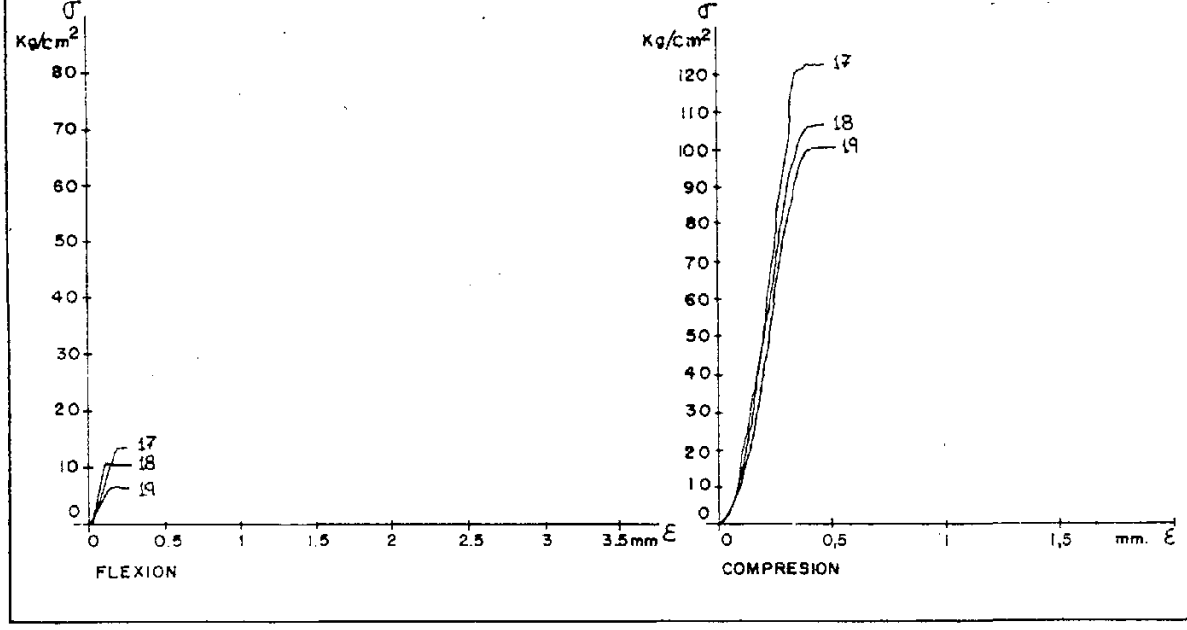
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	DM 17	DM 18	DM 19
CAMARA HUMEDA			
	400,7	401,4	400,6
	403,4	404,0	403,5
	402,8	403,6	403,1
	402,5	403,2	402,6
	402,1	402,8	402,3
ESTUFA 40°C	-	-	
	276,3	276,8	276,6
	275,8	276,2	270,0

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	12	10	5,05
VALOR MEDIO	11		
COMPRESION	122,5	118,31	103,93
VALOR MEDIO	114,91		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: POLICONDENSADO DE MELAMINA Y FORMALDEHIDO (MELMENT F. 10)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	26,25	gr.....	3,5	%
		gr.....		

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

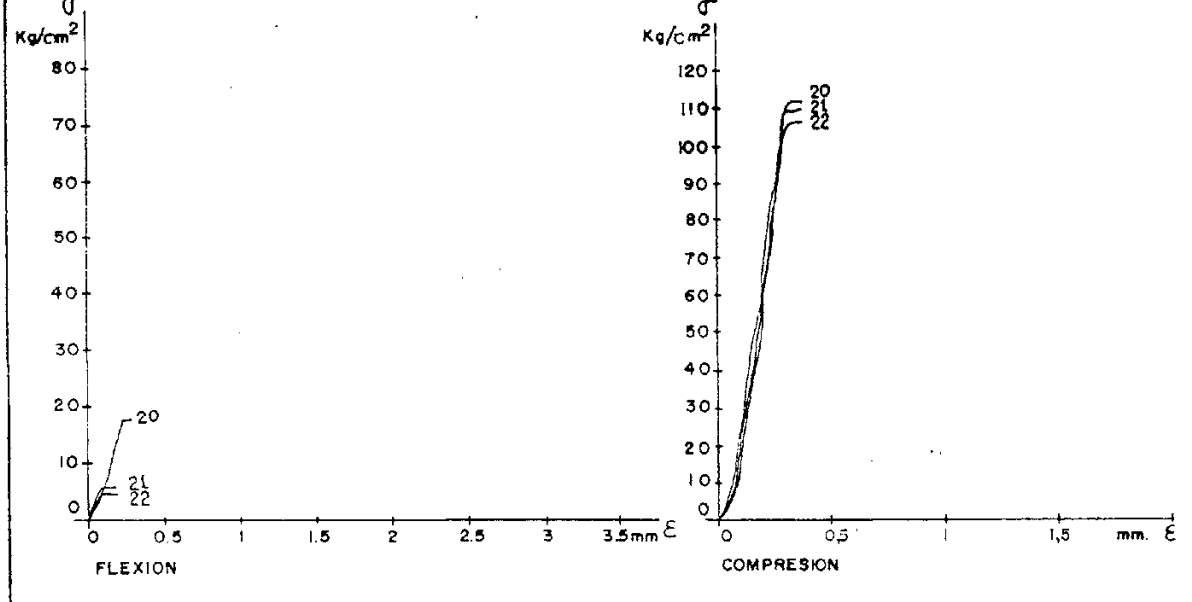
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	S E R I E		
	DM 20	DM 21	DM 22
CAMARA HUMEDA			
	402,7	402,7	402,8
	404,2	404,4	404,5
	403,8	404,1	404,2
	403,5	403,8	403,8
	403,0	403,3	403,4
ESTUFA 40°C	--	--	
	277,8	278,4	278,4
	277,3	277,3	277,5

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	S E R I E		
FLEXION	17,5	6,75	6
VALOR MEDIO	10,08		
COMPRESION	106,43	110,12	110
VALOR MEDIO	108,85		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ: E-35-L

ADICION: POLICONDENSADO DE MELAMINA Y FORMALDEHIDO (MELMENT F. 10)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	30	gr.....	4 %
		gr.....	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

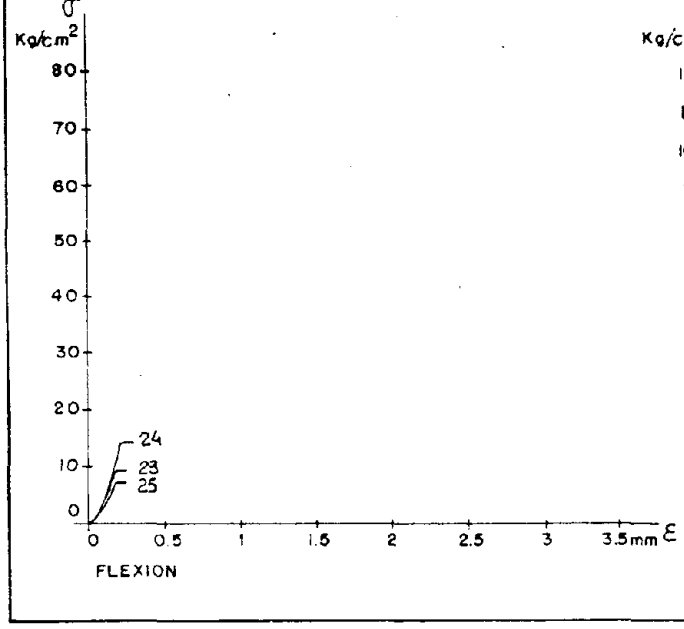
PESOS PARCIALES

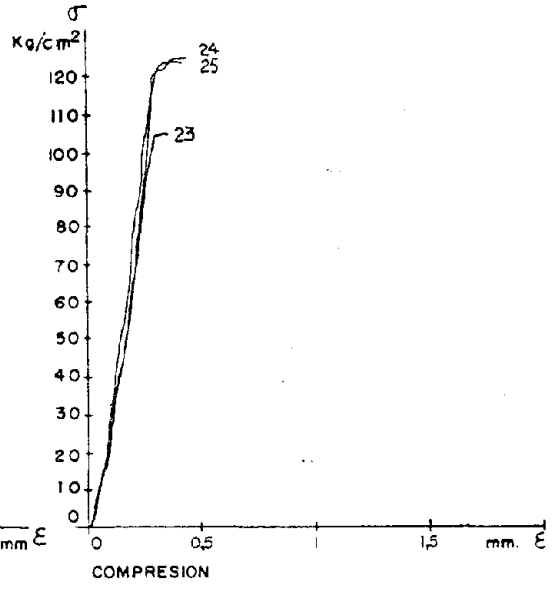
Nº DIAS	SERIE		
	DM 23	DM 24	DM 25
CAMARA HUMEDA			
	401,0	401,3	401,7
	402,9	403,1	403,4
	402,4	402,8	403,0
	402,2	402,4	402,7
	401,8	402,1	402,5
ESTUFA 40°C	-		
	276,8	277,1	277,3
	275,8	275,9	276,2

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	9,75	13,25	7
VALOR MEDIO	10		
COMPRESION	104,81	124,43	123,31
VALOR MEDIO	117,52		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION





COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: POLICONDENSADO DE MELAMINA Y FORMALDEHIDO (MELMENT F. 10)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	33,75	gr.....	4,5	%
		gr.....		

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

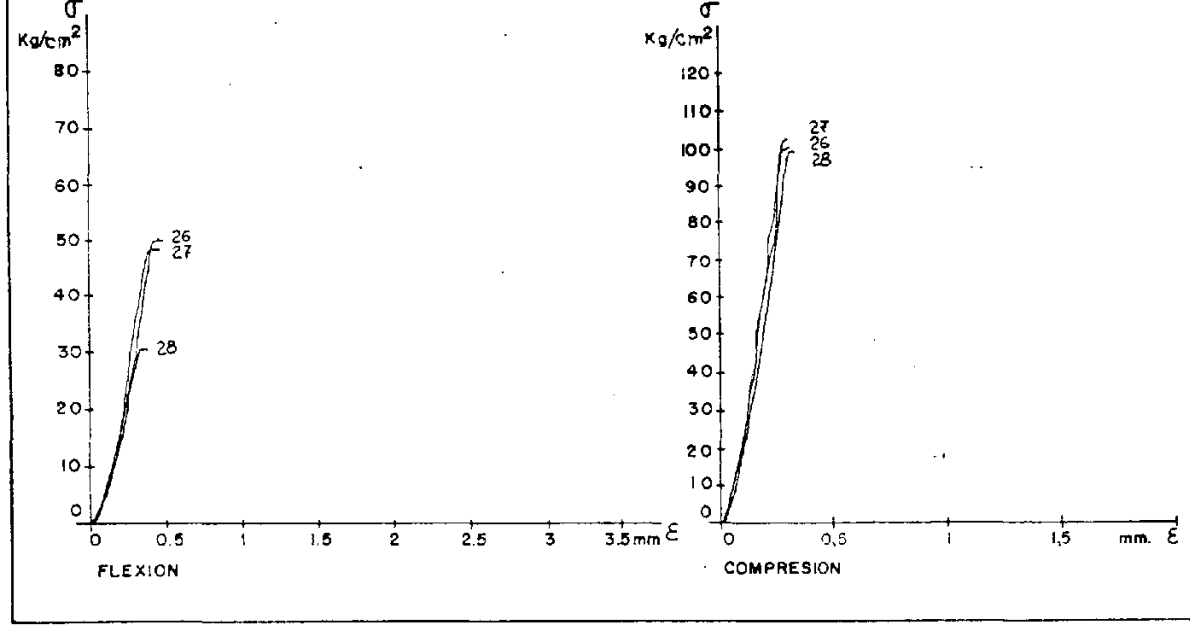
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	DM 26	DM 27	DM 28
CAMARA HUMEDA			
	404,6	404,0	406,1
	402,8	402,3	404,2
	401,6	400,7	402,9
	401,2	400,4	402,6
	400,3	399,6	401,6
ESTUFA 40°C	328,9	329,6	321,8
	298,2	299,3	294,6
	278,5	278,3	280,1

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	52,5	49,25	29,5
VALOR MEDIO	43.75		
COMPRESION	100,18	103,62	99,25
VALOR MEDIO	101,02		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: POLICONDENSADO DE MELAMINA Y FORMALDEHIDO (MELMENT F.10)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	37,5	gr.....	5	%
		gr.....		

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

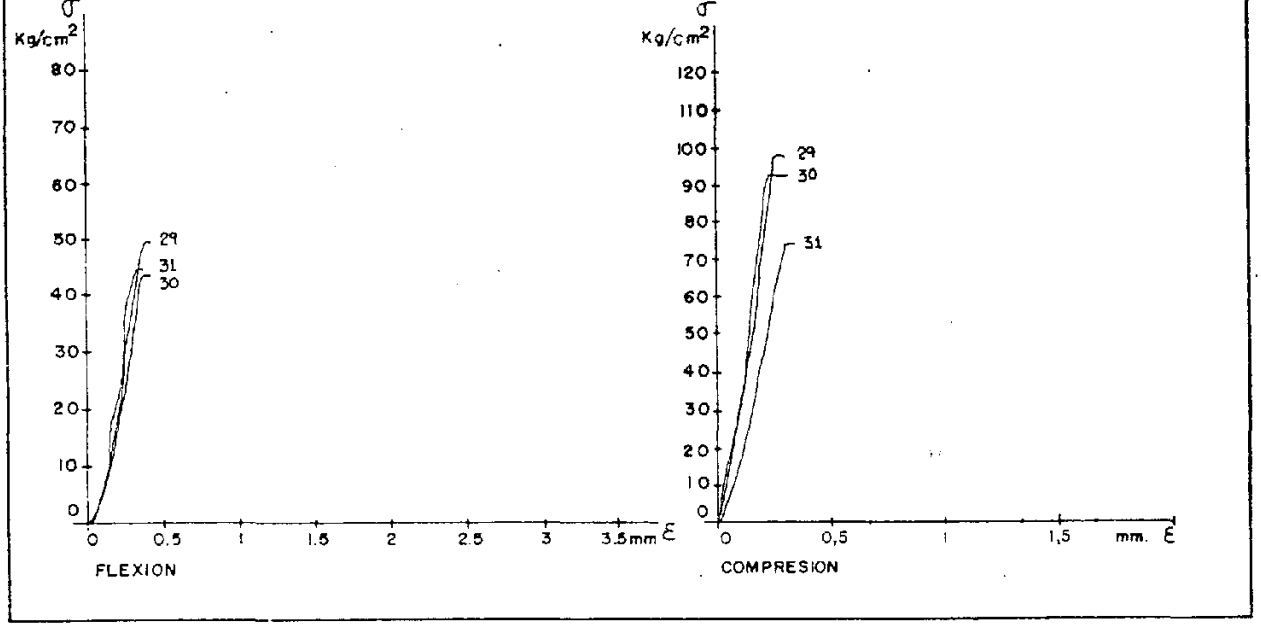
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	S E R I E		
	DM 29	DM 30	DM 31
CAMARA HUMEDA			
	405,5	403,5	404,4
	403,8	402,0	402,4
	402,4	401,2	401,3
	400,5	399,7	399,7
	399,6	398,8	398,8
ESTUFA 40°C	320,6	323,7	321,4
	298,0	298,5	298,6
	281,1	279,5	280,0

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	S E R I E		
FLEXION	49	44,5	46,5
VALOR MEDIO	46,66		
COMPRESION	98,6	94,43	75
VALOR MEDIO	89,33		

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



DISPERSION A BASE DE ACETATO DE POLIVINILO
(MOWILITH DS PULVER)

COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: DISPERSION A BASE DE ACETATO DE POLIVINILO (MOWILITH DS PULVER)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	1,875	gr.....	0,25	%
		gr.....		

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

PESOS PARCIALES

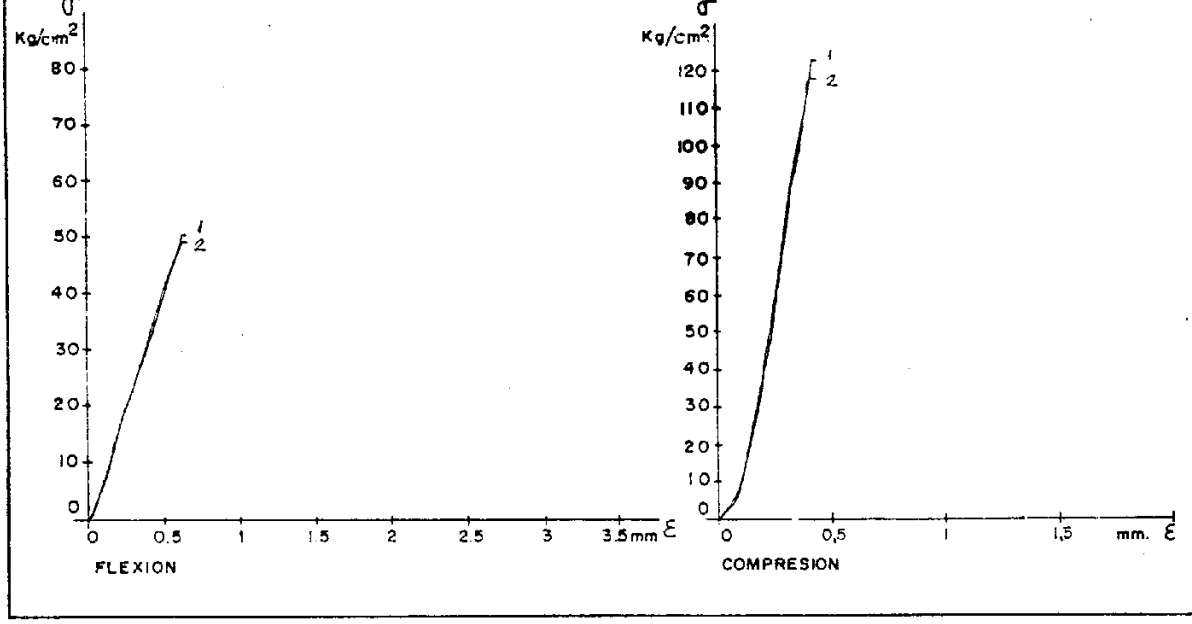
Nº DIAS	SERIE		
	DAP 1	DAP 2	DAP 3
CAMARA HUMEDA			
	393,5	390,7	-
	392,0	389,5	-
	391,5	389,1	-
	-	-	-
	387,4	386,6	-
ESTUFA 40°C	269,5	267,6	-
	269,4	267,5	-
	269,3	267,4	-

DAP 3 Falta de materia para rellenar el molde.

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	48,5	48,0	-
VALOR MEDIO	48,25		
COMPRESION	118,37	115,68	-
VALOR MEDIO	117,02		

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: DISPERSION A BASE DE ACETATO DE POLIVINILO

(MOWILITH DS PULVER)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y		0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	(825)	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	(3,10)	2,8125	gr.	0,375 %
			gr.	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

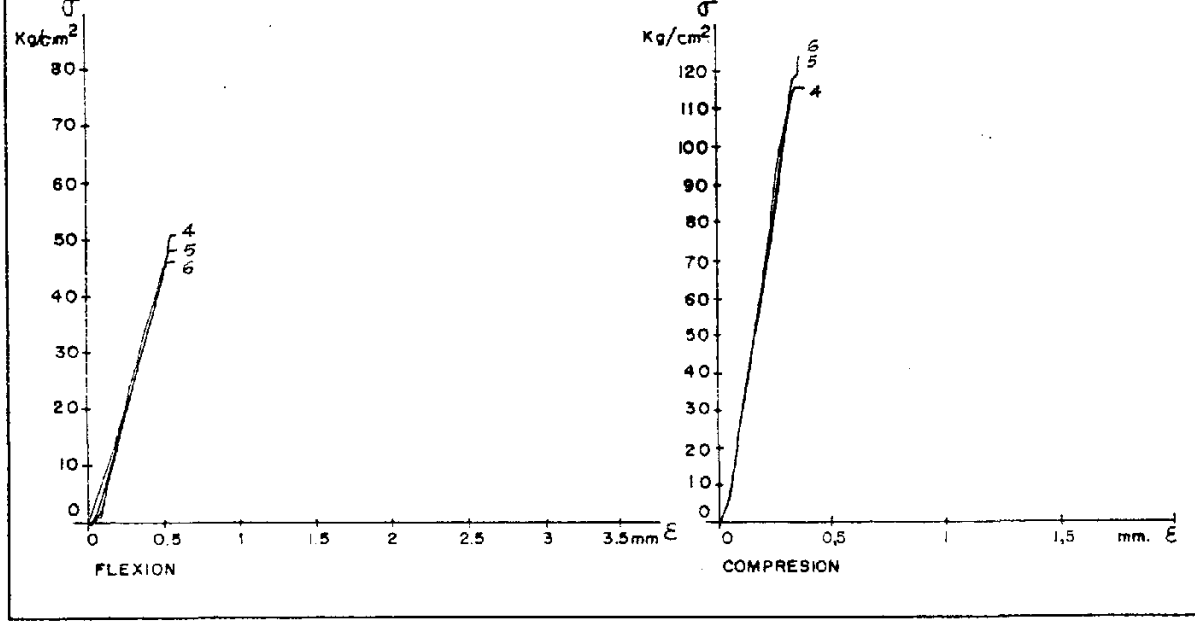
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	DAP 4	DAP 5	DAP 6
CAMARA HUMEDA			
	393,1	391,8	394,8
	391,0	390,0	392,6
	390,6	389,6	392,2
	–	–	–
	388,4	388,7	390,2
ESTUFA 40°C	271,8	278,6	276,4
	270,4	269,8	271,7
	270,3	269,8	271,6

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	49,5	46,5	44,75
VALOR MEDIO		46,91	
COMPRESION	117,56	125	125
VALOR MEDIO		122,52	

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ: E-35-L

ADICION: DISPERSION A BASE DE ACETATO DE POLIVINILO

(MOWILITH DS PULVER)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y		0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	(825)	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	(4,125)	3,75	gr.	0,5 %
			gr.	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

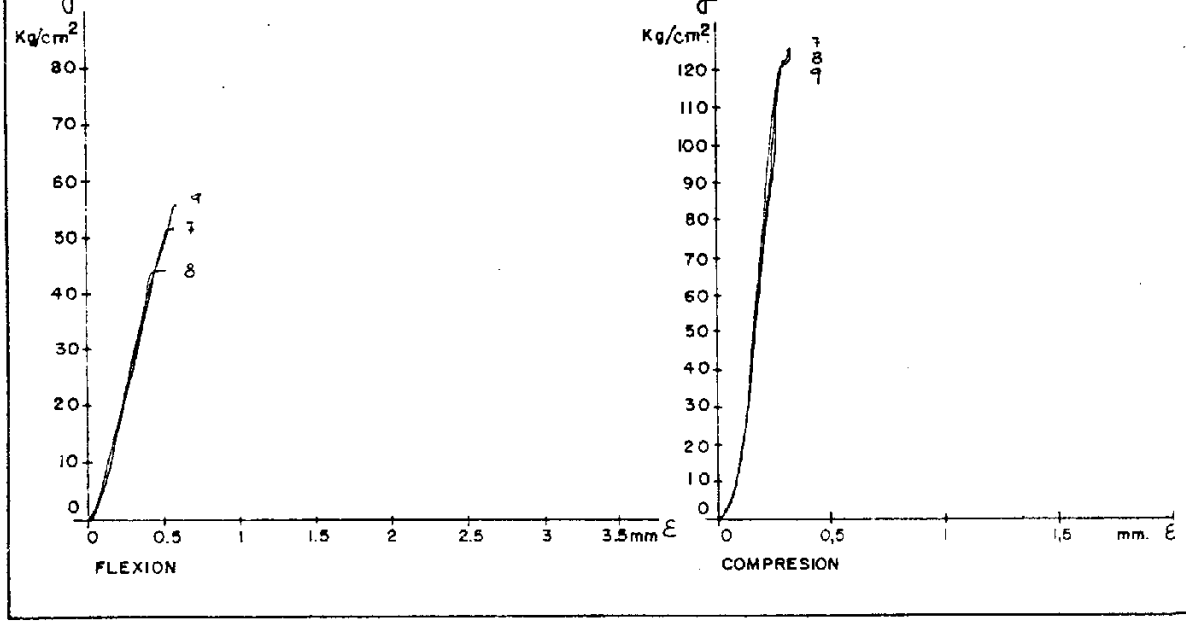
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	DAP 7	DAP 8	DAP 9
CAMARA HUMEDA			
	390,6	389,9	388,9
	387,0	386,5	385,5
	386,5	386,4	385,0
	–	–	–
	384,8	385,7	383,1
ESTUFA 40°C	269,5	270,4	262,2
	268,2	268,5	267,9
	268,1	268,3	267,9

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	50,75	43,0	54,5
VALOR MEDIO	49,41		
COMPRESION	125	125	125
VALOR MEDIO	125		

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L
ADICION: DISPERSION A BASE DE ACETATO DE POLIVINILO
(MOWILITH DS PULVER)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y		0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	(825)	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	(5,157)	4,6875	gr.	0,625 %
			gr.	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85
UNE 102031

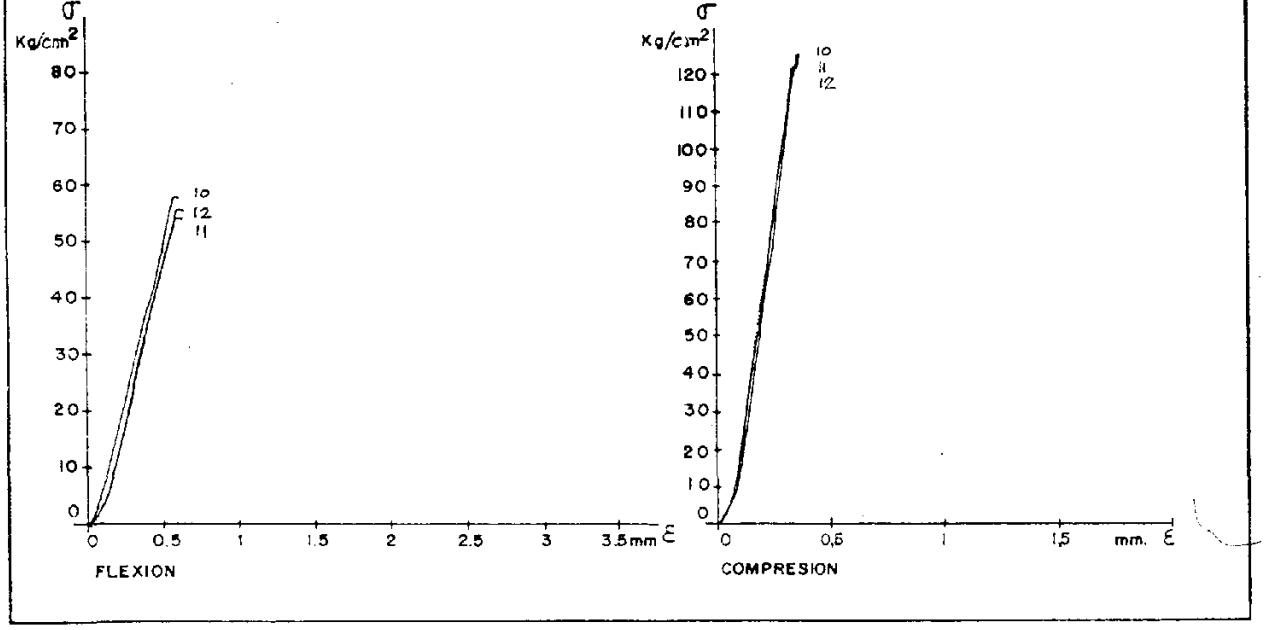
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	S E R I E		
	DAP 10	DAP 11	DAP 12
CAMARA HUMEDA			
	397,7	400,0	399,6
	394,2	396,4	396,2
	–	–	–
	–	–	–
	391,6	394,9	393,1
ESTUFA 40°C	274,0	275,9	276,3
	273,4	274,4	274,3
	273,3	274,4	274,2

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	S E R I E		
FLEXION	55,75	50,5	53,0
VALOR MEDIO	53,08		
COMPRESION	125	125	125
VALOR MEDIO	125		

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: DISPERSION A BASE DE ACETATO DE POLIVINILO (MOWILITH DS PULVER)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y		0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	(825)	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	(6,188)	5,625	gr.....	0,75 %
			gr.....	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

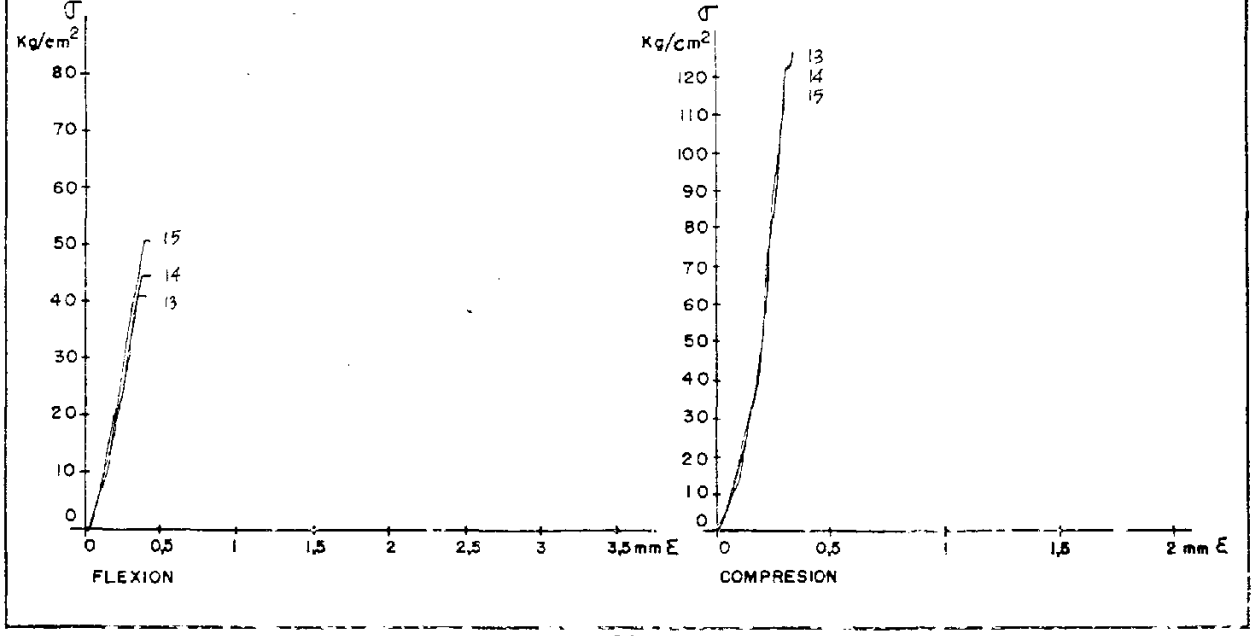
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	DAP 13	DAP 14	DAP 15
CAMARA HUMEDA			
	400,5	398,3	386,5
	395,5	393,7	391,9
	394,0	392,5	390,1
	393,4	391,9	389,4
	393,1	391,4	388,8
ESTUFA 40°C	391,7	390,3	387,5
	284,3	282,3	281,0
	284,0	282,3	281,0

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	41,5	46,25	51,75
VALOR MEDIO	46,50		
COMPRESION	>125	>125	>125
VALOR MEDIO	>125		

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: DISPERSION A BASE DE ACETATO DE POLIVINILO (MOWILIT DS PULVER)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y		0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	(825)	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	(7,219)	6,5625	gr.....	0,875 %
			gr.....	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

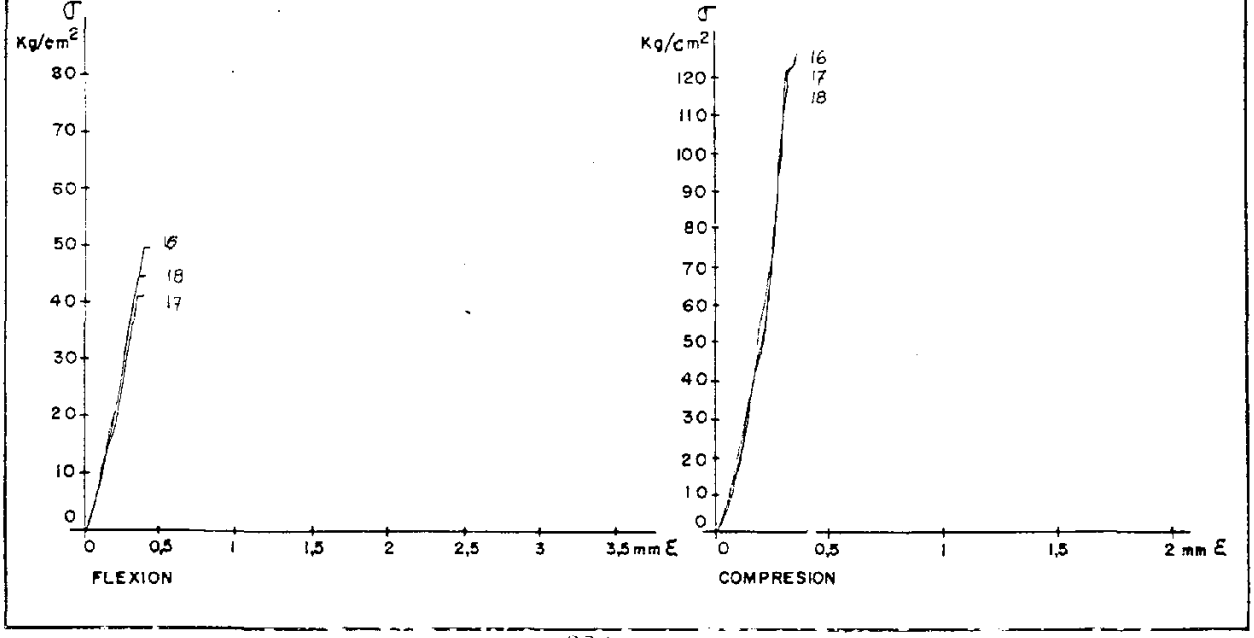
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	DAP 16	DAP 17	DAP 18
CAMARA HUMEDA			
	403,4	403,4	404,5
	401,8	402,0	402,8
	401,1	401,6	402,0
	400,2	401,2	401,4
	399,0	400,3	400,2
ESTUFA 40°C	284,5	286,1	288,1
	284,5	285,5	288,0
	284,2	285.4	287.7

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	49,0	43,25	45.25
VALOR MEDIO	45,83		
COMPRESION	>125	>125	>125
VALOR MEDIO	>125		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: DISPERSION A BASE DE ACETATO DE POLIVINILO (MOWILITH DS PULVER)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y		0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	(825)	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	(8,25)	7,5	gr.....	1 %
			gr.....	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

R.Y. 85

UNE 102031

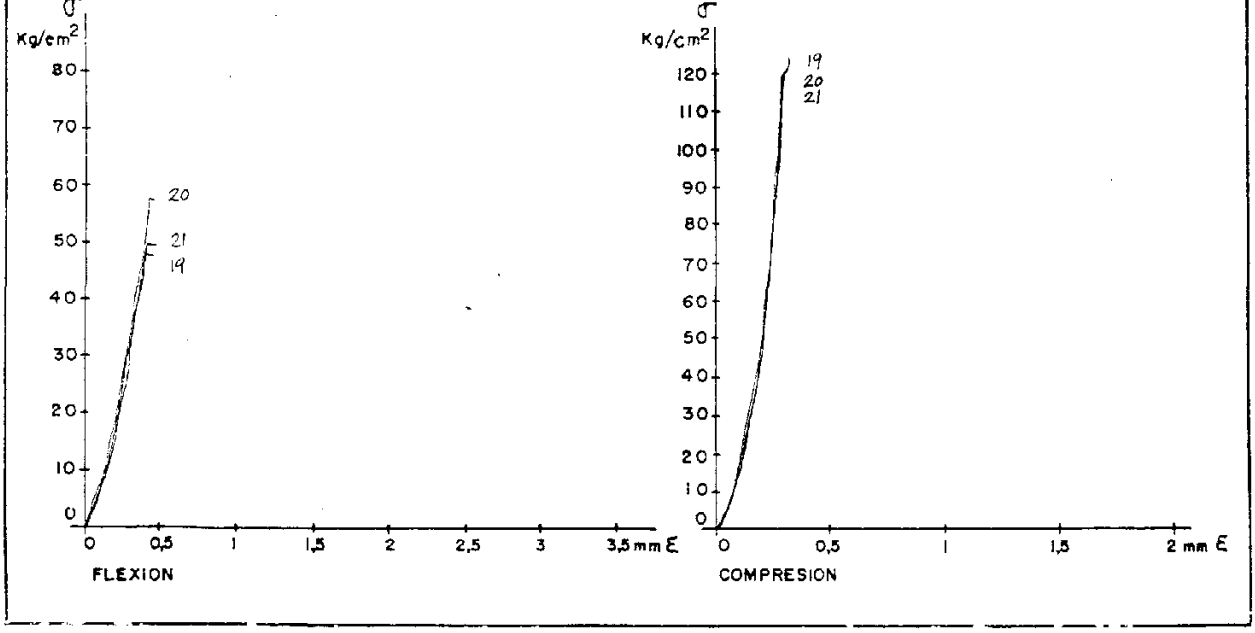
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	S E R I E		
	DAP 19	DAP 20	DAP 21
CAMARA HUMEDA			
	399,9	403.6	399,5
	398,6	402,5	398,3
	398,1	402,0	397,6
	397,4	401,4	397,0
	396,0	400,5	395,8
ESTUFA 40°C	282,3	289,1	285,8
	282,3	289,1	285,6
	282,1	288,8	285,4

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	S E R I E		
FLEXION	47,25	58,25	49,75
VALOR MEDIO	51,75		
COMPRESION	125	125	125
VALOR MEDIO	125		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



DISPERSION COPOLIMERA A BASE DE ESTERES
DE ACIDO ACRILICO (MOWITON M-300)

COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: DISPERSION COPOLIMERA A BASE DE ESTERES DE ACIDO ACRILICO (MOWITON M-300)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	1,875	gr.....	0,25 %
		gr.....	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

PESOS PARCIALES

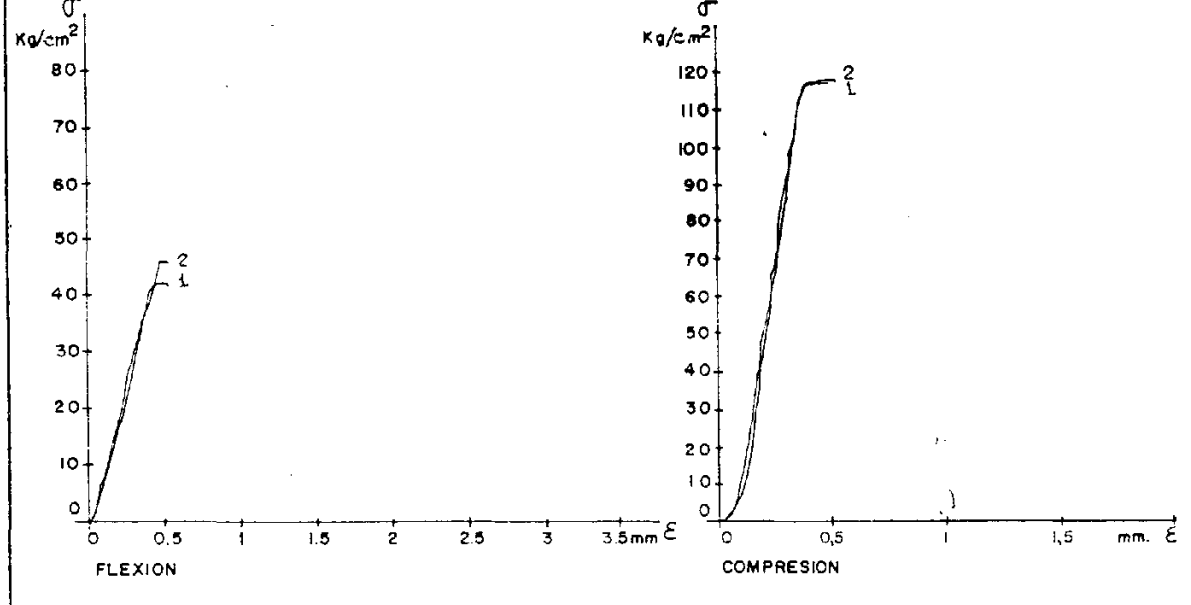
Nº DIAS	SERIE		
	DA 1	DA 2	DA 3
CAMARA HUMEDA			
	394,3	390,8	-
	392,6	389,2	-
	-	-	-
	384,0	381,6	-
	270,6	273,2	-
ESTUFA 40°C	270,6	268,4	-
	-	-	
	270,6	268,4	-

DA 3 Falta materia para rellenar el molde

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	42,25	45,25	-
VALOR MEDIO	43,75		
COMPRESION	117,93	118,37	-
VALOR MEDIO	118,15		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION : DISPERSION COPOLIMERA A BASE DE ESTERES DE ACIDO ACRILICO (MOWITON M-300)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	2,8125	gr.....	0,375	%
		gr.....		

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

PESOS PARCIALES

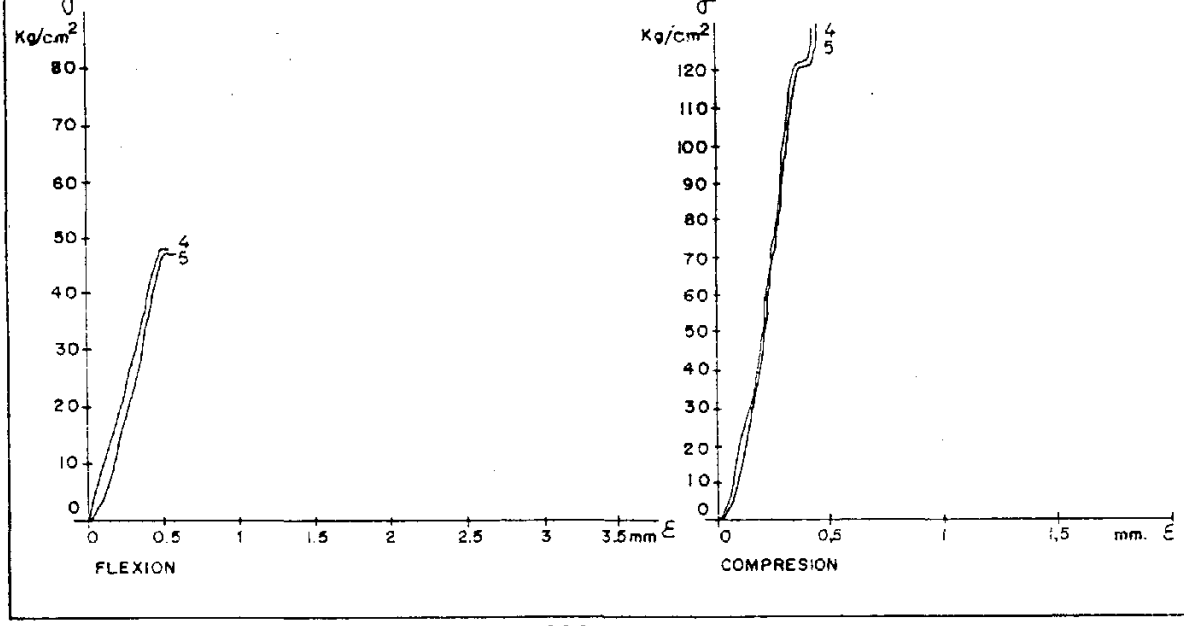
Nº DIAS	SERIE		
	DA 4	DA 5	DA 6
CAMARA HUMEDA			
	395,4	394,3	-
	393,7	392,7	-
	-	-	-
	386,9	386,1	-
	287,4	273,8	-
ESTUFA 40°C	273,9	273,0	-
	273,8	-	-
	273,8	272,9	-

DA 6 Falta materia para rellenar el molde

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	46,75	45,75	-
VALOR MEDIO	46,25		
COMPRESION	125	125	
VALOR MEDIO	125		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: DISPERSION COPOLIMERA A BASE DE ESTERES DE ACIDO ACRILICO (MOWITON M-300)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y		0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA		750	gr.	
CANTIDAD ADICION	(825)		gr.....	
	(4,125)	3,75	gr.....	0,5 %

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

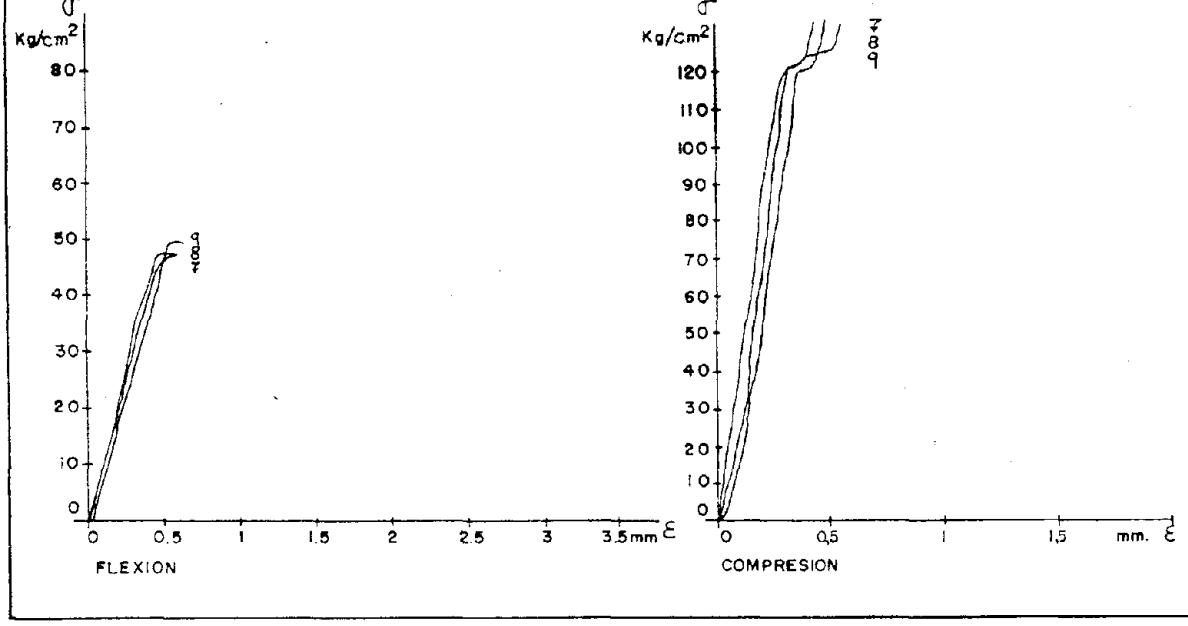
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	S E R I E		
	DA 7	DA 8	DA 9
CAMARA HUMEDA			
	397,3	396,0	397,1
	394,4	393,1	394,1
	–	–	–
	388,6	387,6	386,2
	276,7	278,2	274,8
ESTUFA 40°C	274,2	273,3	274,0
	–	–	–
	274,2	273,3	273,8

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	S E R I E		
FLEXION	46,75	47,0	47,75
VALOR MEDIO	47,16		
COMPRESION	> 125	> 125	125
VALOR MEDIO	> 125		

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L
ADICION: DISPERSION COPOLIMERA A BASE DE ESTERES DE ACIDO ACRILICO (MOWITON M-300)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y		0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	(825)	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	(5,157)	4,6875	gr.....	0,625 %
			gr.....	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85
UNE 102031

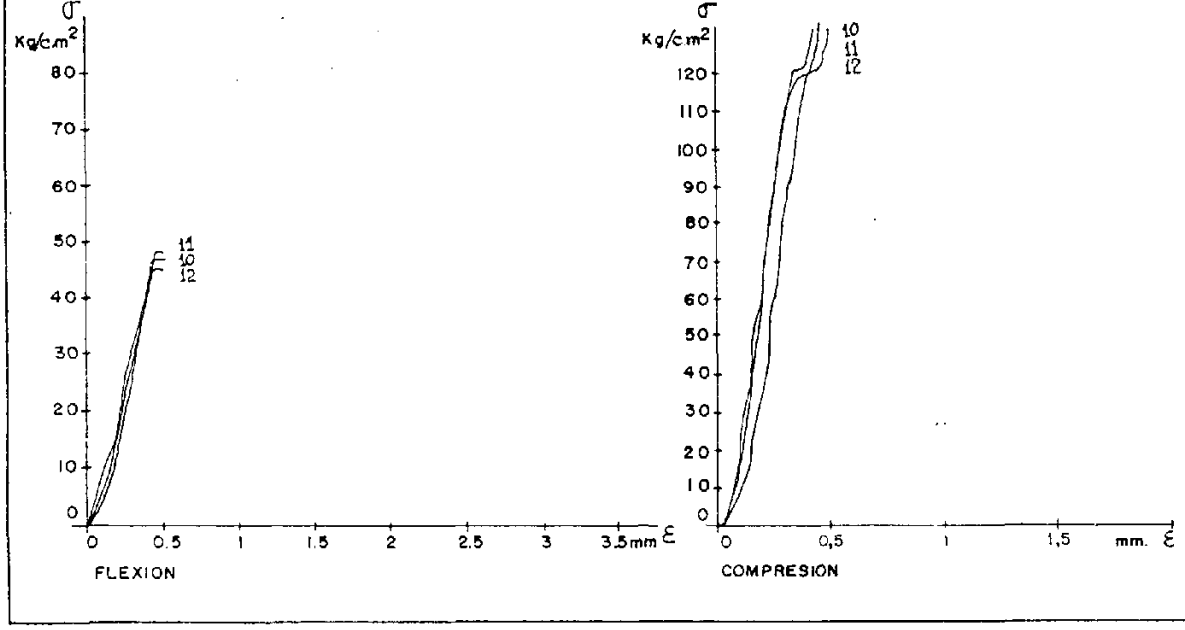
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	DA 10	DA 11	DA 12
CAMARA HUMEDA			
	396,8	395,4	389,1
	-	-	-
	389,4	391,0	383,7
	274,8	274,4	269,5
	274,7	273,6	269,2
ESTUFA 40°C	-	-	-
	-	-	-
	274,6	273,6	269,1

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	46,50	47,25	43,75
VALOR MEDIO	45,83		
COMPRESION	>125	>125	125
VALOR MEDIO	125		

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION : DISPERSION COPOLIMERA A BASE DE ESTERES DE ACIDO ACRILICO (MOWITON M-300)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y		0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	(825)	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	(6,188)	5,625	gr.....	0,75 %
			gr.....	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

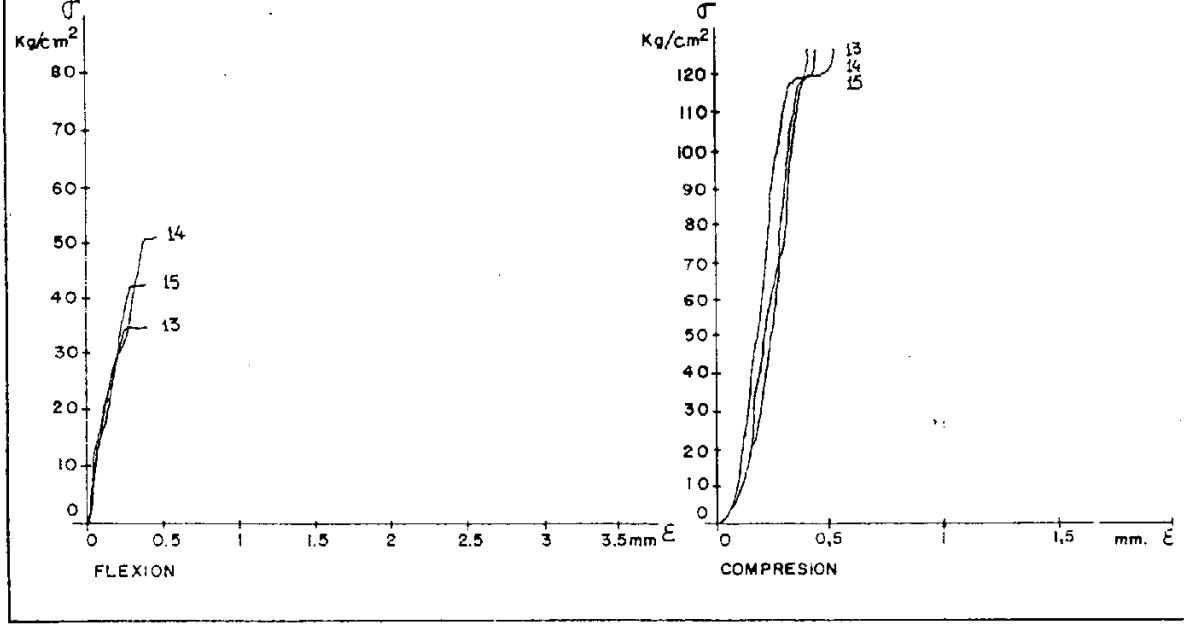
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	DA 13	DA 14	DA 15
CAMARA HUMEDA			
	398,4	400,4	400,0
	–	–	–
	388,8	393,6	392,2
	281,6	349,4	353,8
	275,8	277,0	276,7
ESTUFA 40°C	–	–	–
	–	–	–
	275,7	276,9	276,6

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	34,25	49,0	41,0
VALOR MEDIO	41,41		
COMPRESION	125	125	125
VALOR MEDIO	125		

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ · E-35-L

ADICION · DISPERSION COPOLIMERA A BASE DE ESTERES DE ACIDO ACRILICO (MOWITON M-300)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	(825) 750 gr.		
CANTIDAD ADICION	(7,219) 6,5625gr.....	0;875	%
	gr.....		

NORMAS SOBRE ENSAYOS

R.Y. 85

UNE 102031

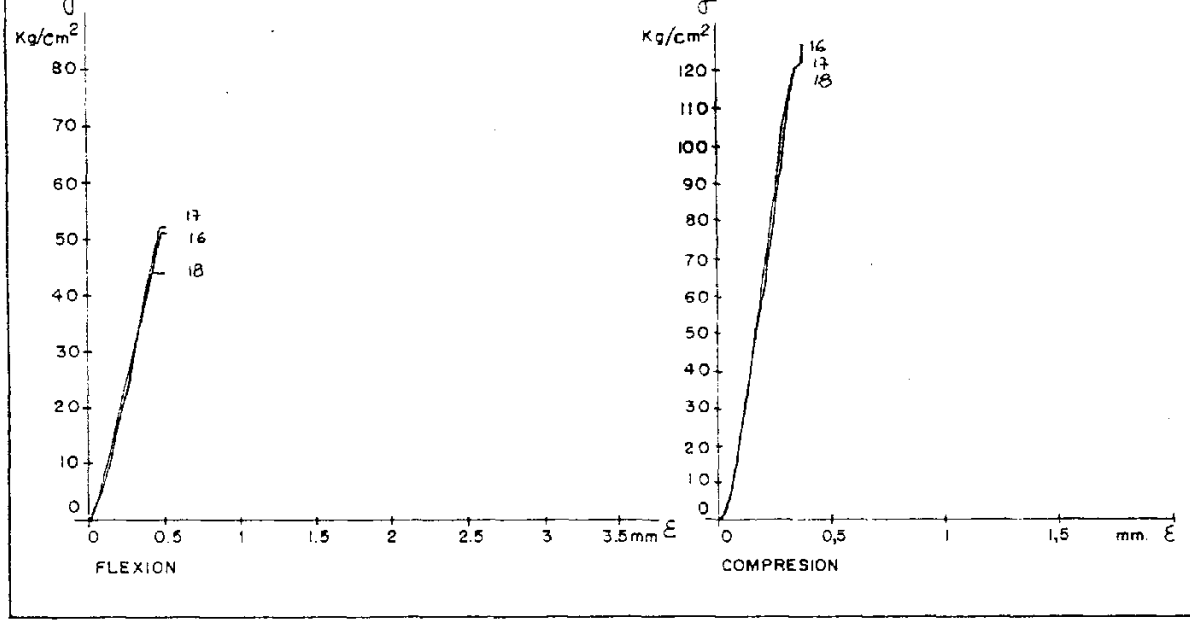
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	DA 16	DA 17	DA 18
CAMARA HUMEDA			
	393,6	395,8	396
	390,5	392,8	393
	388,9	391,6	391,5
	388,0	390,9	390,7
	377,4	383,5	380,4
ESTUFA 40°C	272,7	274,4	274,5
	272,5	274,3	274,5
	272,5	274,3	274,4

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	49,25	50,75	41,5
VALOR MEDIO	47,16		
COMPRESION	>125	>125	>125
VALOR MEDIO	>125		

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION : DISPERSION COPOLIMERA A BASE DE ESTERES DE ACIDO ACRILICO (MOWITON M-300)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	(825) 750	gr.	
CANTIDAD ADICION	(8,25) 7,5	gr.....	1 %
		gr.....	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

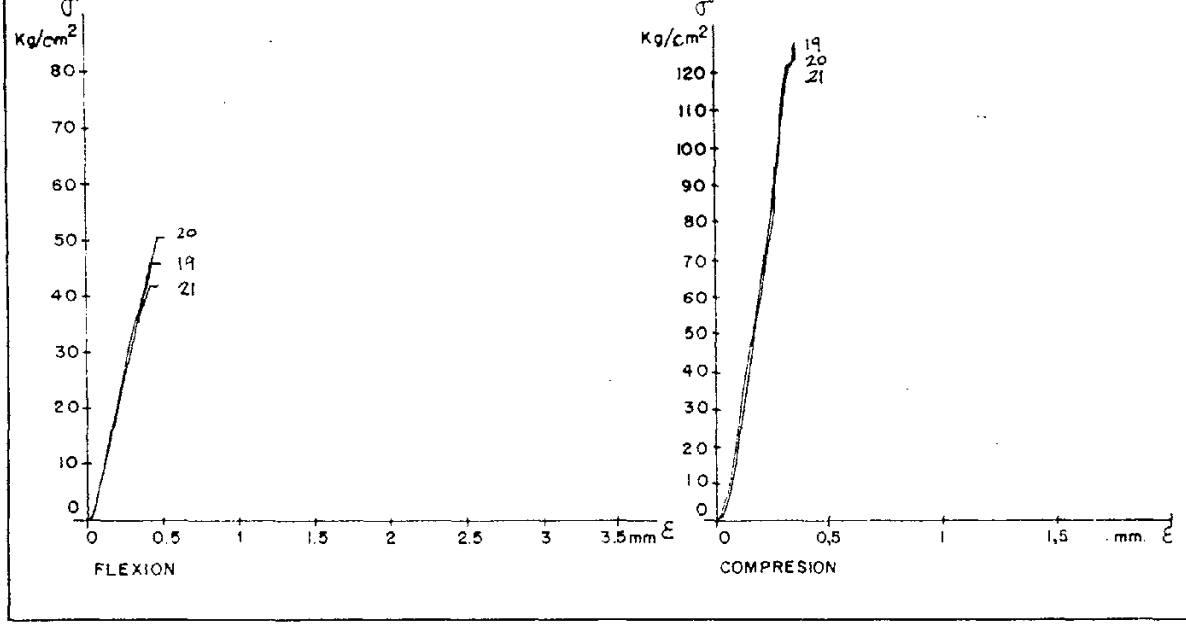
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	DA 19	DA 20	DA 21
CAMARA HUMEDA			
	393,6	394,0	394,2
	390,6	390,1	390,0
	388,2	389,2	389,0
	387,5	388,8	388,3
	377,8	383,9	381,4
ESTUFA 40°C	270,8	271,0	271,1
	270,7	271,0	271,1
	270,6	270,9	279,0

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	45,75	50,75	41,25
VALOR MEDIO	45,91		
COMPRESION	> 125	> 125	> 125
VALOR MEDIO	> 125		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



8.3.4. Mezclas. Ensayos de flexotracción y compresión con probetas prismáticas.

Se utiliza escayola E·35·L de Escayolas Marín y los tipos de fibras y dispersiones poliméricas seleccionadas.

Una vez optimizados los porcentajes de cada adición, se procede a realizar las adiciones combinadas de fibras y dispersiones poliméricas.

Se comprueba la influencia de cada mezcla binaria optimizada, así como de los porcentajes próximos a ésta, sobre los valores de resistencia mecánica del conjunto.

Se utiliza la relación agua-yeso 0,7, debido al efecto plastificante que ejercen las dispersiones.

Se realizan gráficas de tensión-deformación para cada mezcla binaria de adición, dibujándose superpuestas en el resumen de resultados de cada mezcla.

Las probetas se numeran correlativamente según el orden de fabricación para cada tipo de mezcla binaria, denominandose con las siguientes iniciales según la mezcla de adiciones que contengan.

FA·DM: Fibra acrílica con Policondensado de melamina formaldehido.

FA·DAP: Fibra acrílica con dispersión de acetato de polivinilo.

FA·DA: Fibra acrílica con dispersión copolímera de ésteres de ácido acrílico.

FP·DM: Fibra de poliéster con Policondensado de melamina formaldehido.

FP·DAP: Fibra de poliéster con dispersión de acetato de polivinilo.

FP·DA: Fibra de poliéster con dispersión copolímera de ésteres de ácido acrílico.

FPP·DM: Fibra de polipropileno con policondensado de melamina formaldehido.

FPP·DAP: Fibra de polipropileno con dispersión de acetato de polivinilo.

FPP·DA: Fibra de polipropileno con dispersión copolímera de ésteres de ácido acrílico.

FIBRA ACRILICA (DOLANIT)

MEZCLAS BINARIAS.

COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ: E-35-L

ADICION: FIBRA ACRILICA (DOLANIT)

POLICONDENSADO DE MELAMINA FORMALDEHIDO(MELMENT F.

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	15	gr.....	2 %
	7,5	gr.....	1

NORMAS SOBRE ENSAYOS

R.Y. 85

UNE 102031

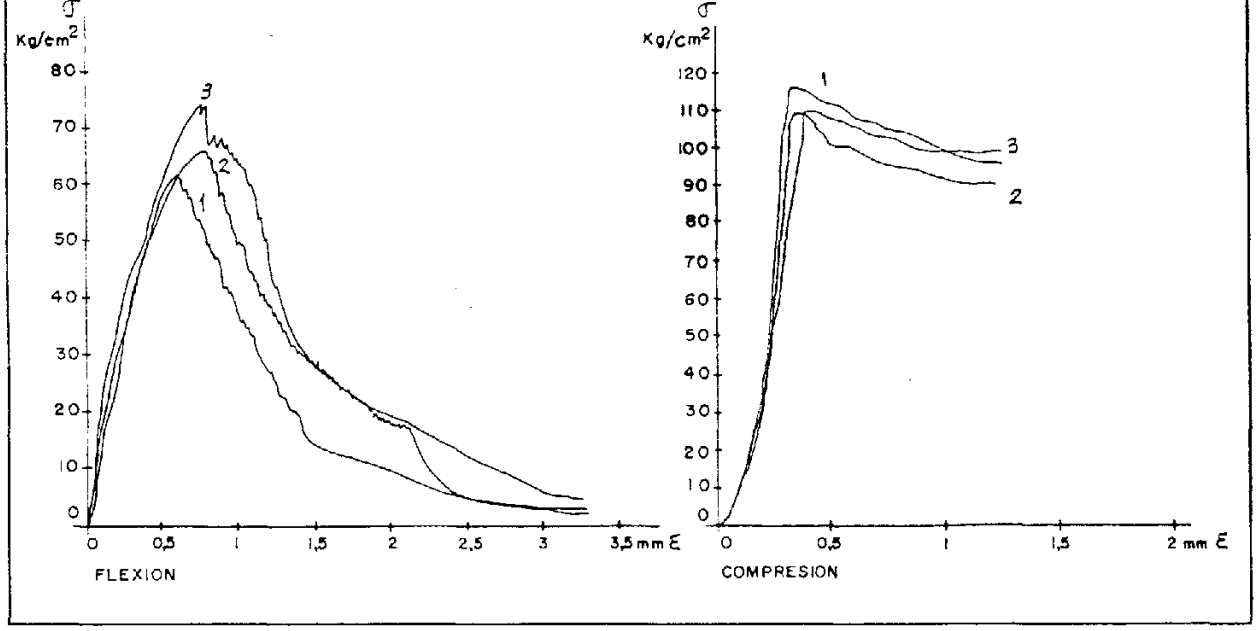
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FA-DM-1	FA-DM-2	FA-DM-3
CAMARA HUMEDA			
	399,1	403,4	412,9
	397,9	401,6	410,6
	395,9	401,0	408,8
	395,3	399,7	408,1
	394,2	398,9	406,9
ESTUFA 40°C	387,5	392,8	397,8
	283,1	285,7	293,5
	283,0	285,5	293,3

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	59,25	65,0	73,25
VALOR MEDIO		65,83	
COMPRESION	115,50	108,25	109,62
VALOR MEDIO		111,12	

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA ACRILICA (DOLANIT)

POLICONDENSADO DE MELAMINA FORMALDEHIDO (MELMENT F-10)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	15	gr.....	2 %
	3,75	gr.....	0,5

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

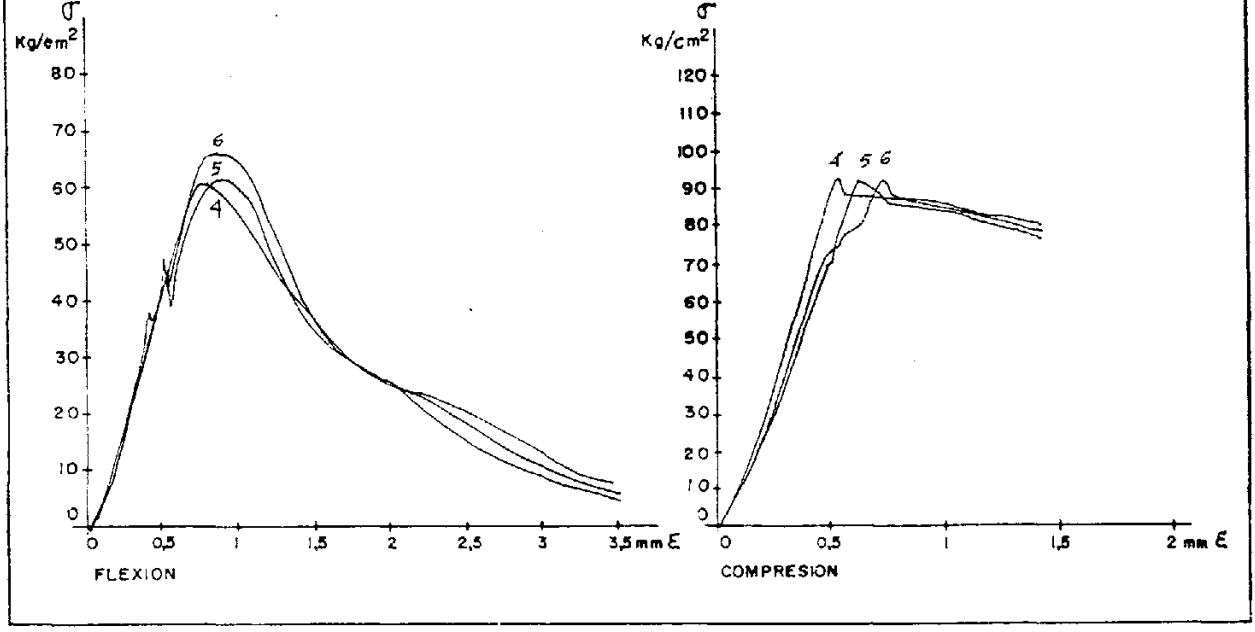
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FA DM 4	FA DM 5	FA DM 6
CAMARA HUMEDA			
	405,9	404,4	406,4
	404,5	403,9	405,7
	403,7	403,3	404,7
	403,1	402,9	404,1
	402,1	401,9	403,1
ESTUFA 40°C	401,3	401,3	402,3
	294,5	304,4	315,2
	287,0	286,8	289,9

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	59,5	61,0	64,75
VALOR MEDIO	61,75		
COMPRESION	95,0	96,0	93,68
VALOR MEDIO	94,89		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L
ADICION: FIBRA ACRILICA (DOLANIT)
POLICONDENSADO DE MELAMINA FORMALDEHIDO (MELMENT F-10)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	13,125	gr.....	1,75	%
	3,75	gr.....	0,5	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85
UNE 102031

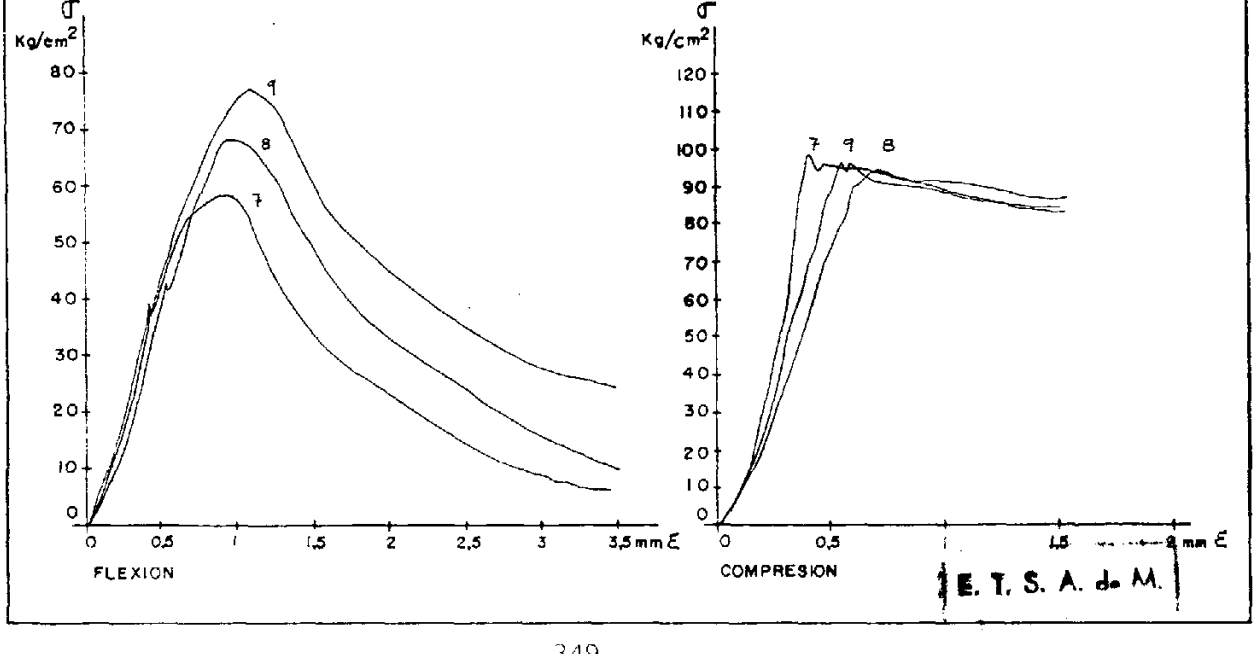
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FA DM 7	FA DM 8	FA DM 9
CAMARA HUMEDA			
	408,6	406,5	407,4
	405,4	403,6	404,4
	401,3	401,7	401,9
	402,3	401,1	401,1
	401,4	400,4	400,4
ESTUFA 40°C	400,5	400,0	399,6
	307,4	307,9	335,4
	285,4	283,2	285,2

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	58,25	68,52	75,50
VALOR MEDIO		67,33	
COMPRESION	100,62	97,43	93,75
VALOR MEDIO		97,27	

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA ACRILICA (DOLANIT)

POLICONDENSADO DE MELAMINA FORMALDEHIDO (MELMENT F-10)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	18,75	gr.....	2,5	%
	3,75	gr.....	0,5	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

R.Y. 85

UNE 102031

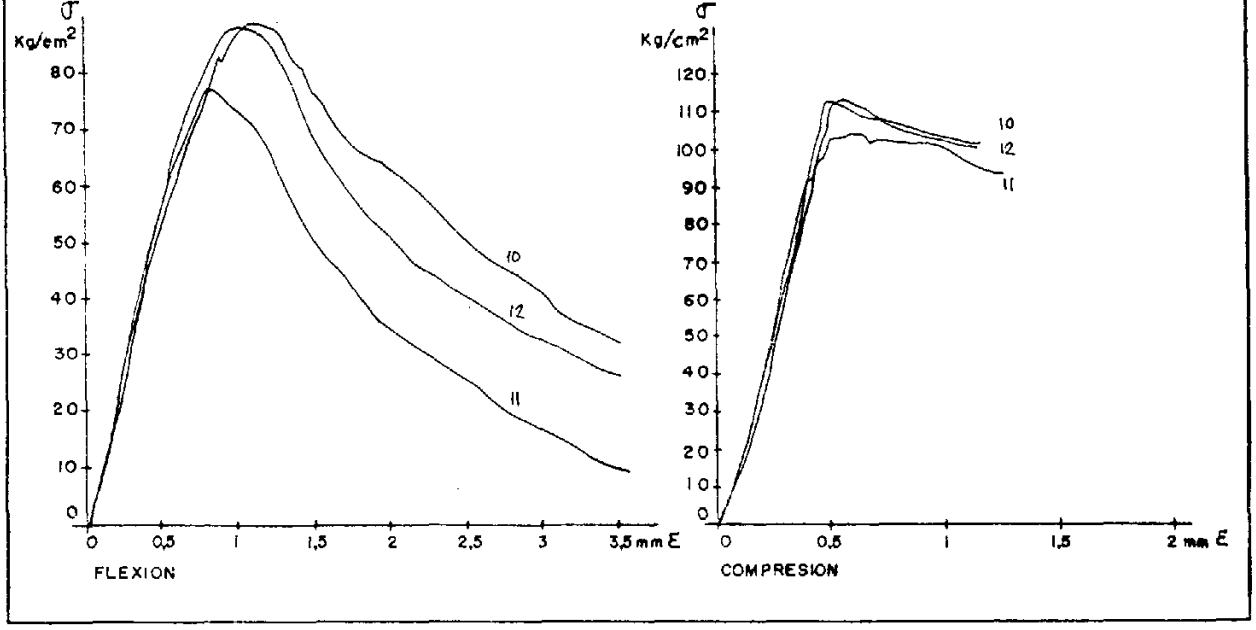
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FA DM 10	FA DM 11	FA DM 12
CAMARA HUMEDA			
	408,6	413,0	409,9
	406,6	411,6	408,3
	404,9	410,2	406,6
	404,2	409,7	406,1
	403,4	409,1	405,2
ESTUFA 40°C	402,7	408,5	404,5
	290,9	295,5	293,4
	290,9	295,4	293,4

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	87,25	75,5	86,0
VALOR MEDIO		82,92	
COMPRESION	116,62	106,31	114,94
VALOR MEDIO		112,62	

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ: E-35-L

ADICION: FIBRA ACRILICA (DOLANIT)

POLICONDENSADO DE MELAMINA FORMALDEHIDO (MELMENT F-10)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	22,5	gr.....	3 %
	3,75	gr.....	0,5

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

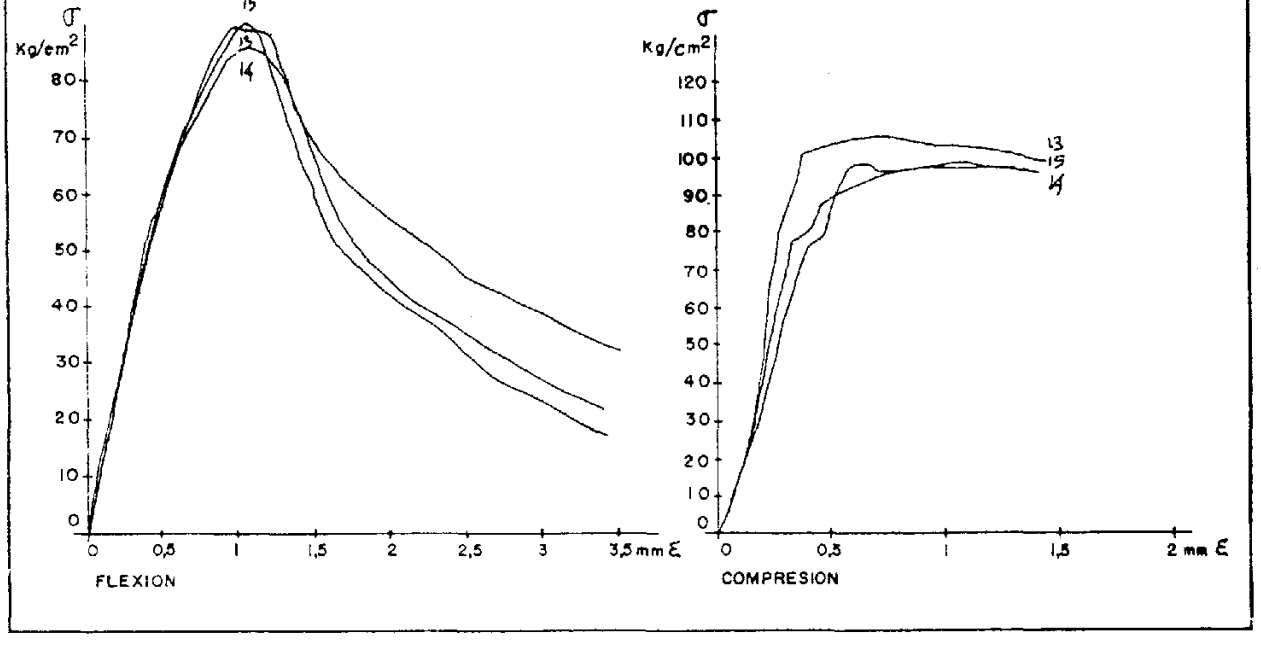
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FA DM 13	FA DM 14	FA DM 15
CAMARA HUMEDA			
	412,6	410,7	407,7
	–	–	–
	410,7	409,3	405,8
	410,1	408,8	405,0
	409,5	408,3	404,4
ESTUFA 40°C	408,3	407,0	402,8
	293,5	291,3	288,7
	293,3	290,7	287,7

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	87,5	82,75	88,5
VALOR MEDIO		86,25	
COMPRESION	107,43	98,31	99,5
VALOR MEDIO		101,75	

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ: E-35-L
ADICION: FIBRA ACRILICA (DOLANIT)
DISPERSION DE ACETATO DE P.V. (MOWILITH-DS-PULVER)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	15	gr.....	2	%
	7,5	gr.....	1	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85
UNE 102031

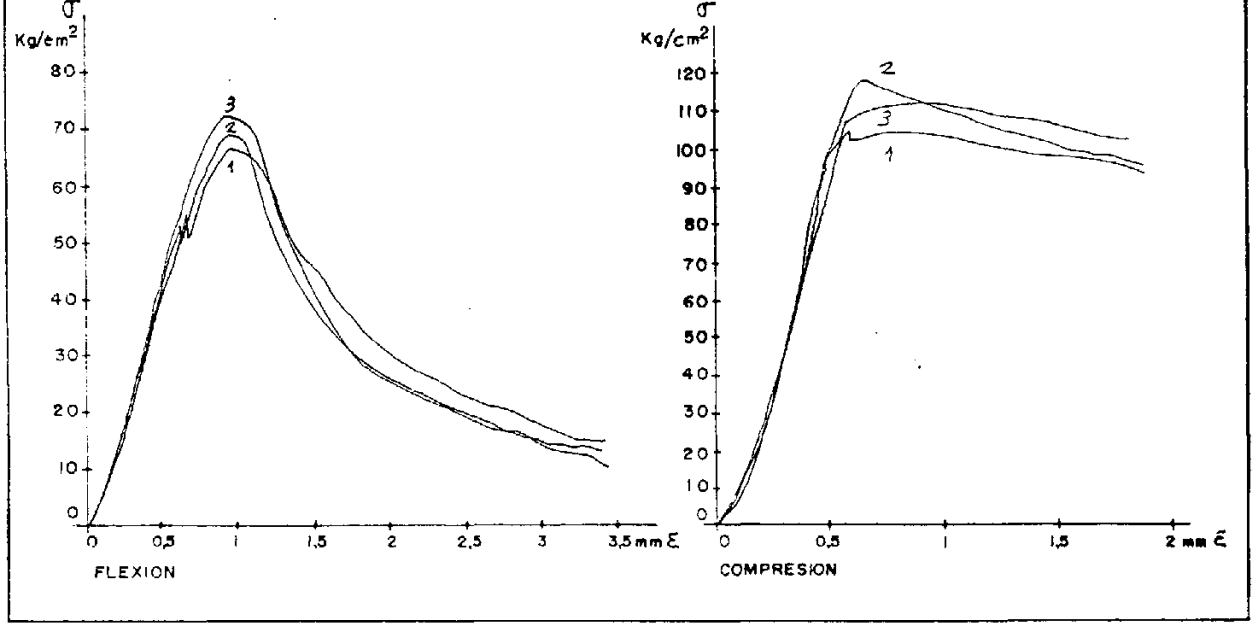
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FA-DAP 1	FA DAP 2	FA DAP 3
CAMARA HUMEDA			
	392,0	397,1	396,0
	388,5	393,5	392,2
	387,3	392,7	391,0
	386,6	391,8	390,3
	385,8	391,1	389,5
ESTUFA 40°C	284,7	288,1	295,0
	275,9	282,3	283,4
	275,9	282,3	283,3

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	66,25	69,25	72,0
VALOR MEDIO		69,16	
COMPRESION	105,62	120,62	113,62
VALOR MEDIO		113,29	

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L
ADICION: FIBRA ACRILICA (DOLANIT)
DISPERSION DE ACETATO DE P.V. (MOWILITH DS PULVER)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	15	gr.....	2	%
	3,75	gr.....	0,5	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85
UNE 102031

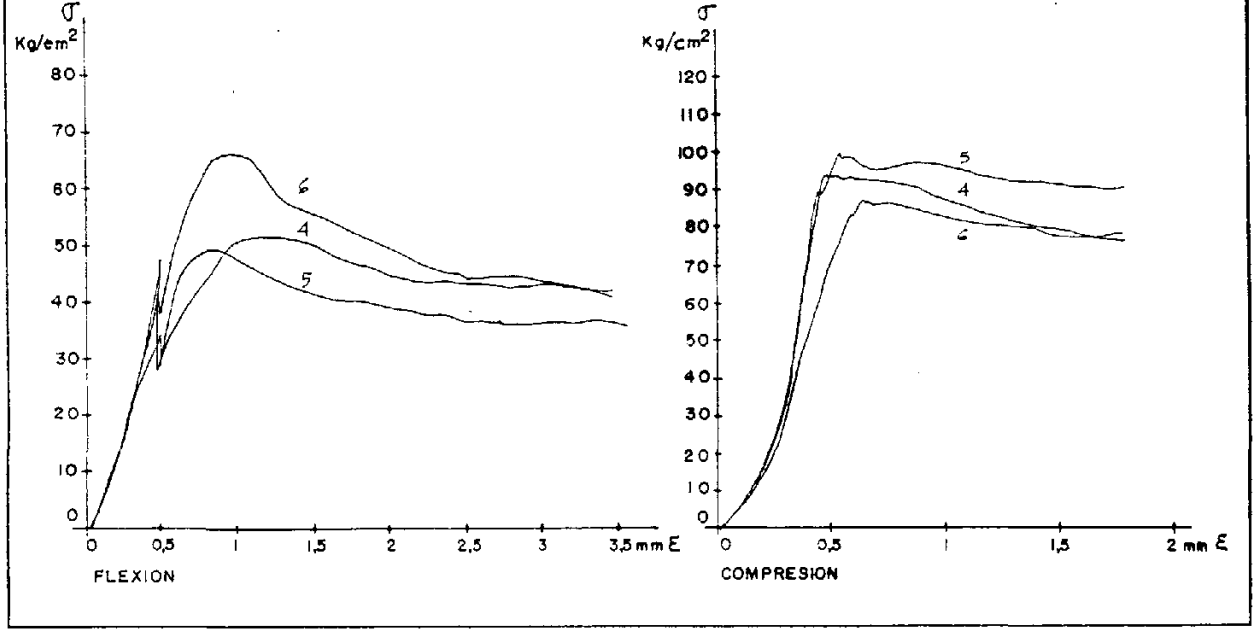
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	S E R I E		
	FA DAP 4	FA DAP 6	FA DAP 6
CAMARA HUMEDA			
	396,7	398,3	401,7
	396,2	398,1	401,3
	395,5	397,5	400,5
	394,2	396,5	399,2
	393,3	395,9	398,4
ESTUFA 40°C	392,3	395,1	397,5
	283,6	284,5	287,7
	283,6	284,4	287,6

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	S E R I E		
FLEXION	59,50	52,50	66,0
VALOR MEDIO		59,33	
COMPRESION	111,0	98,12	103,50
VALOR MEDIO		104,20	

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ: E-35-L

ADICION: FIBRA ACRILICA (DOLANIT)

DISPERSION DE ACETATO DE P.V. (MOWILITH DS PULVER)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	13,125	gr.....	1,75	%
	3,75	gr.....	0,5	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

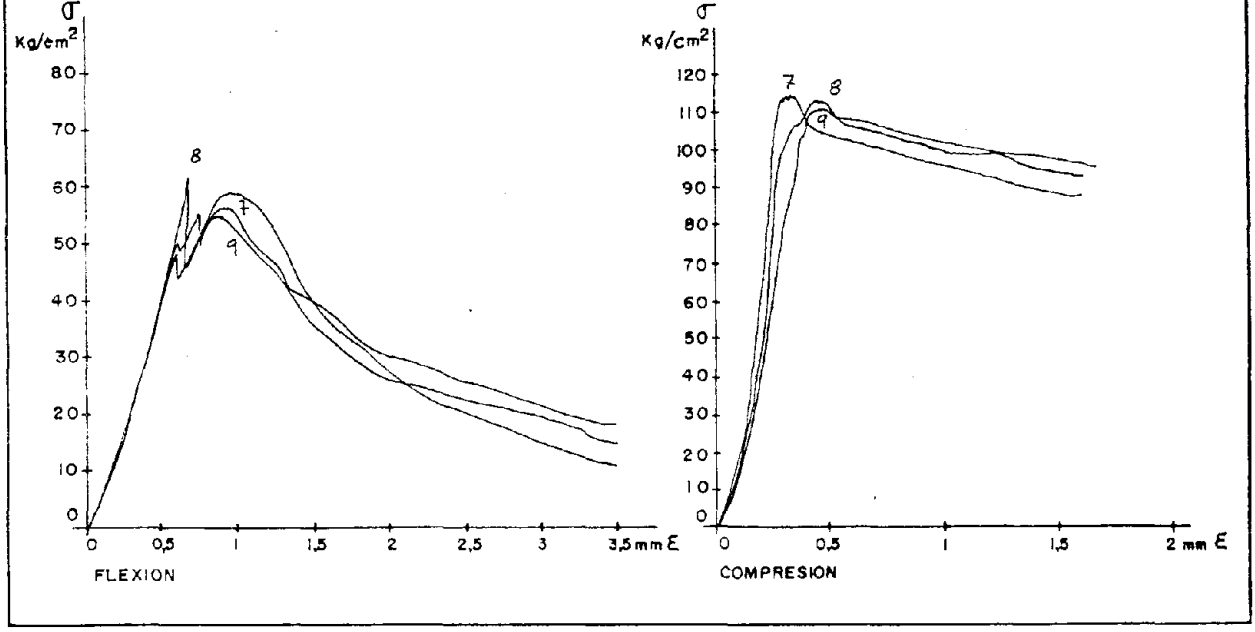
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FA DAP 7	FA DAP 8	FA DAP 9
CAMARA HUMEDA			
	399,3	401,8	404,7
	398,5	401,5	404,0
	397,7	400,7	403,2
	396,8	400,2	402,6
	395,8	399,3	401,5
ESTUFA 40°C	395,1	398,5	400,5
	282,4	287,8	289,1
	282,4	287,8	289,1

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	57,75	60,25	56,0
VALOR MEDIO	58,0		
COMPRESION	116,37	115,94	111,38
VALOR MEDIO	114,56		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA ACRILICA (DOLANIT)

DISPERSION COP. DE ACETATO DE P.V. (MOWILITH DS PULVER)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	750 gr.		
CANTIDAD ADICION	18,75 gr.....	2,5	%
	3,75 gr.....	0,5	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

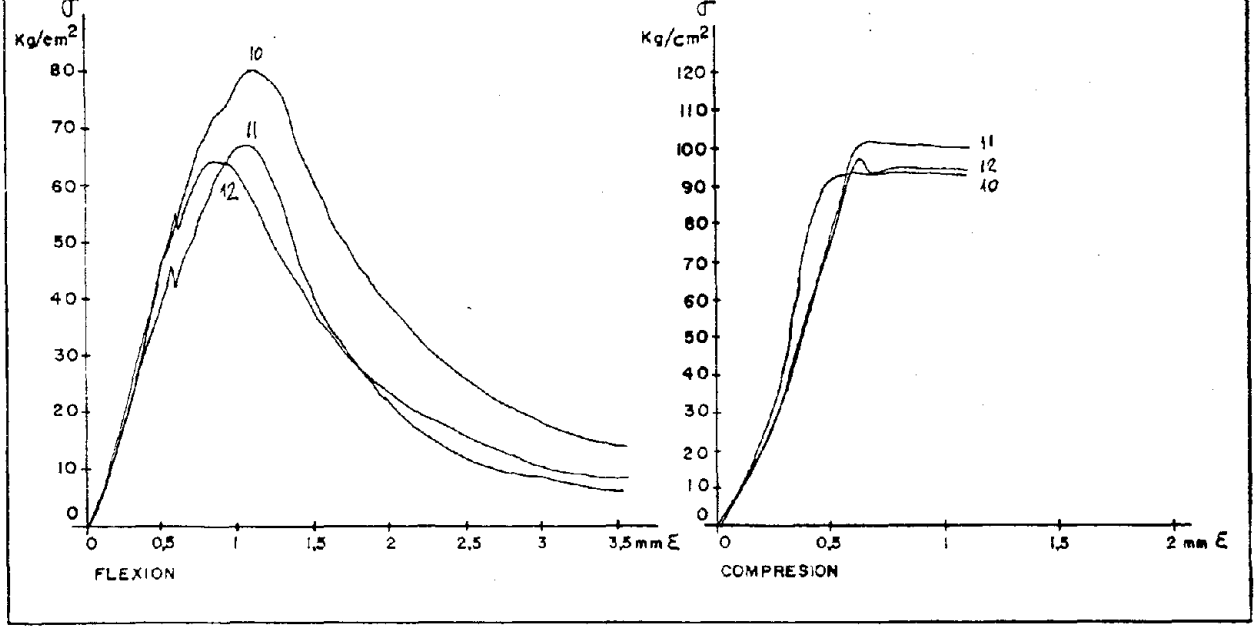
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FA DAP 10	FA DAP 11	FA DAP 12
CAMARA HUMEDA			
	401,6	399,0	402,2
	400,3	397,9	400,7
	399,8	397,5	400,1
	399,0	397,2	399,7
	398,4	396,6	399,2
ESTUFA 40°C	396,7	395,7	397,9
	285,1	283,1	287,5
	285,2	283,1	287,5

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
			Coqueras superficiales
FLEXION	79,25	66,75	63,50
VALOR MEDIO		69,83	
COMPRESION	92,25	100,75	97,0
VALOR MEDIO		99,66	

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA ACRILICA (DOLANIT)

DISPERSION DE ACETATO DE P.V. (MOWILITH DS PULVER)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	22,5	gr.....	3	%
	3,75	gr.....	0,5	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

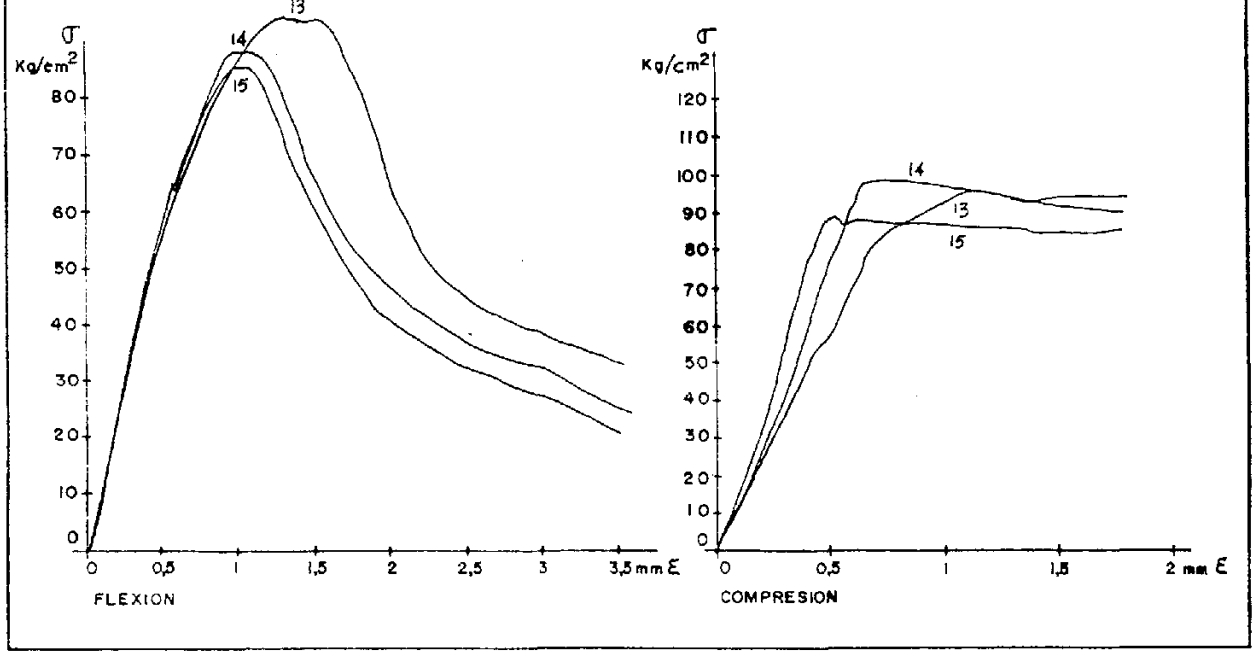
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FA DAP 13	FA DAP 14	FA DAP 15
CAMARA HUMEDA			
	403,1	397,6	400,6
	402,5	397,4	400,0
	401,8	396,8	399,3
	-	-	-
	400,8	396,4	398,5
ESTUFA 40°C	400,1	395,7	397,9
	289,2	284,9	290,3
	289,2	284,7	290,1

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	92,75	87,5	85,0
VALOR MEDIO	88,41		
COMPRESION	93,81	98,06	88,87
VALOR MEDIO	93,58		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA ACRILICA (DOLANIT)

DISPERSION COP. ESTERES ACIDO ACRILICO (MOWITON M-300)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	15	gr.....	2	%
	7,5	gr.....	1	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

R.Y. 85

UNE 102031

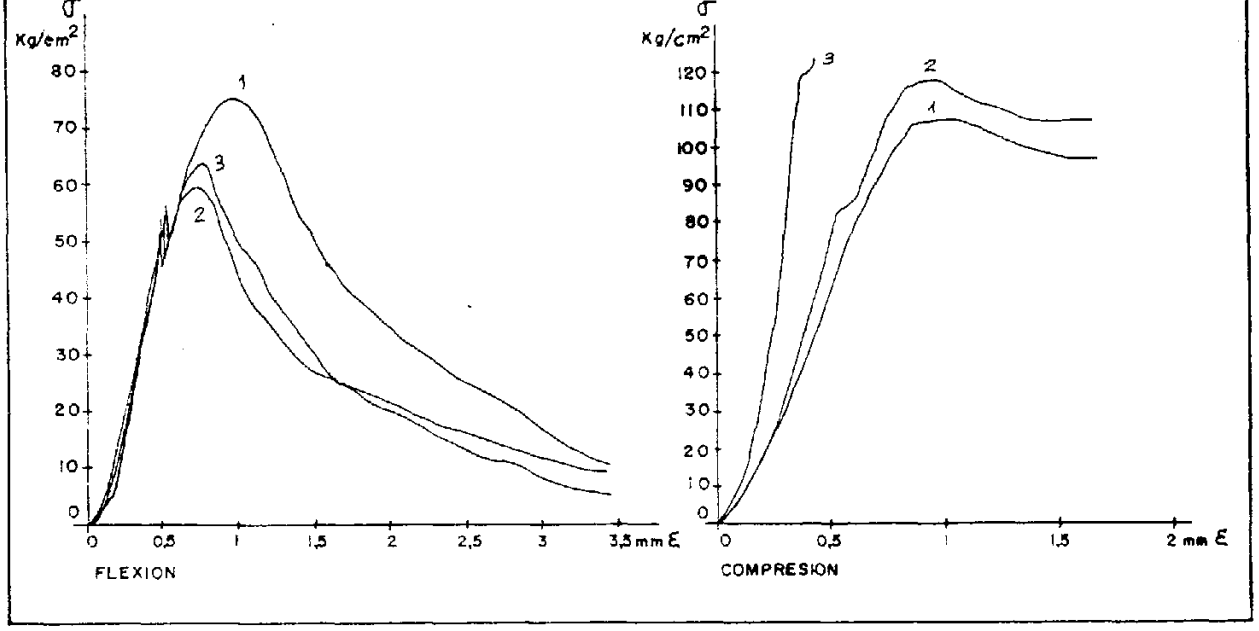
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FA-DA-1	FA-DA-2	FA-DA-3
CAMARA HUMEDA			
	392,2	395,0	394,5
	391,0	394,4	393,4
	390,0	393,6	392,4
	389,5	393,3	391,9
	389,0	392,8	391,4
ESTUFA 40°C	388,1	392,1	390,8
	278,7	280,8	280,3
	278,5	280,8	280,1

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	74,50	60,0	64,0
VALOR MEDIO	66,16		
COMPRESION	106,93	117,8	125
VALOR MEDIO	116,37		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA ACRILICA (DOLANIT)
DISPERSION COP. ESTERES DE ACIDO ACRILICO (MOWITON M. 300)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	15	gr.....	2	%
	3,75	gr.....	0,5	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85
UNE 102031

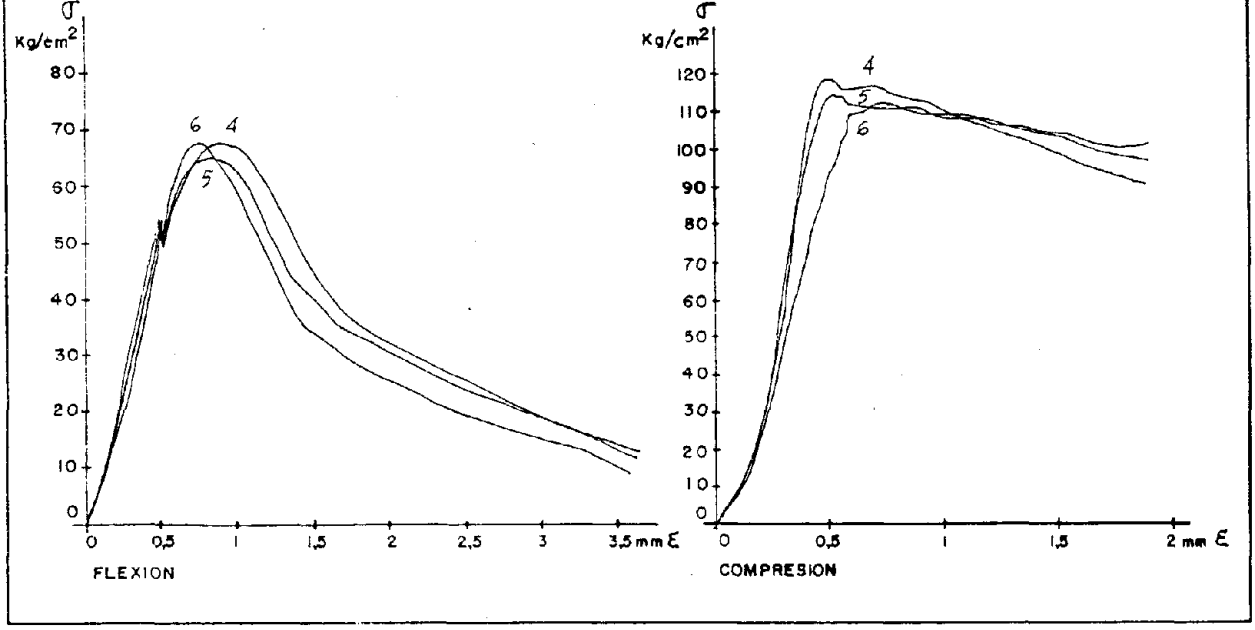
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FA DA 4	FA DA 5	FA DA 6
CAMARA HUMEDA			
	401,7	402,9	400,3
	399,8	401,1	398,4
	399,4	401,0	397,8
	398,8	400,6	397,2
	398,2	400,2	396,4
ESTUFA 40°C	397,3	399,4	395,6
	284,5	283,1	281,5
	284,5	283,1	281,5

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	67,0	63,25	65,25
VALOR MEDIO		65,17	
COMPRESION	119,0	113,56	110,31
VALOR MEDIO		114,29	

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ: E-35-L
ADICION: FIBRA ACRILICA (DOLANIT)
DISPERSION COP. ESTERES ACIDO ACRILICO (MOWITON-300)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	13,125	gr.	1,75	%
	3,75	gr.	0,5	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85
UNE 102031

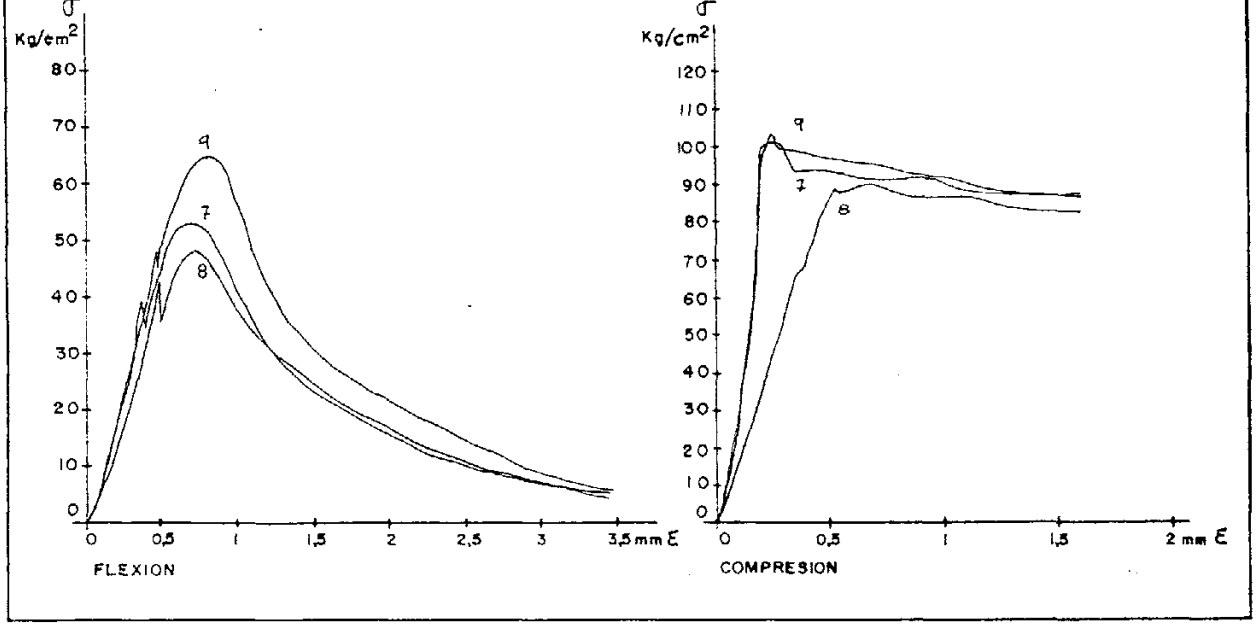
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FA DA 7	FA DA 8	FA DA 9
CAMARA HUMEDA			
	400,6	402,5	404,0
	398,1	399,8	401,0
	397,5	399,2	400,2
	397,4	399,1	399,5
	396,6	398,6	398,9
ESTUFA 40°C	395,7	397,7	397,8
	281,3	282,3	284,1
	281,3	282,3	284,0

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	52,75	48,50	65,5
VALOR MEDIO		55,58	
COMPRESION	97,68	92,56	105,37
VALOR MEDIO		98,54	

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ: E-35-L
ADICION: FIBRA ACRILICA (DOLANIT)
DISPERSION COP. ESTERES ACIDO ACRILICO (MOWITON M-300)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	18,75	gr.....	2,5	%
	3,75	gr.....	0,5	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85
UNE 102031

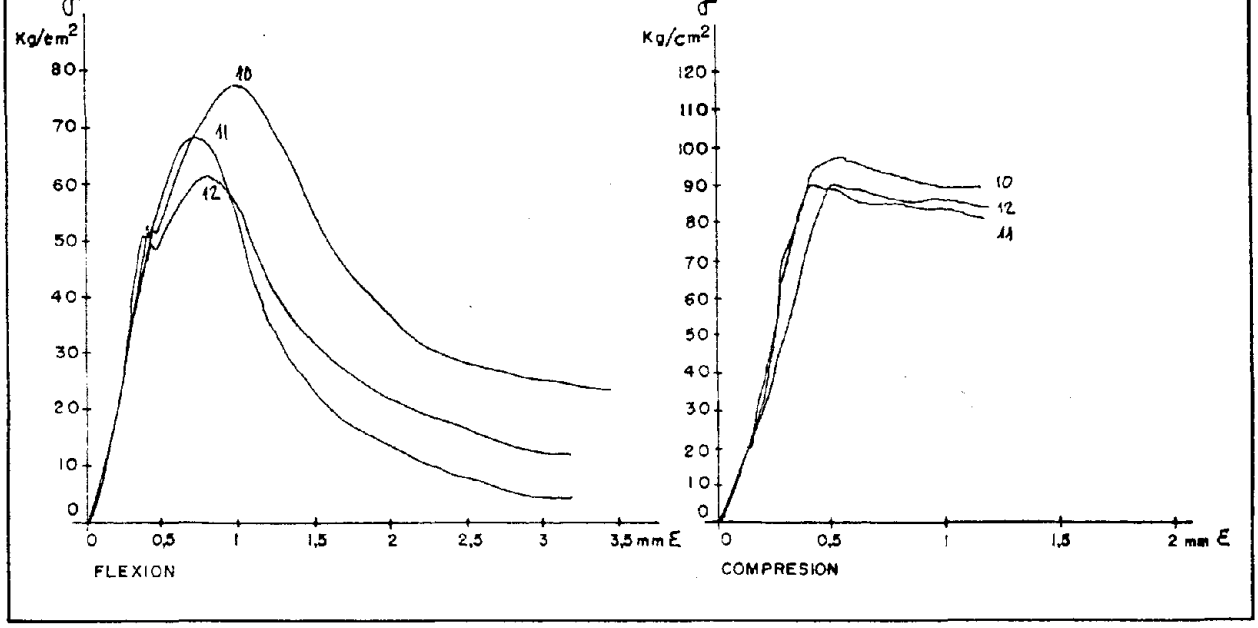
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FA DA 10	FA DA 11	FA DA 12
CAMARA HUMEDA			
	397,2	402,0	406,0
	396,4	401,4	405,2
	395,9	401,1	404,6
	395,1	400,4	403,8
	–	–	–
ESTUFA 40°C	394,2	400,0	403,2
	284,0	288,8	292,7
	284,0	288,8	292,6

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	76,25	67,50	62,0
VALOR MEDIO		68,58	
COMPRESION	97,69	85,25	90,94
VALOR MEDIO		91,29	

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA ACRILICA (DOLANIT)

DISPERSION COP. ESTERES ACIDO ACRILICO (MOWITON M-300)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	22,5	gr.....	3	%
	3,75	gr.....	0,5	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

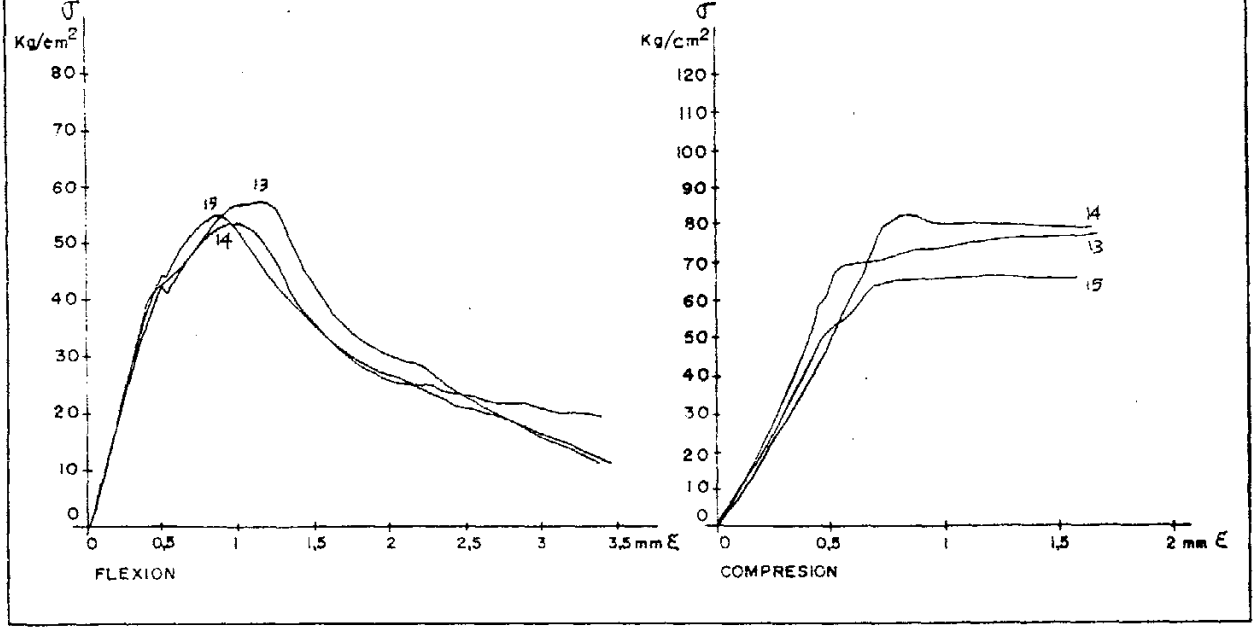
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FA DA 13	FA DA 14	FA DA 15
CAMARA HUMEDA			
	403,8	406,8	398,8
	403,3	406,6	398,0
	-	-	-
	402,0	405,7	396,9
	401,4	405,3	396,2
ESTUFA 40°C	400,7	404,9	395,6
	290,0	294,1	285,9
	289,8	293,9	285,7

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	57,0	53,25	54,25
VALOR MEDIO	54,83		
COMPRESION	75,94	82,25	66,25
VALOR MEDIO	74,81		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



FIBRA DE POLIESTER (NUREL)

MEZCLAS BINARIAS

COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ E-35-L

ADICION FIBRA DE POLIESTER (NUREL)

POLICONDENSADO DE MELAMINA FORMALDEHIDO (MELMENT F.10

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	15	gr.....	2	%
	7,5	gr.....	1	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

PESOS PARCIALES

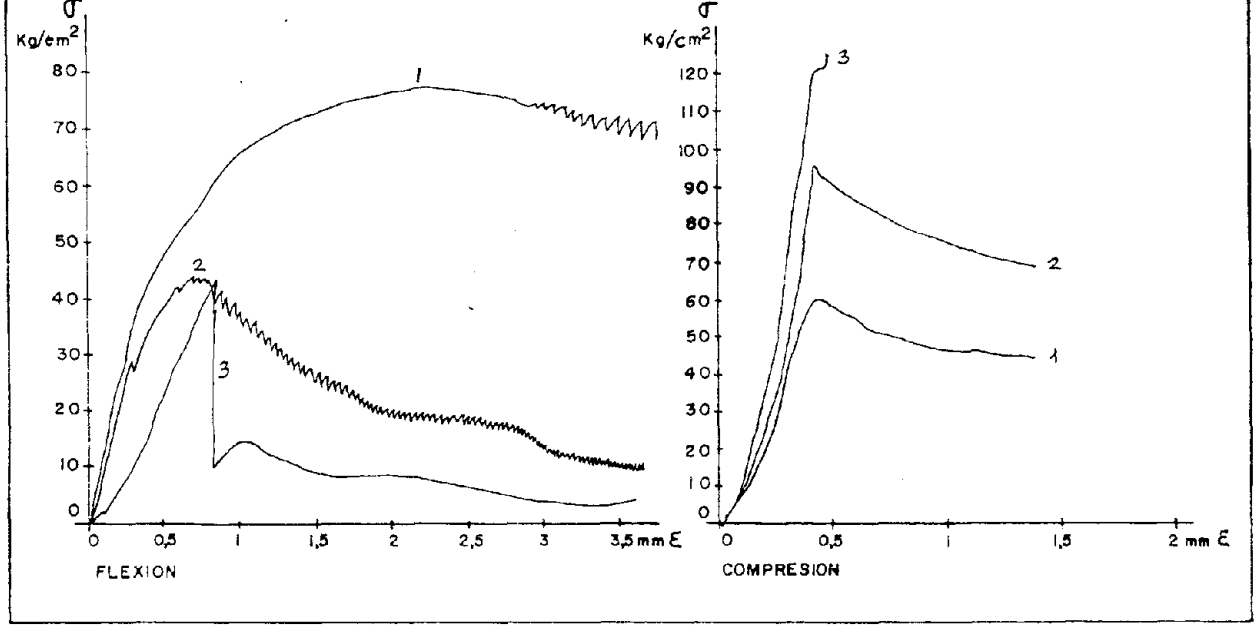
Nº DIAS	SERIE		
	FP-DM-1	FP-DM-2	FP-DM-3
CAMARA HUMEDA			
	381,3	407,8	418,0
	379,4	405,9	414,3
	377,8	405,8	412,6
	377,4	405,8	412,2
	376,8	405,7	411,5
ESTUFA 40°C	256,0	289,7	323,8
	243,6	282,3	322,4
	243,5	282,2	322,4

FP-DM-3 Pérdida de masa al desmoldar.

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
		Mala distribución	Pérdida de masa
FLEXION	75,0	42,5	43,75
VALOR MEDIO	75,0		
COMPRESION	59,68	95,18	125
VALOR MEDIO	93,29		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIESTER (NUREL)

POLICONDENSADO DE MELAMINA FORMALDEHIDO (MELMENT F-10)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	13,125	gr.....	1,75	%
	3,75	gr.....	0,5	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

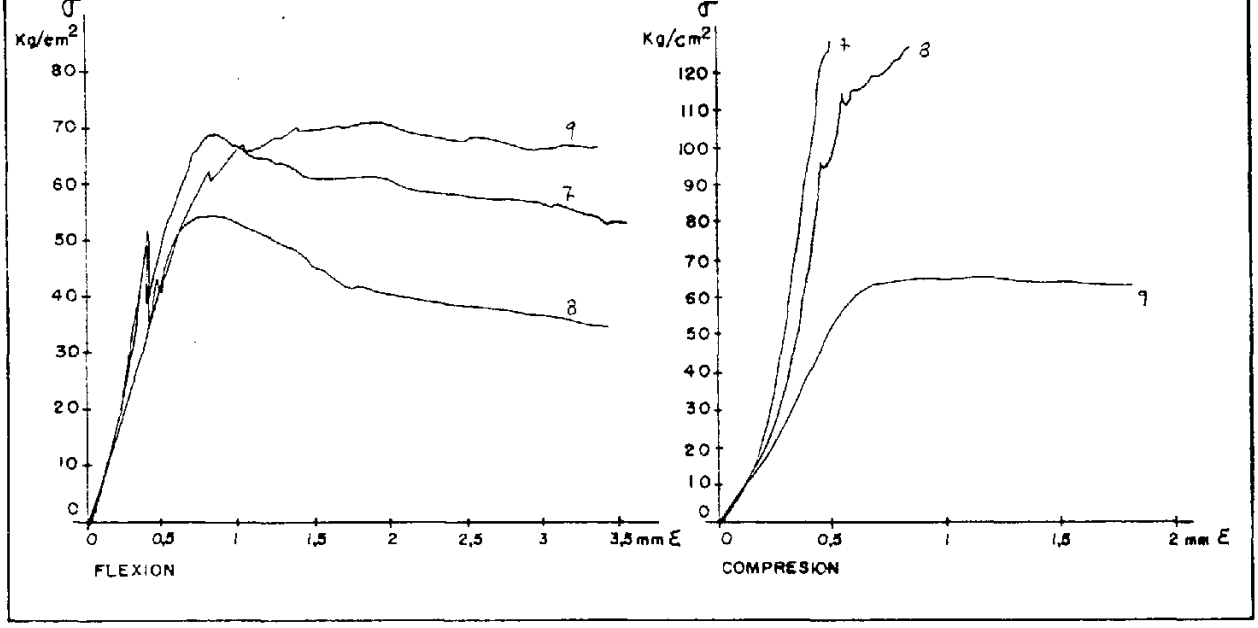
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FP DM 7	FP DM 8	FP DM 9
CAMARA HUMEDA			
	424,0	423,7	400,6
	420,9	420,5	397,6
	419,2	419,7	396,0
	418,7	419,4	395,4
	417,9	418,9	394,8
ESTUFA 40°C	417,2	418,4	393,8
	368,8	388,1	332,5
	303,5	306,5	269,9

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	66,0	52,5	68,75
VALOR MEDIO	62,42		
COMPRESION	125	125	64,81
VALOR MEDIO	104,93		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ: E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIESTER (NUREL)

POLICONDENSADO DE MELAMINA FORMALDEHIDO (MELMENT F-10)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	18,75	gr.....	2,5	%
	3,75	gr.....	0,5	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

PESOS PARCIALES

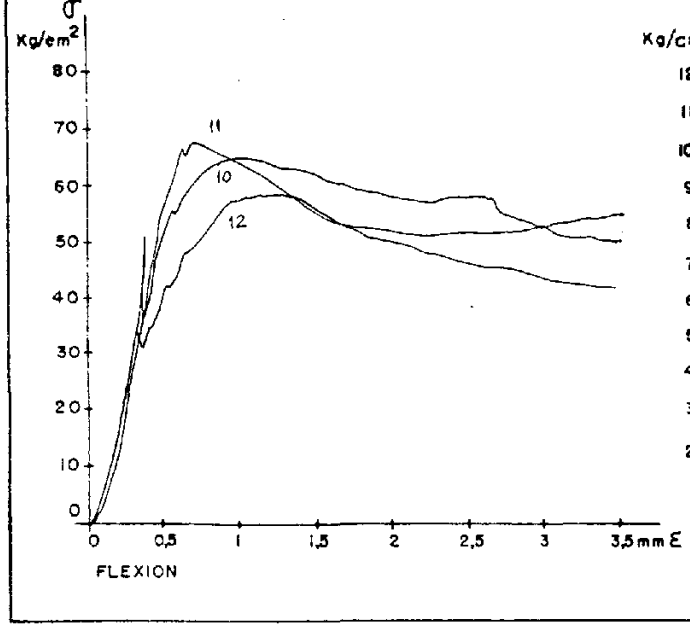
Nº DIAS	SERIE		
	FP DM 10	FP DM 11	FP DM 12
CAMARA HUMEDA			
	415,6	414,0	387,9
	414,4	413,4	386,6
	413,3	412,8	385,2
	412,3	412,0	384,3
	411,0	411,0	382,5
ESTUFA 40°C	410,3	410,4	381,8
	302,5	295,2	264,1
	302,5	295,1	264,0

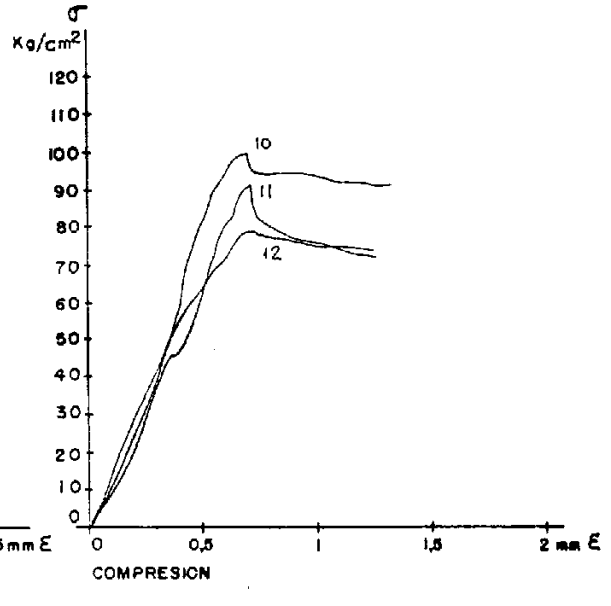
FP DM 12 Coqueras visibles

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	63,5	66,5	57,25
VALOR MEDIO	62,42		
COMPRESION	98,31	91,37	80,12
VALOR MEDIO	89,93		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION





COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIESTER (NUREL)

POLICONDENSADO DE MELAMINA FORMALDEHIDO (MELMENT F-10)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	15	gr.....	2
	3,75	gr.....	0,5

%

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

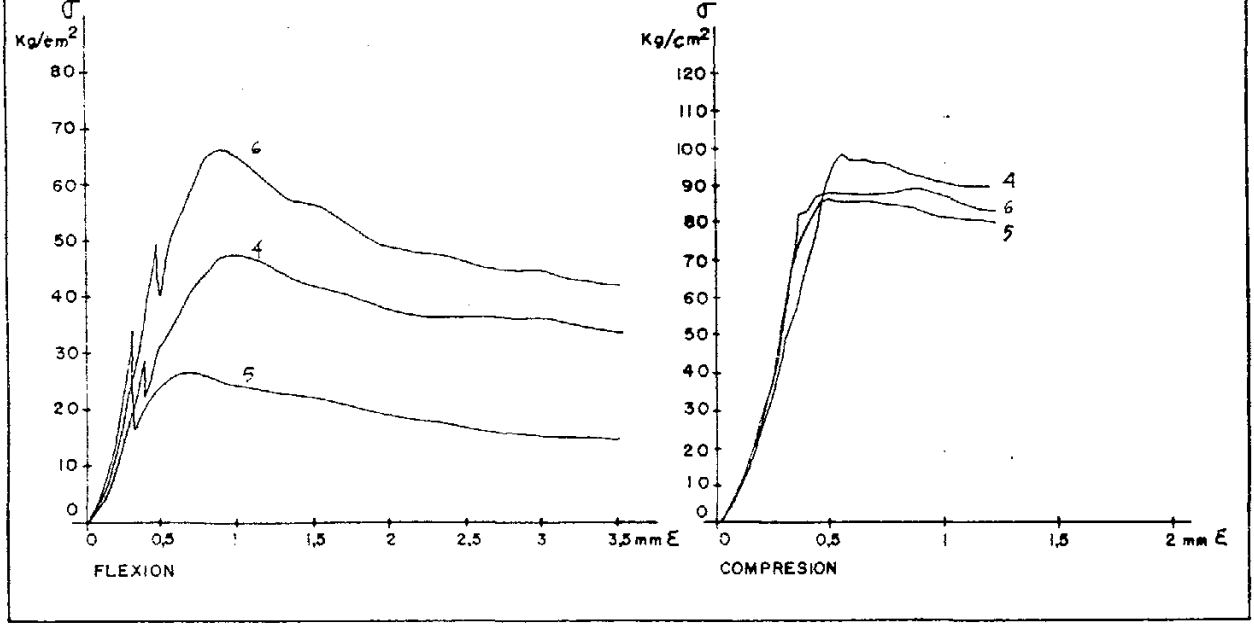
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FP DM 4	FP DM 5	FP DM 6
CAMARA HUMEDA			
	414,9	429,1	424,2
	414,2	428,6	423,4
	413,4	428,2	422,2
	412,8	428,0	421,6
	411,6	427,3	420,5
ESTUFA 40°C	410,5	426,5	419,4
	347,1	401,8	381,9
	291,8	314,1	301,0

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
		Mala distribución fibra	
FLEXION	49,25	34,0	65,0
VALOR MEDIO	57,12		
COMPRESION	100,81	87,0	89,37
VALOR MEDIO	92,39		

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ E-35-L
ADICION FIBRA DE POLIESTER (NUREL)
POLICONDENSADO DE MELAMINA FORMALDEHIDO (MELMENT F-10)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	22,5	gr.....	3	%
	3,75	gr.....	0,5	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85
UNE 102031

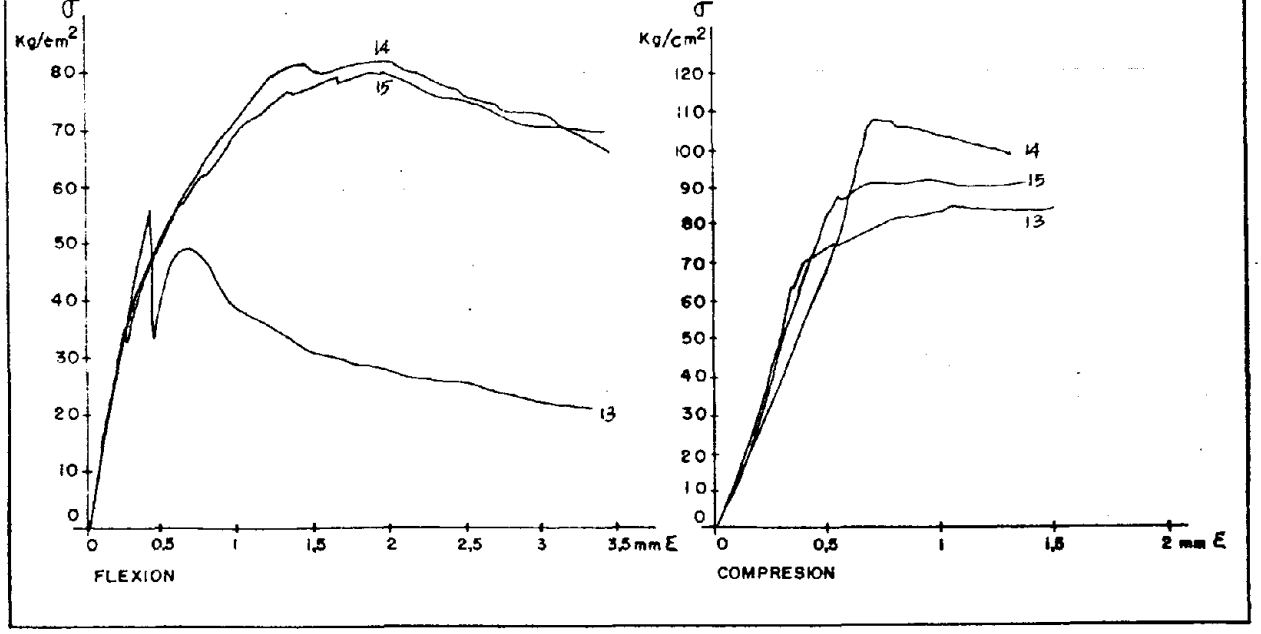
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FP DM 13	FP DM 14	FP DM 15
CAMARA HUMEDA			
	433,6	409,3	409,8
	-	-	-
	432,4	408,1	408,0
	431,8	407,5	407,3
	431,0	406,9	406,4
ESTUFA 40°C	429,6	405,8	404,6
	315,9	282,6	283,3
	315,8	282,5	283,2

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	52,5	80,25	78,75
VALOR MEDIO	70,50		
COMPRESION	83,62	107,31	92,18
VALOR MEDIO	94,37		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L
ADICION: FIBRA DE POLIESTER (NUREL)
DISPERSION DE ACETATO DE P.V. (MOWILITH DS- PULVER)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	2
CANTIDAD ADICION	15	gr.....	1 %
	7,5	gr.....	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85
UNE 102031

PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FP-DAP 1	FP-DAP 2	FP-DAP 3
CAMARA HUMEDA			
	379,6	387,4	397,2
	377,0	385,1	394,4
	376,0	384,6	393,5
	375,2	384,3	392,7
	372,7	382,6	391,9
ESTUFA 40°C	279,9	289,9	296,9
	261,7	275,9	288,6
	261,6	275,8	288,5

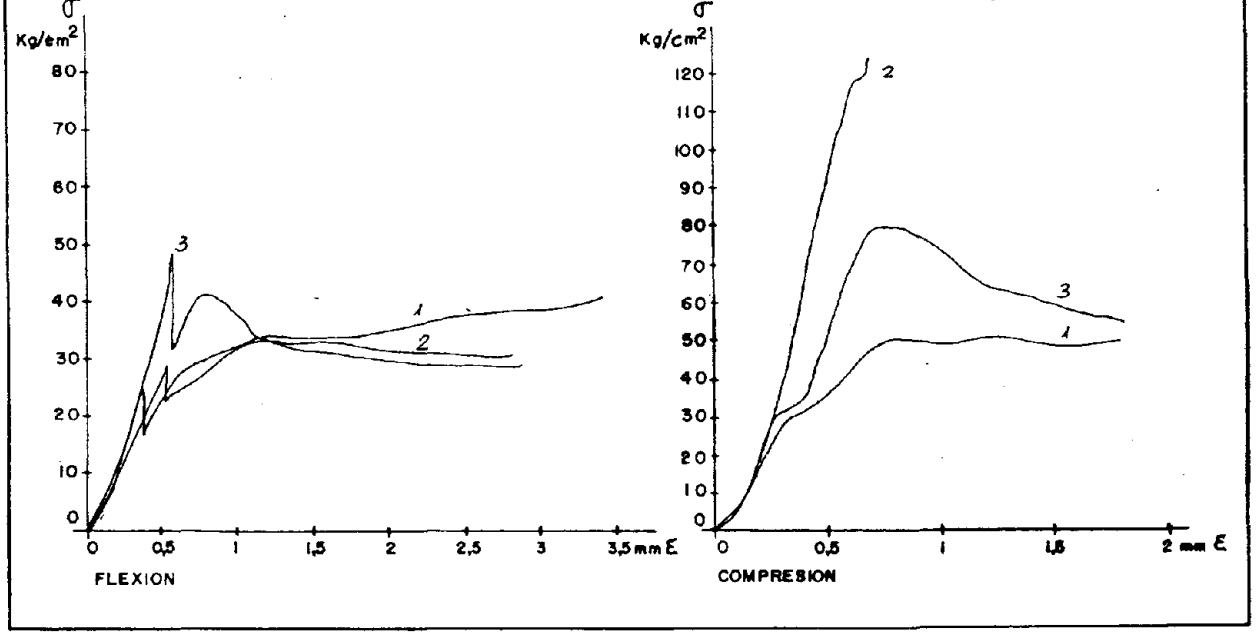
Dificultades de compactación todas mayores FP-DAP 1.

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
		Coqueras visibles	
FLEXION	40,0	32,5	47,0
VALOR MEDIO	39,85		
COMPRESION	36,06	>125	101
VALOR MEDIO	87,35		

Anulación del ensayo.

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIESTER (NUREL)

DISPERSION DE ACETATO DE PV (MOWILITH DS PULVER)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	15	gr.....	2
	7,5	gr.....	1 %

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

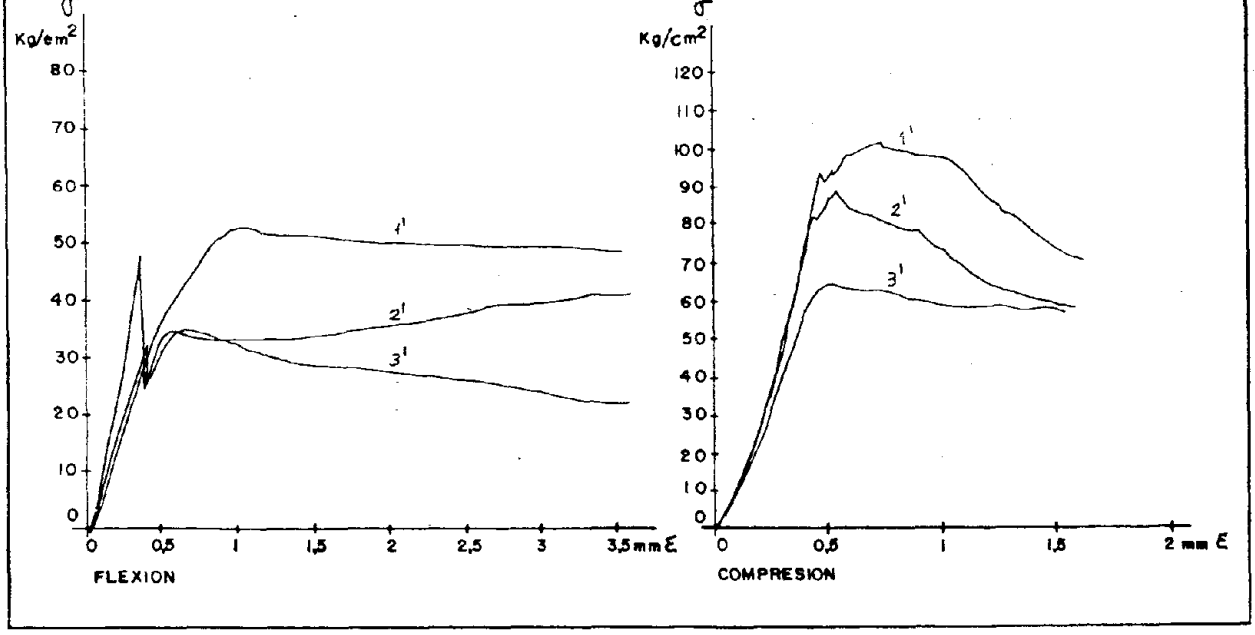
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FP DAP 1'	FP DAP 2'	FP DAP 3'
CAMARA HUMEDA			
	405,3	412,6	393,3
	402,4	410,1	391,6
	401,2	409,2	389,9
	400,3	408,6	388,6
	399,7	408,2	387,8
ESTUFA 40°C	398,6	407,6	386,6
	291,8	308,8	268,4
	288,5	297,9	264,8

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	52,0	45,75	39,25
VALOR MEDIO		45,66	
COMPRESION	101,87	88,06	62,69
VALOR MEDIO		84,21	

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIESTER (NUREL)

DISPERSION DE ACETATO DE P.V. (MOWILITH DS PULVER)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	2	%
CANTIDAD ADICION	15	gr.....	0,5	
	3,75	gr.....		

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

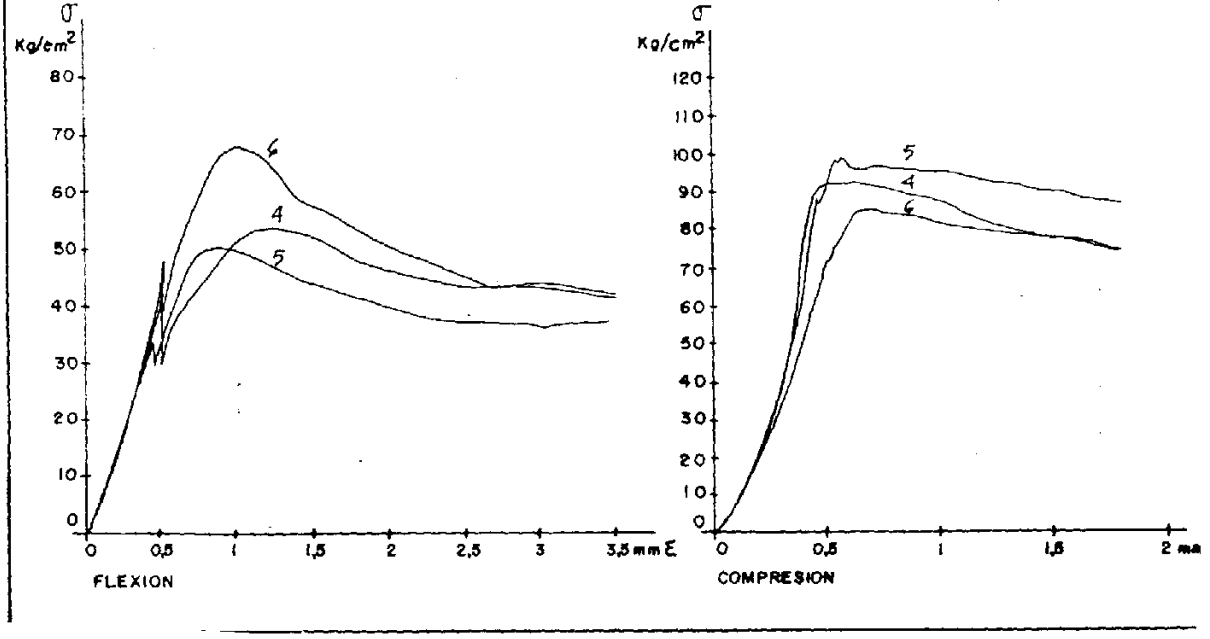
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FP DAP 4	FP DAP 5	FP DAP 6
CAMARA HUMEDA			
	406,3	415,3	407,2
	405,0	414,5	406,1
	402,7	413,4	404,0
	401,5	412,6	402,5
	400,4	412,2	401,6
ESTUFA 40°C	399,3	411,4	400,5
	330,3	317,0	289,6
	286,5	299,1	287,5

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	50,50	48,25	65,75
VALOR MEDIO	54,83		
COMPRESION	94,56	100,25	85,87
VALOR MEDIO	93,56		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIESTER (NUREL)

DISPERSION DE ACETATO DE P.V. (MOWILITH DS PULVER)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	13,125	gr.....	1,75	%
	3,75	gr.....	0,5	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

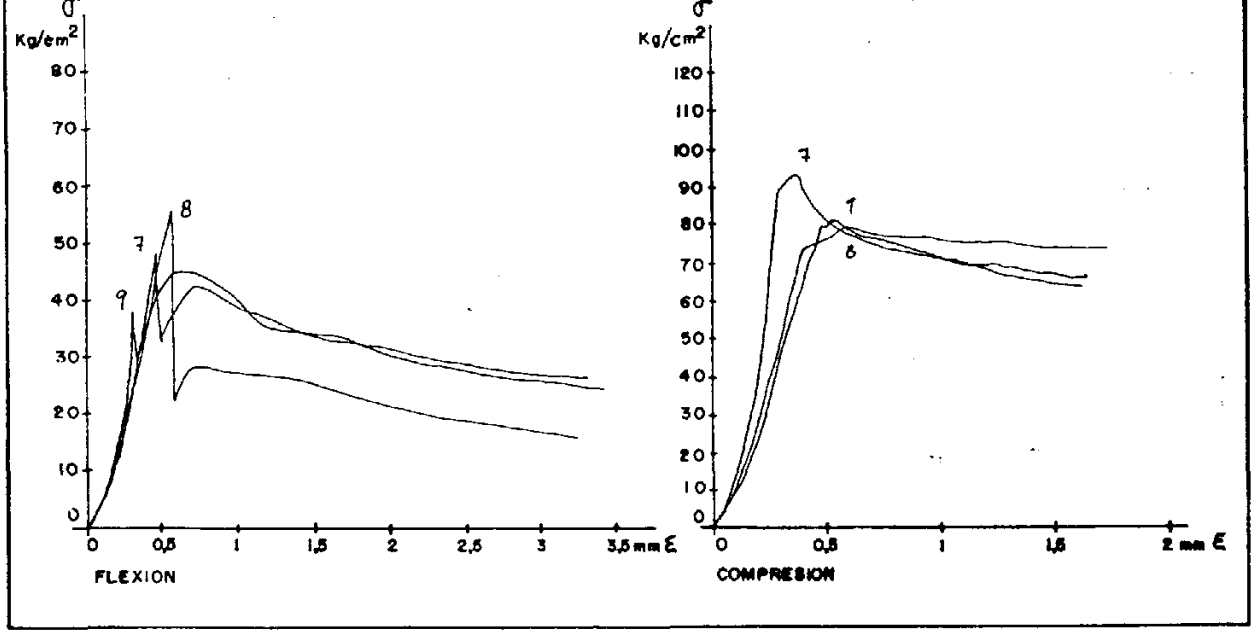
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	S E R I E		
	FP DAP 7	FP DAP 8	FP DAP 9
CAMARA HUMEDA			
	410,3	401,5	403,2
	409,5	401,0	402,2
	408,2	400,3	400,5
	407,5	399,9	399,3
	406,6	399,1	398,1
ESTUFA 40°C	405,9	398,6	397,1
	347,5	292,4	285,7
	296,7	282,5	284,8

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	S E R I E		
FLEXION	49,0	53,0	44,50
VALOR MEDIO	48,83		
COMPRESION	99,37	79,31	80,81
VALOR MEDIO	86,50		

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ: E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIESTER (NUREL)

DISPERSION DE ACETATO DE P.V. (MOWILITH DS PULVER)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	18,75	gr.....	2,5	%
	3,75	gr.....	0,5	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

PESOS PARCIALES

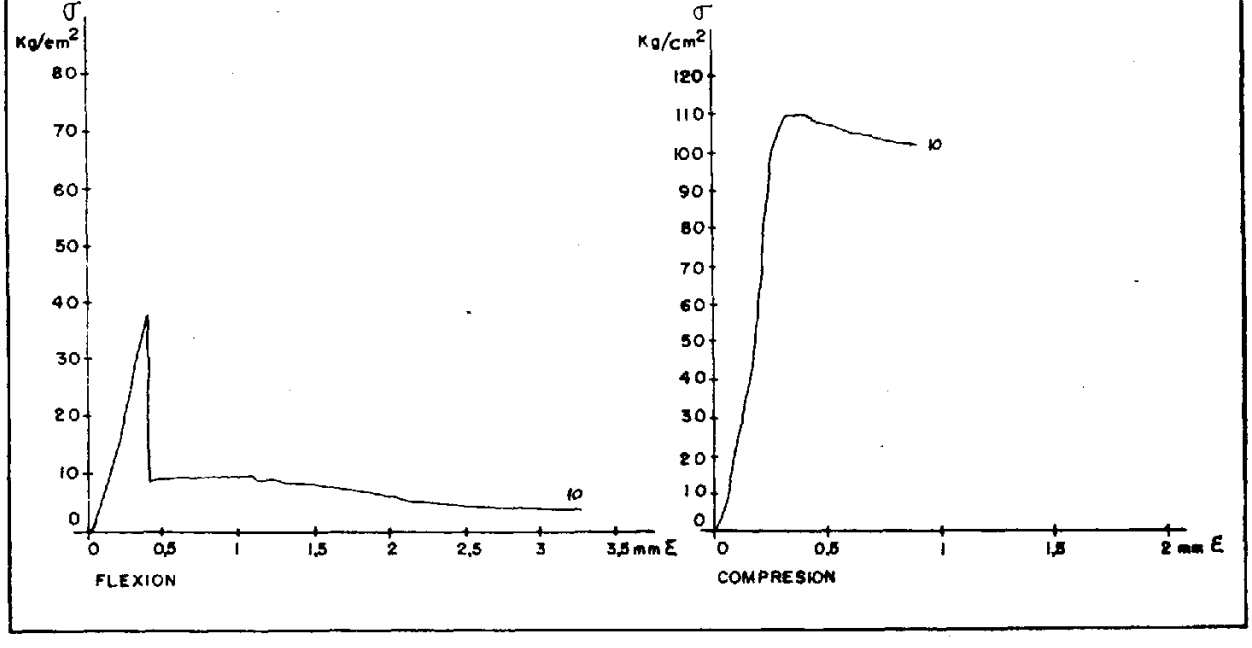
Nº DIAS	SERIE		
	FP DAP 10	FP DAP 11	FP DAP 12
CAMARA HUMEDA			
	409,7	-	-
	405,8	-	-
	405,0	-	-
	403,5	-	-
	402,5	-	-
ESTUFA 40°C	400,9	-	-
	305,8	-	-
	305,5	-	-

Dificultades de compactación

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	38,50	-	-
VALOR MEDIO	38,50		
COMPRESION	111,37	-	-
VALOR MEDIO	111,37		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L
ADICION: FIBRA DE POLIESTER (NUREL)
DISPERSION DE ACETATO DE P.V. (MOWILITH DS PULVER)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	22,5	gr.....	3	%
	3,75	gr.....	0,5	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85
UNE 102031

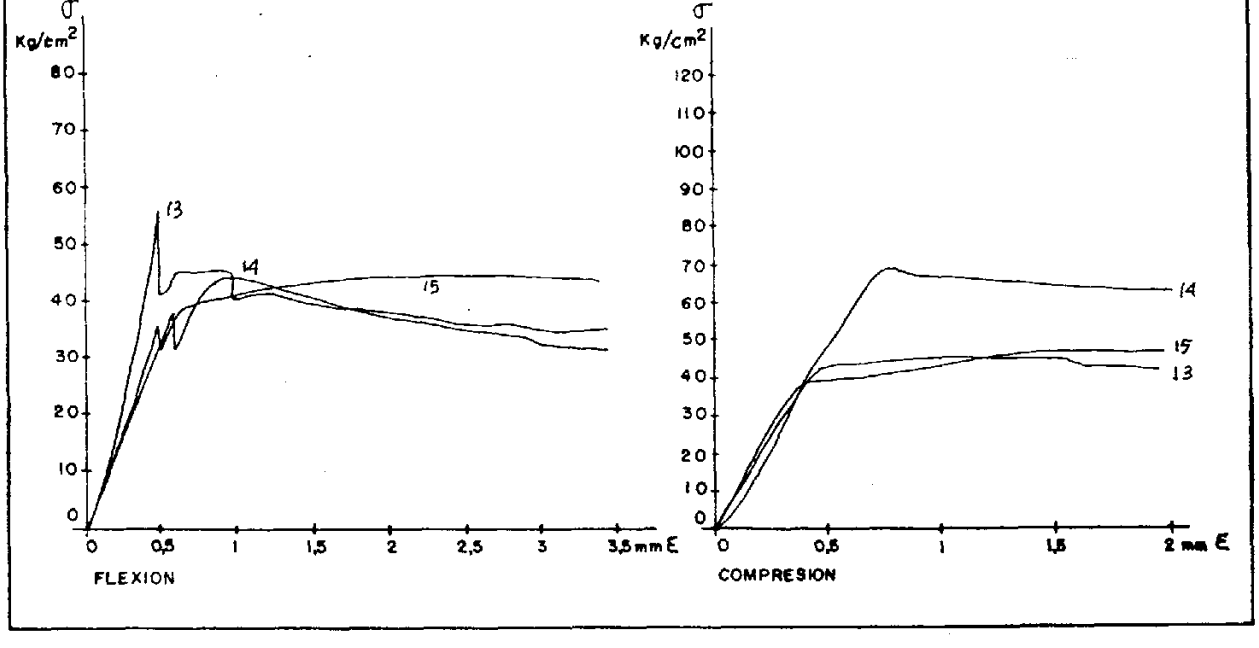
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FP DAP 13	FP DAP 14	FP DAP 15
CAMARA HUMEDA			
	420,2	407,0	392,4
	419,5	406,7	391,1
	418,9	406,4	390,5
	-	-	-
	417,8	405,9	389,1
ESTUFA 40°C	417,1	405,5	388,0
	311,0	293,5	270,5
	310,7	292,7	270,2

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	69,25	43,5	43,75
VALOR MEDIO	52,16		
COMPRESION	45,06	71,87	49,37
VALOR MEDIO	55,43		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ: E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIESTER (NUREL)

DISPERSION COP. ESTERES ACIDO ACRILICO (MOWITON M-300)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	15	gr.....	2	%
	7,5	gr.....	1	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

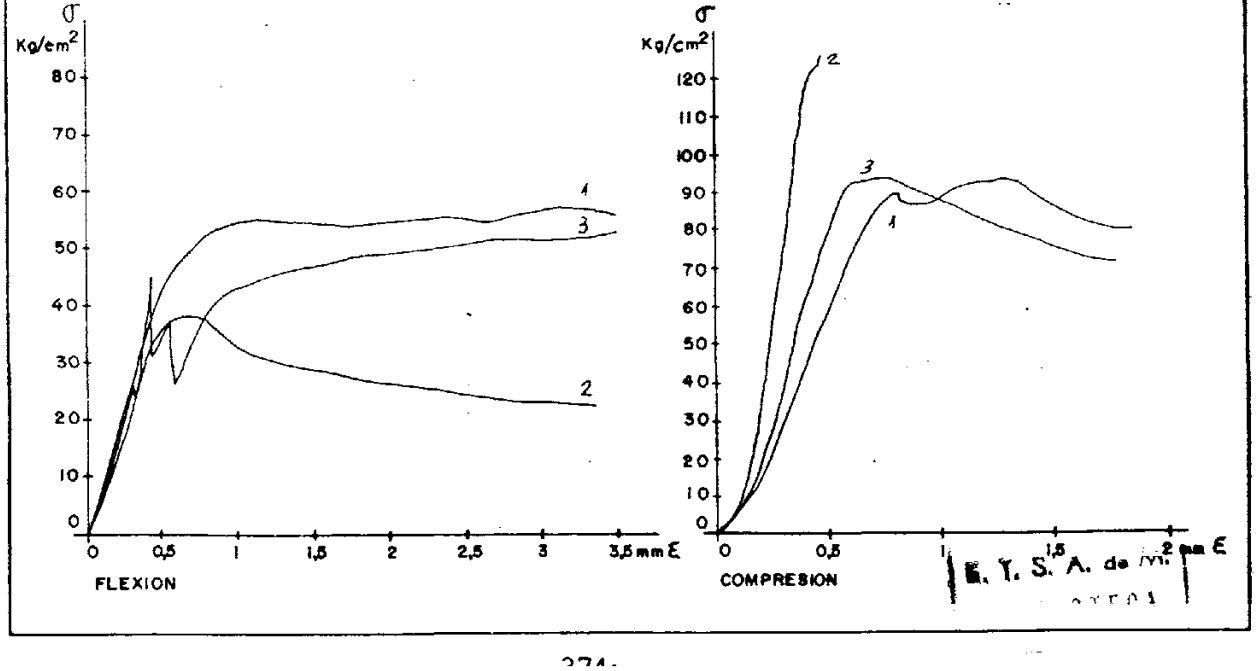
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FP-DA-1	FP-DA-2	FP-DA-3
CAMARA HUMEDA			
	385,1	405,8	399,5
	382,0	403,5	396,5
	380,4	403,5	395,6
	378,7	403,5	394,9
	377,3	403,5	394,3
ESTUFA 40°C	375,4	403,0	393,6
	263,7	299,2	284,6
	263,5	298,9	284,4

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
		Mala distribución fibra	
FLEXION	55,0	47,25	52,50
VALOR MEDIO	53,75		
COMPRESION	92,87	>125	92,06
VALOR MEDIO	103,31		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



E. T. S. A. de

COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIESTER (NUREL)

DISPERSION COP. ESTERES ACIDO ACRILICO (MOWITON M-300)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	15	gr.....	2	%
	3,75	gr.....	0,5	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

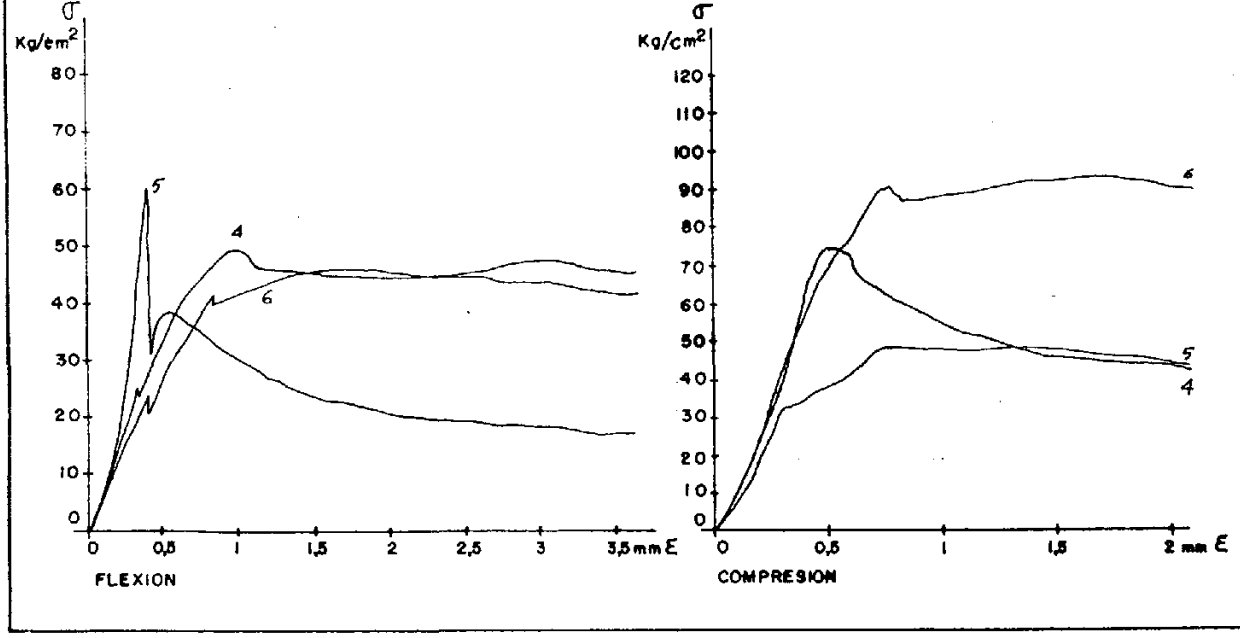
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FP DA 4	FP DA 5	FP DA 6
CAMARA HUMEDA			
	410,2	399,0	415,3
	407,3	395,9	413,2
	406,5	394,3	412,7
	406,4	392,9	413,1
	405,3	390,8	412,2
ESTUFA 40°C	404,4	389,8	411,3
	289,0	277,0	300,2
	288,6	276,6	299,9

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	48,0	57,75	45,25
VALOR MEDIO	50,33		
COMPRESION	76,06	49,0	93,93
VALOR MEDIO	73,0		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ · E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIESTER (NUREL)

DISPERSION COP. ESTERES ACIDO ACRILICO (MOWITON M-300)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	13,125	gr.	1,75	%
	3,75	gr.	0,5	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

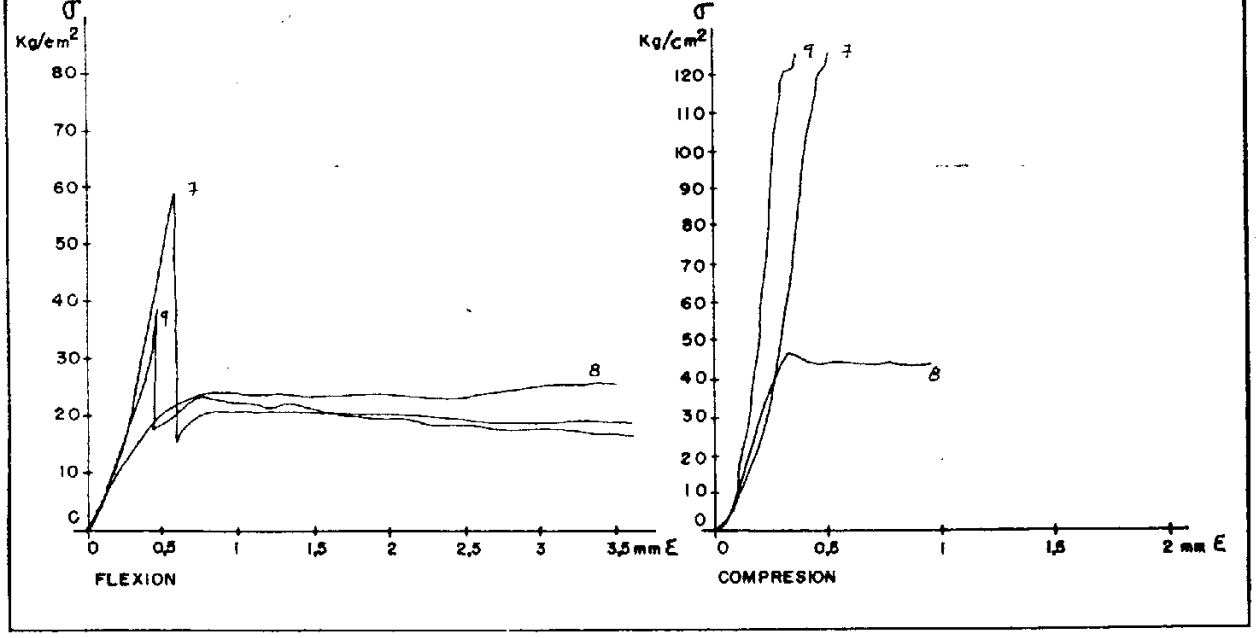
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	S E R I E		
	FP DA 7	FP DA 8	FP DA 9
CAMARA HUMEDA			
	416,0	367,4	398,7
	415,8	365,9	398,5
	415,4	364,8	398,3
	415,4	361,6	397,4
	414,2	360,3	396,3
ESTUFA 40°C	413,8	359,3	395,8
	313,1	235,8	287,6
	313,0	235,8	287,6

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	S E R I E		
		Mala distribución fibra	
FLEXION	57,50	26,0	36,25
VALOR MEDIO	46,87		
COMPRESION	>125	44,12	>125
VALOR MEDIO	>125		

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIESTER (NUREL)

DISPERSION COP. ESTERES ACIDO ACRILICO (MOKITON M-300)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	18,75	gr.....	2,5	%
	3,75	gr.....	0,5	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

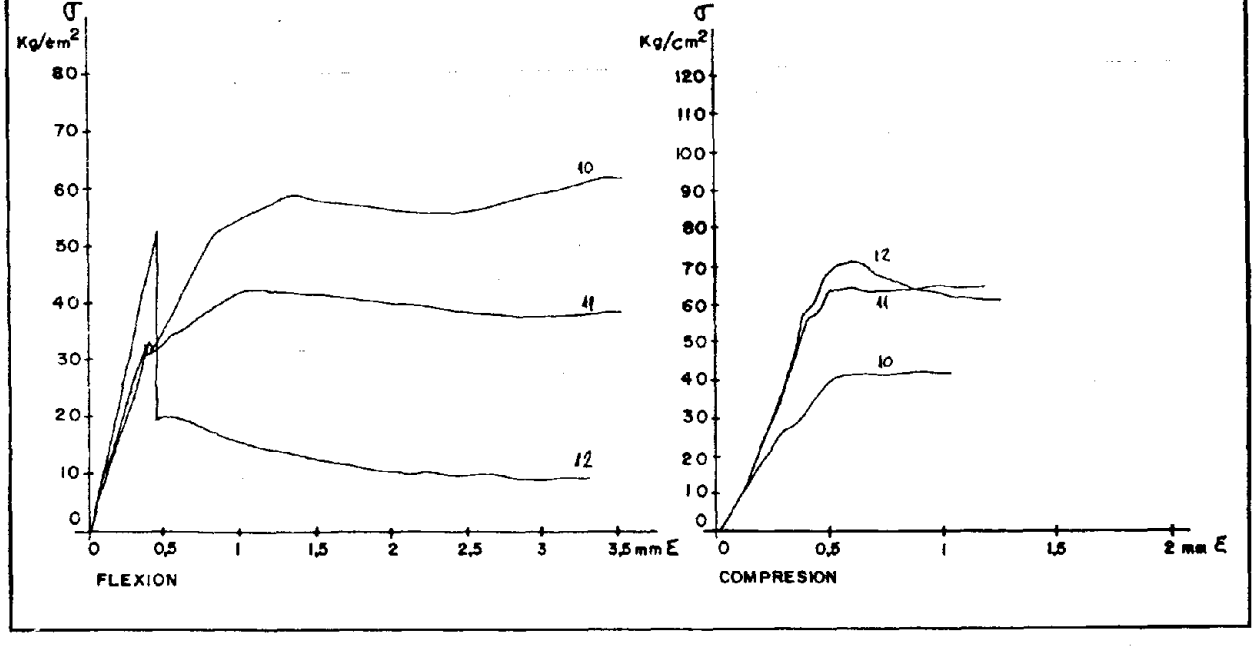
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	S E R I E		
	FP DA 10	FP DA 11	FP DA 12
CAMARA HUMEDA			
	382,8	408,5	417,8
	381,9	407,6	416,9
	380,8	406,8	415,8
	379,6	406,2	415,2
	–	–	–
ESTUFA 40°C	378,8	405,5	414,9
	260,7	296,8	310,8
	252,2	291,1	308,6

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	S E R I E		
FLEXION	62,75	42,50	52,75
VALOR MEDIO	52,66		
COMPRESION	41,81	63,31	70,18
VALOR MEDIO	58,43		

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIESTER (NUREL)

DISPERSION COP. ESTERES ACIDO ACRILICO (MOWITON M-300)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	22,5	gr.....	3	%
	3,75	gr.....	0,5	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

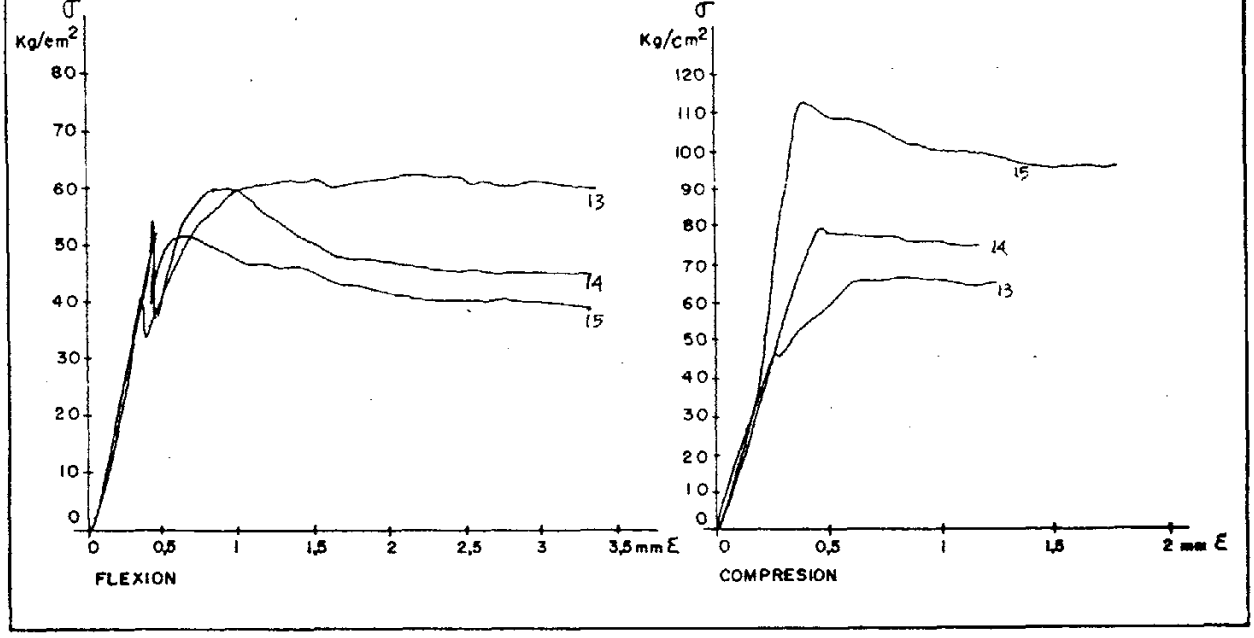
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FP DA 13	FP DA 14	FP DA 15
CAMARA HUMEDA			
	406,3	408,5	415,3
	405,8	408,2	414,8
	–	–	–
	404,9	407,4	413,7
	404,4	407,0	413,0
ESTUFA 40°C	403,4	406,2	412,1
	285,0	292,8	296,5
	285,9	292,6	295,1

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	60,5	59,0	53,5
VALOR MEDIO	57,66		
COMPRESION	67,0	80,12	113,87
VALOR MEDIO	87,0		

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)

MEZCLAS BINARIAS

COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)

POLICONDENSADO DE MELAMINA FORMALDEHIDO (MELMENT F-10)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	15	gr.....	2	%
	7,5	gr.....	1	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

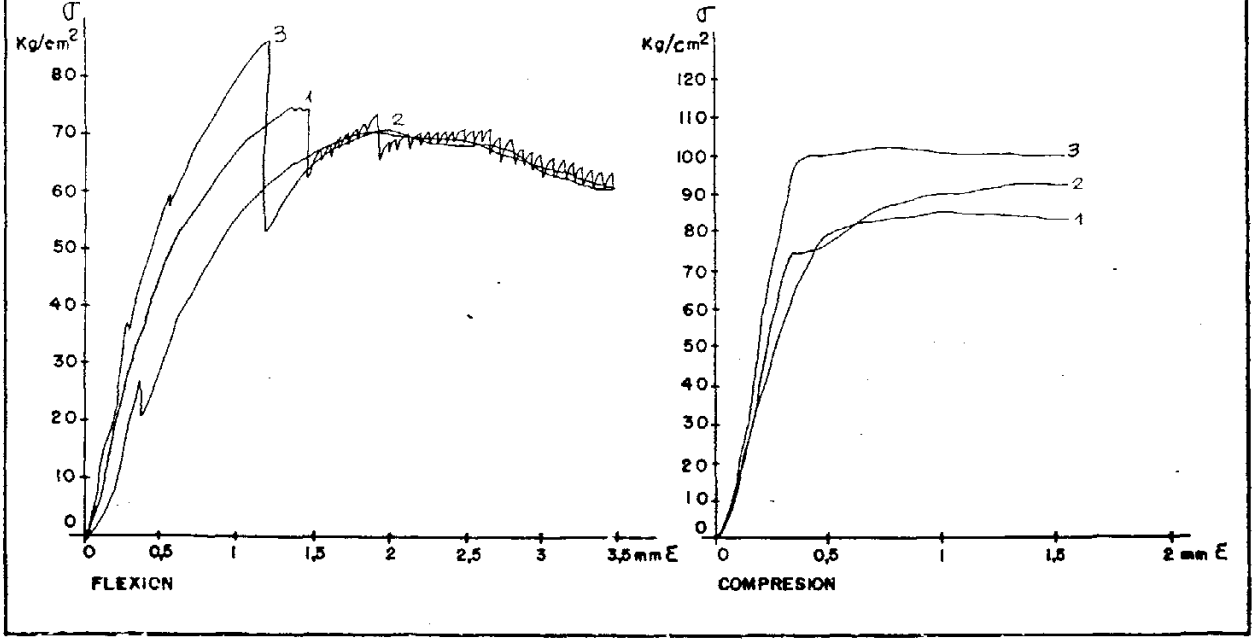
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FPP-DM-1	FPP-DM-2	FPP-DM-3
CAMARA HUMEDA			
	403,2	404,2	404,8
	400,5	401,9	402,2
	399,9	401,6	401,7
	399,0	401,0	400,9
	398,4	400,6	400,2
ESTUFA 40°C	397,7	400,2	399,4
	294,1	292,0	301,9
	283,3	288,1	288,0

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	73,50	69,0	86,0
VALOR MEDIO	76,16		
COMPRESION	84,25	91,31	100,25
VALOR MEDIO	91,93		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)

POLICONDENSADO DE MELAMINA FORMALDEHIDO (MELMENT F-10)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	15	gr.....	2	%
	3,75	gr.....	0,5	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

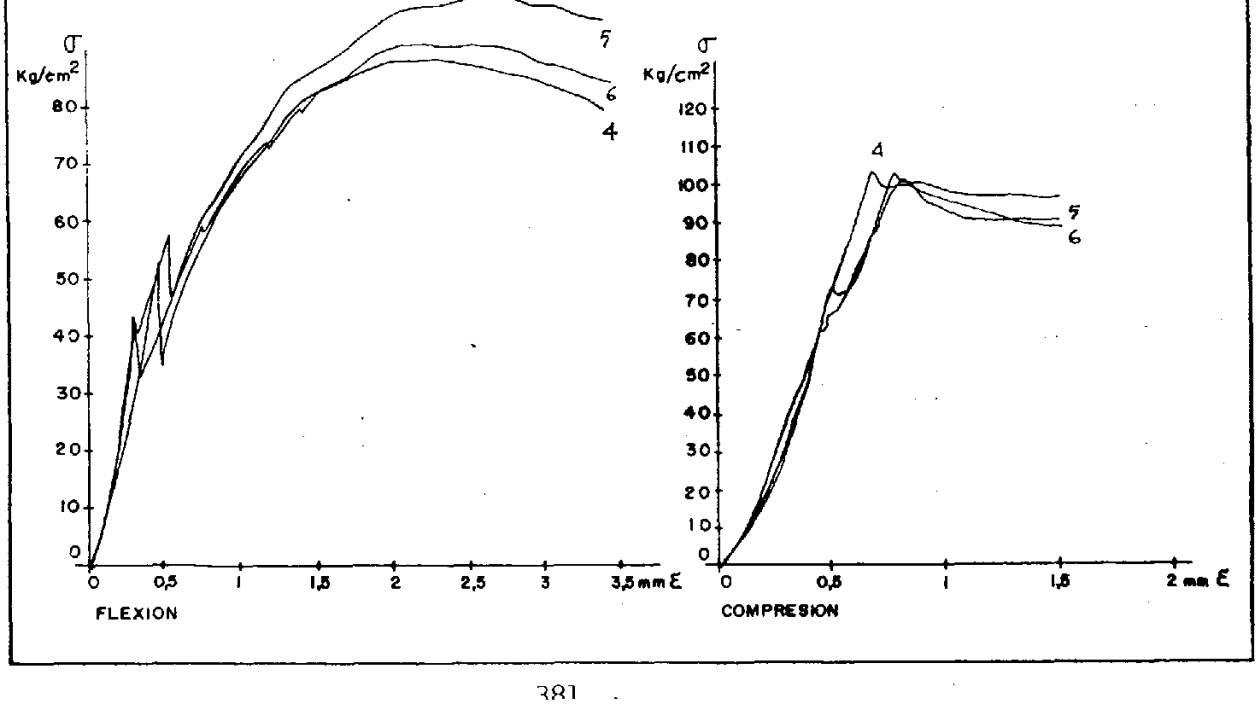
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FPP DM 4	FPP DM 5	FPP DM 6
CAMARA HUMEDA			
	408,7	411,0	406,0
	408,2	410,7	405,5
	407,6	410,1	404,5
	406,9	409,6	403,9
	406,4	409,2	403,2
ESTUFA 40°C	405,4	408,5	402,4
	325,3	304,3	293,3
	293,0	294,6	292,3

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	87,25	97,25	89,50
VALOR MEDIO		91,33	
COMPRESION	105,37	101,25	103,12
VALOR MEDIO		103,25	

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)

POLICONDENSADO DE MELAMINA FORMALDEHIDO (MELMENT F-10)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	1,75	%
CANTIDAD ADICION	13,125	gr.....	0,5	
	3,75	gr.....		

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

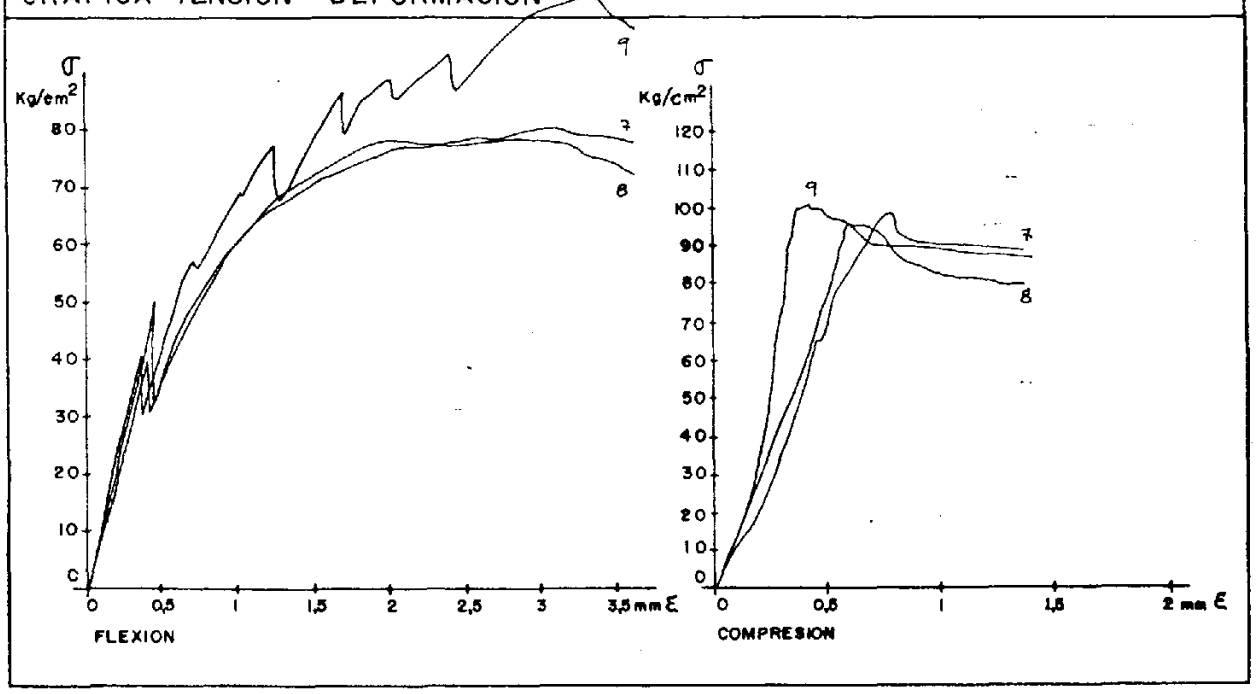
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FPP DM 7	FPP DM 8	FPP DM 9
CAMARA HUMEDA			
	406,0	408,8	407,3
	402,8	406,0	404,4
	401,0	404,8	402,4
	400,4	404,4	401,7
	399,5	403,9	401,1
ESTUFA 40°C	399,0	403,5	400,5
	287,7	290,4	287,3
	287,1	290,1	287,1

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	77,75	101,25	79,25
VALOR MEDIO	86,08		
COMPRESION	99,31	98,94	103,81
VALOR MEDIO	100,69		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)

POLICONDENSADO DE MELAMINA FORMALDEHIDO (MELMENT F-10)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	18,75	gr.	2,5	%
	3,75	gr.	0,5	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

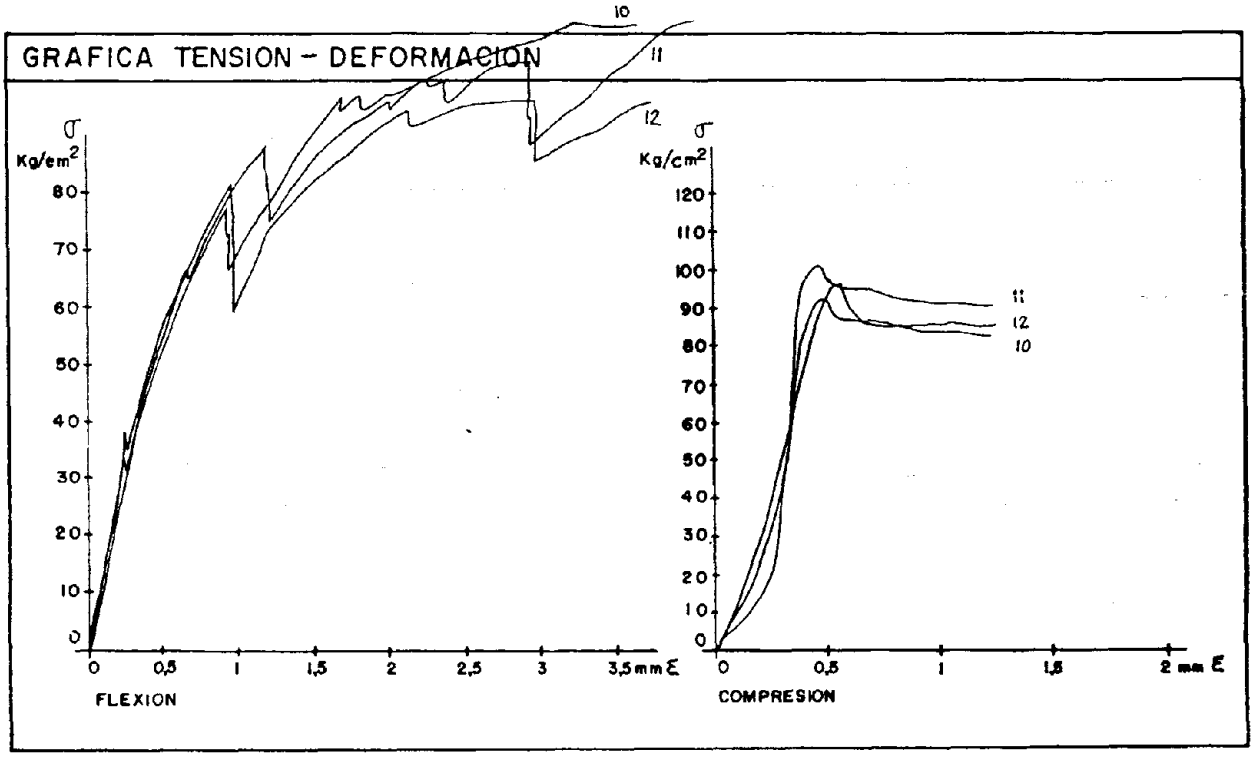
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FPP DM 10	FPP DM 11	FPP DM 12
CAMARA HUMEDA			
	406,2	407,9	405,0
	405,0	407,1	403,8
	403,7	406,1	402,5
	403,2	405,8	402,0
	402,2	405,0	400,8
ESTUFA 40°C	401,5	404,4	399,9
	289,5	290,8	286,4
	289,4	290,7	286,4

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	107,75	108,25	96,0
VALOR MEDIO	104,0		
COMPRESION	96,125	101,81	94,12
VALOR MEDIO	97,35		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ: E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)
POLICONDENSADO DE MELAMINA FORMALDEHIDO (MELMENT F-10)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	22,5	gr.....	3	%
	3,75	gr.....	0,5	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85
UNE 102031

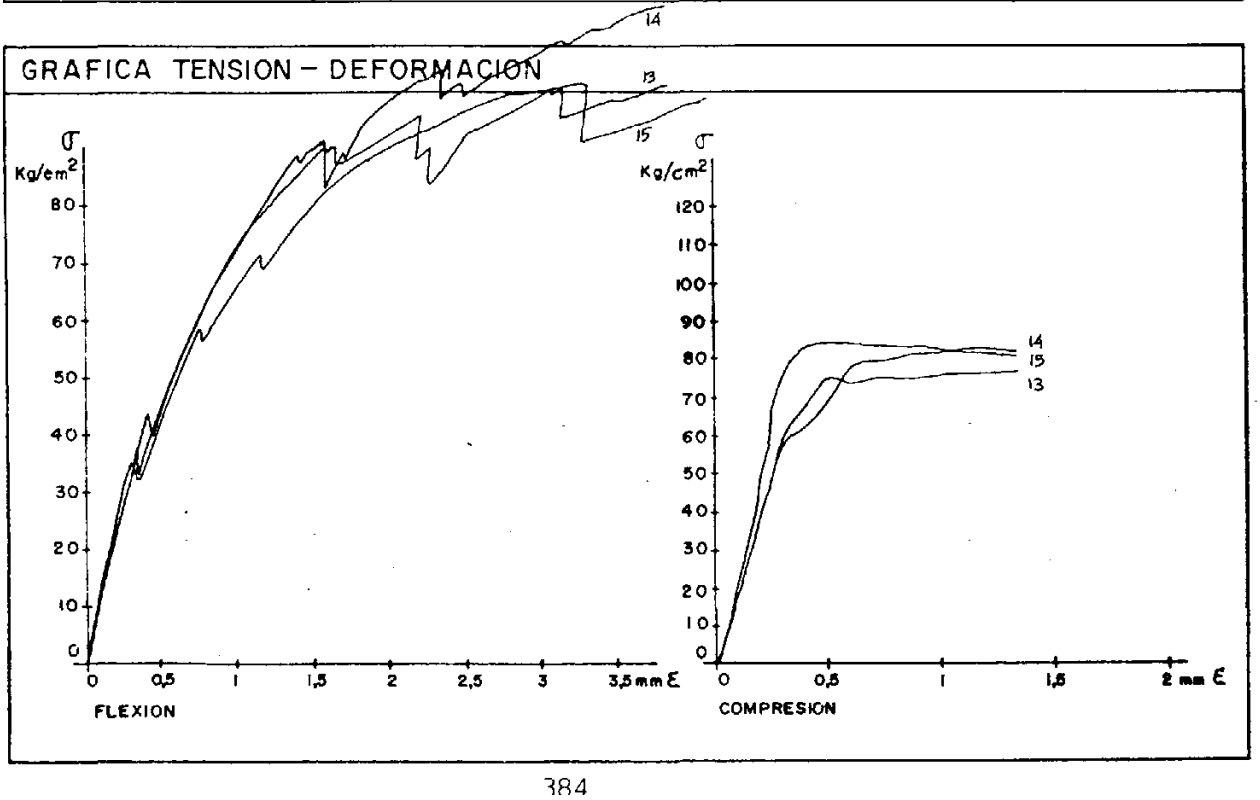
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FPP DM 13	FPP DM 14	FPP DM 15
CAMARA HUMEDA			
	406,5	403,6	410,9
	–	–	–
	405,5	402,4	409,4
	405,0	402,0	408,8
	404,3	401,4	408,1
ESTUFA 40°C	403,3	400,4	406,8
	286,7	284,6	292,3
	286,5	284,5	292,1

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	102,25	113,00	106,5
VALOR MEDIO	107,25		
COMPRESION	77,0	85,81	84,37
VALOR MEDIO	82,39		

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)

DISPERSION DE ACETATO DE P.V. (MOWILITH DS PULVER)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	15	gr.....	2
	7,5	gr.....	1 %

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

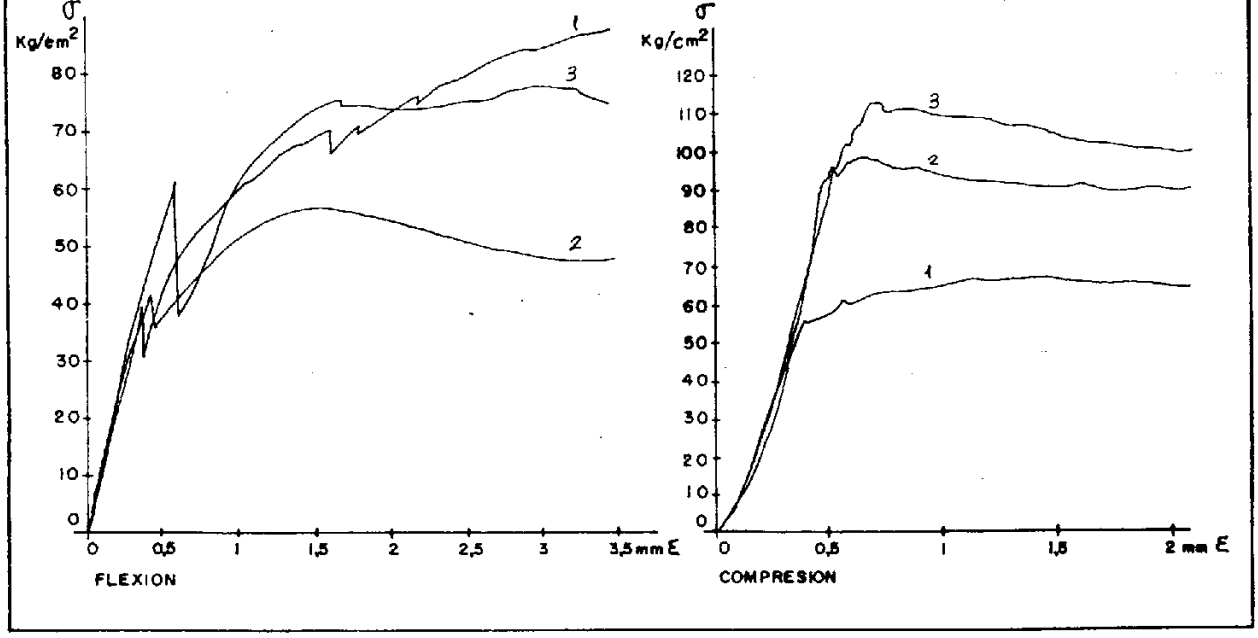
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	S E R I E		
	FPP-DAP 1	FPP-DAP 2	FPP-DAP 3
CAMARA HUMEDA			
	385,9	411,1	406,6
	383,7	409,7	404,7
	382,5	409,1	403,8
	381,5	409,0	403,4
	380,3	408,3	402,6
ESTUFA 40°C	267,9	304,2	298,2
	263,9	299,0	294,9
	263,7	298,9	294,8

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	S E R I E		
		Mala distribución fibra	
FLEXION	89,25	55,0	77,25
VALOR MEDIO	83,25		
COMPRESION	66,62	99,75	113,62
VALOR MEDIO	93,33		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)
DISPERSION DE ACETATO DE P.V. (MOWILITH DS PULVER)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	15	gr.....	2	%
	3,75	gr.....	0,5	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85
UNE 102031

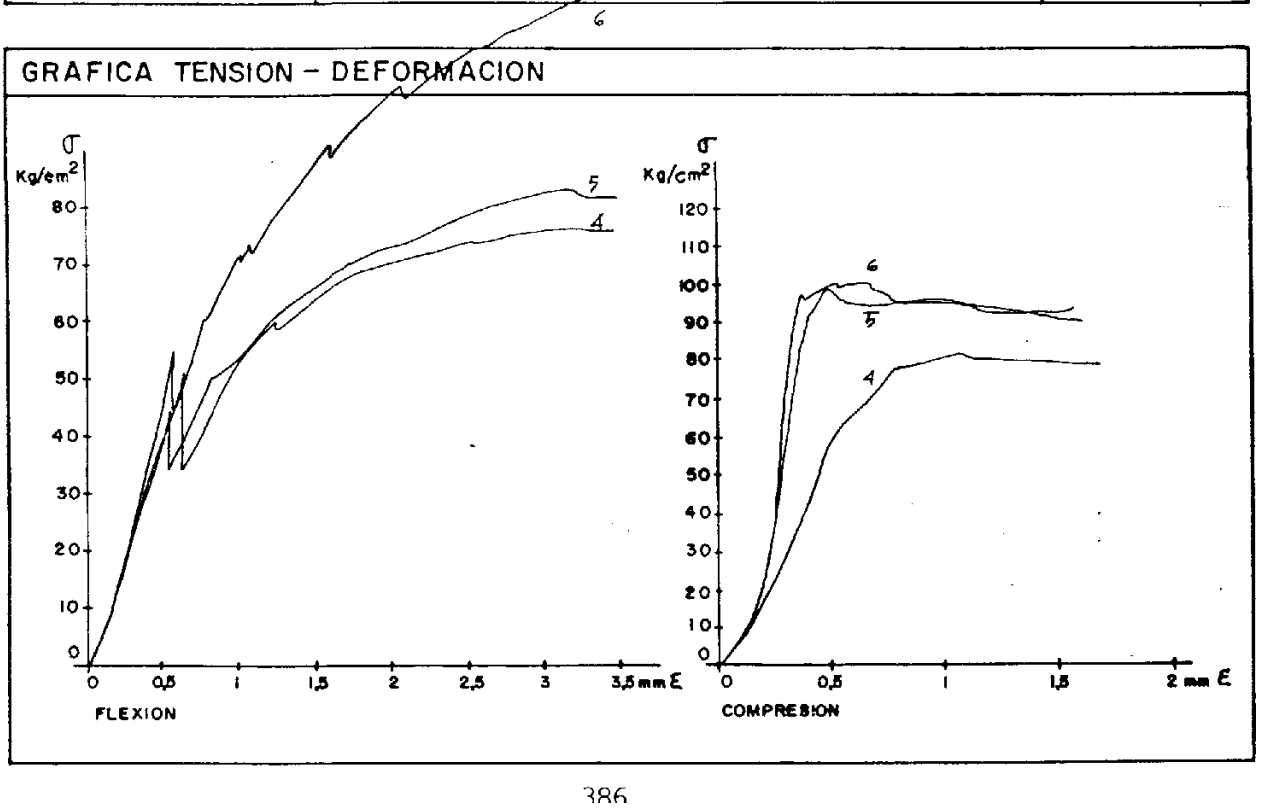
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FPP DAP 4	FPP DAP 5	FPP DAP 6
CAMARA HUMEDA			
	396,3	408,3	411,2
	395,4	407,7	410,4
	394,5	407,0	409,6
	393,4	406,2	408,7
	392,6	405,4	408,0
ESTUFA 40°C	392,2	405,1	407,5
	280,7	291,6	296,6
	280,7	291,6	296,6

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	73,75	80,0	117,75
VALOR MEDIO		90,50	
COMPRESION	80,81	100,62	101,56
VALOR MEDIO		94,33	

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ: E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)
DISPERSION DE ACETATO DE P.V. (MOWILITH DS PULVER)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	13,125	gr.....	1,75	%
	3,75	gr.....	0,5	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85
UNE 102031

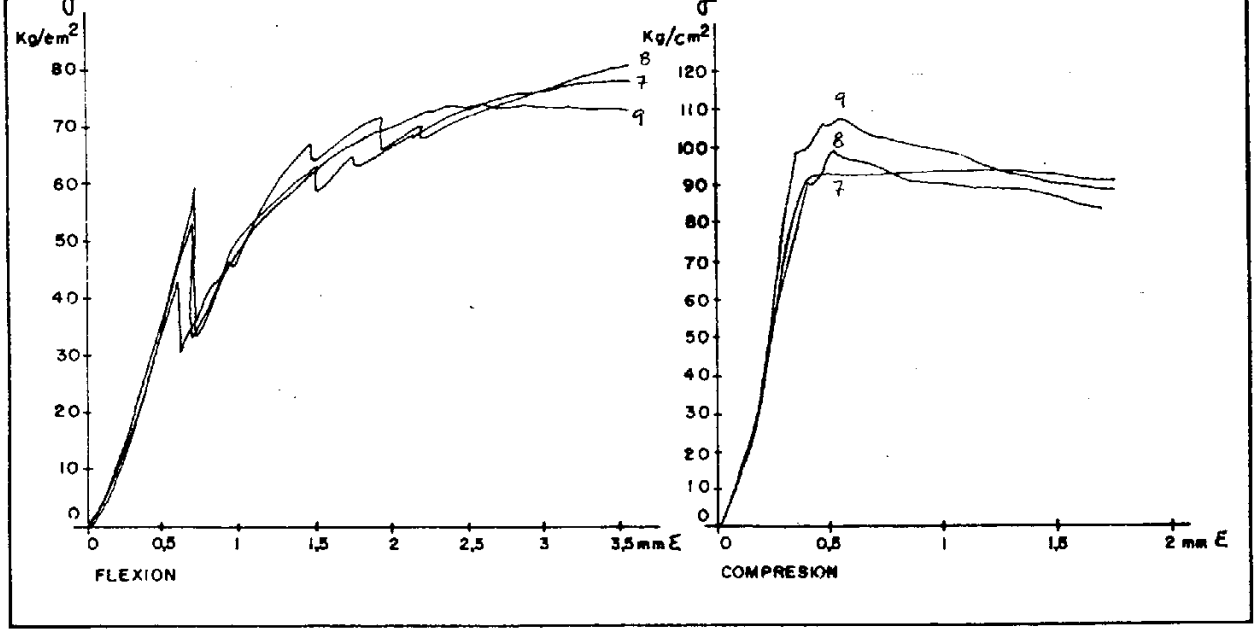
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FPP DAP 7	FPP DAP 8	FPP DAP 9
CAMARA HUMEDA			
	395,3	405,9	412,6
	394,0	405,2	411,7
	393,3	404,8	411,1
	392,5	404,4	410,6
	391,9	404,1	410,1
ESTUFA 40°C	391,3	403,8	409,6
	271,9	289,5	297,9
	271,9	289,4	297,9

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	76,50	83,75	74,25
VALOR MEDIO	78,17		
COMPRESION	95,43	102,06	109,56
VALOR MEDIO	102,35		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)

DISPERSION DE ACETATO DE P.V. (MOWILITH DS PULVER)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	18,75	gr.....	2,5	%
	3,75	gr.....	0,5	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

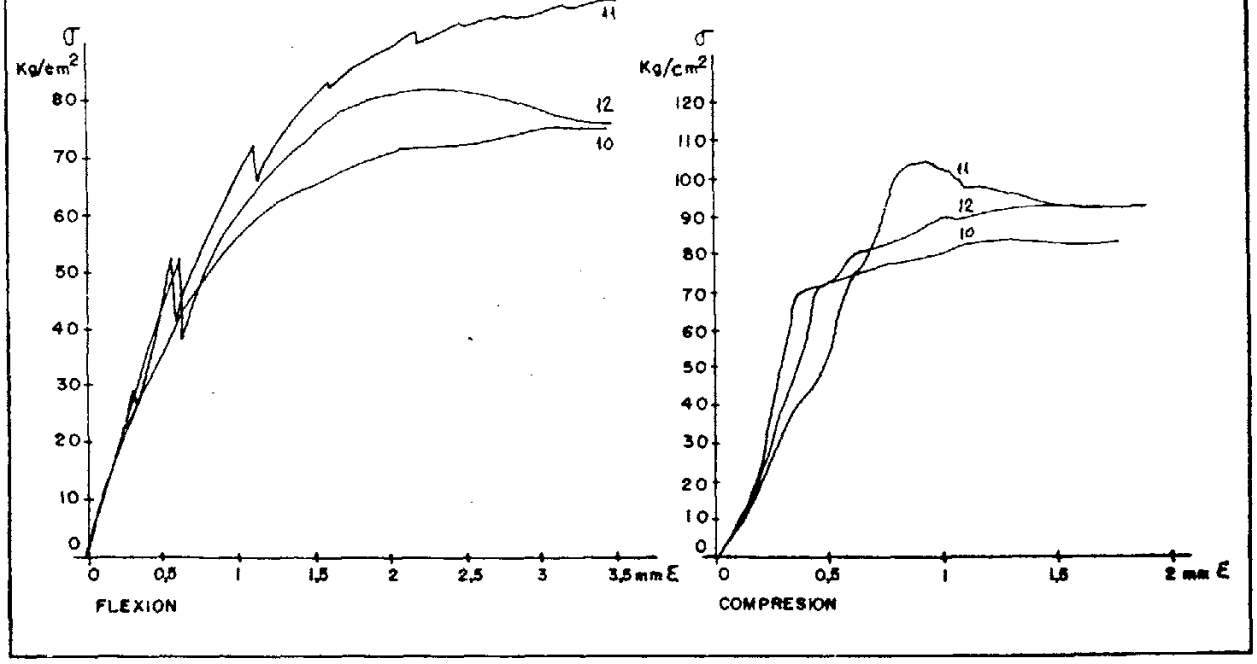
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	S E R I E		
	FPP DAP 10	FPP DAP 11	FPP DAP 12
CAMARA HUMEDA			
	398,4	406,8	406,8
	397,1	405,9	405,4
	396,6	405,5	404,9
	395,8	405,1	404,0
	394,9	404,7	403,4
ESTUFA 40°C	393,6	403,8	402,1
	278,1	290,0	289,8
	278,1	290,0	289,7

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	S E R I E		
			Coqueras superficiales
FLEXION	74,25	97,25	80,50
VALOR MEDIO	84,0		
COMPRESION	83,31	104,62	93,31
VALOR MEDIO	93,75		

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ E-35-L
ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)
DISPERSION DE ACETATO DE P.V. (MOWILITH DS PULVER)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	3	
CANTIDAD ADICION	22,5	gr.....	0,5	%
	3,75	gr.....		

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85
UNE 102031

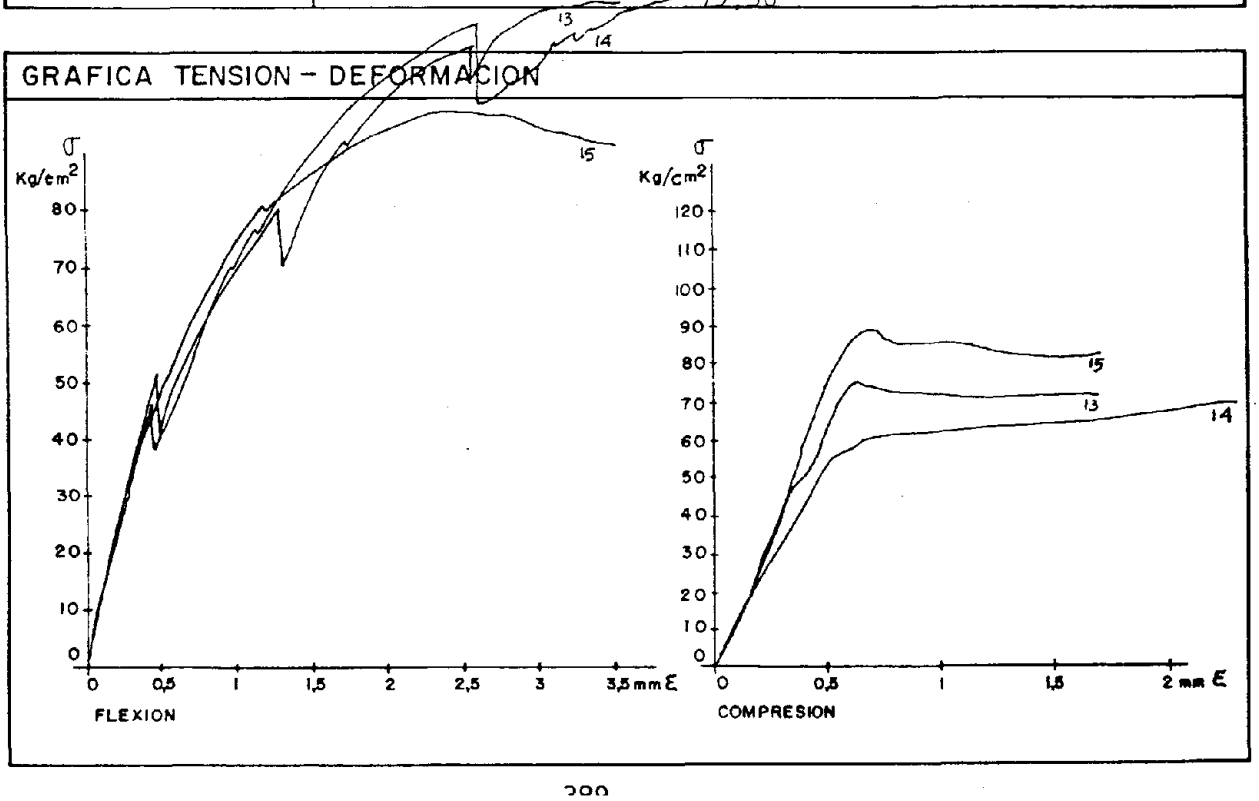
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FPP DAP 13	FPP DAP 14	FPP DAP 15
CAMARA HUMEDA			
	403,5	407,8	403,8
	402,0	406,4	402,2
	401,4	405,8	401,6
	-	-	-
	400,8	405,3	400,8
ESTUFA 40°C	400,3	404,9	399,2
	284,8	292,0	291,0
	284,6	291,8	290,9

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	115,5	118,75	94,5
VALOR MEDIO		109,58	
COMPRESION	75,18	75,0	88,5
VALOR MEDIO		79,56	

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ: E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)

DISPERSION COP. ESTERES ACIDO ACRILICO (MOWITON M-300)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	15	gr.....	2 %
	7,5	gr.....	1

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

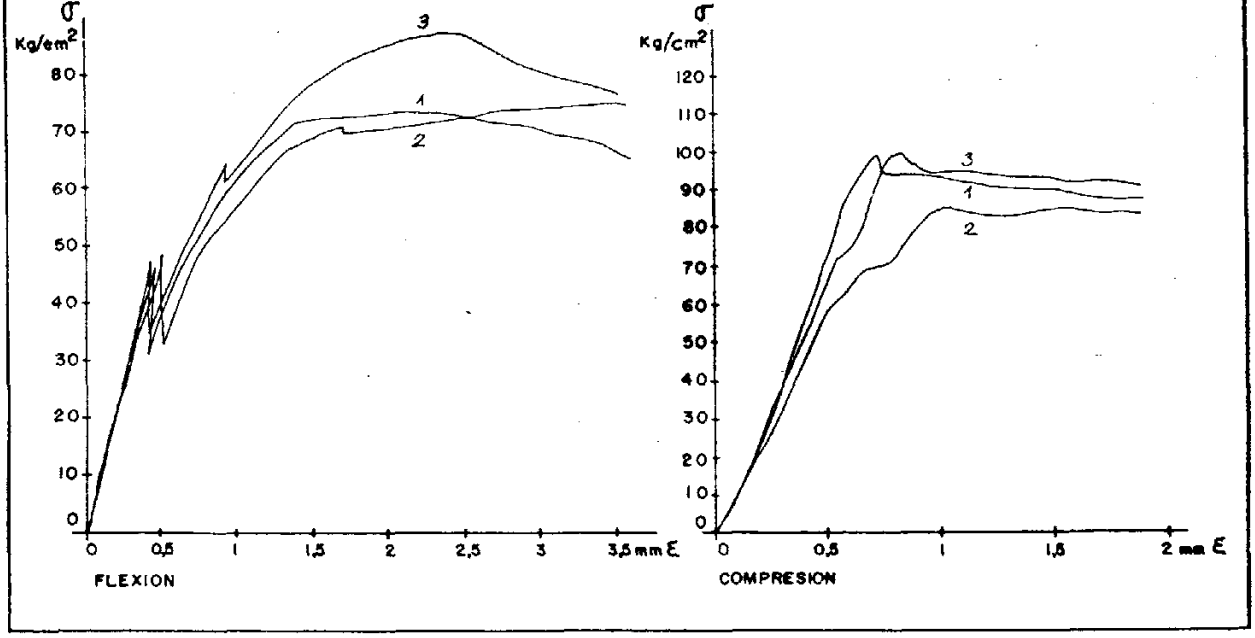
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FPP-DA-1	FPP-DA-2	FPP-DA-3
CAMARA HUMEDA			
	401,8	400,8	406,8
	400,4	399,8	405,2
	399,6	398,9	403,4
	399,3	398,3	403,4
	398,9	397,5	402,7
ESTUFA 40°C	398,6	397,1	402,3
	283,0	285,4	289,5
	282,8	285,2	289,3

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	73,0	74,0	86,0
VALOR MEDIO	77,66		
COMPRESION	98,25	83,75	99,87
VALOR MEDIO	93,95		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ E-35-L

ADICION FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)

DISPERSION COP. ESTERES ACIDO ACRILICO (MOWITON M-300)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	15	gr.....	2	%
	3,75	gr.....	0,5	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

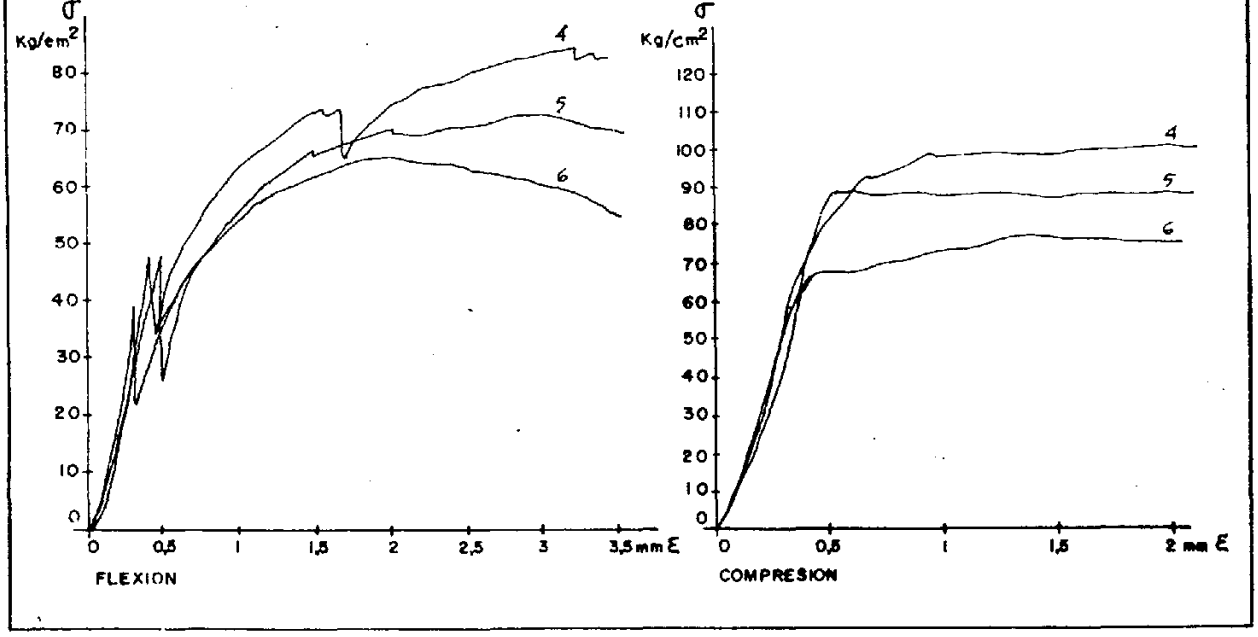
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FPP DA 4	FPP DA 5	FPP DA 6
CAMARA HUMEDA			
	407,7	406,1	403,3
	406,4	405,5	402,1
	406,3	405,9	401,6
	406,1	405,6	401,2
	405,6	405,2	400,6
ESTUFA 40°C	405,0	404,9	400,1
	290,9	289,3	285,3
	290,6	289,1	285,1

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	83,0	71,0	64,0
VALOR MEDIO		72,66	
COMPRESION	101,68	91,06	78,18
VALOR MEDIO		90,31	

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)

DISPERSION COP. ESTERES ACIDO ACRILICO (MOWITON M-300)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	13,125	gr.....	1,75	%
	3,75	gr.....	0,5	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

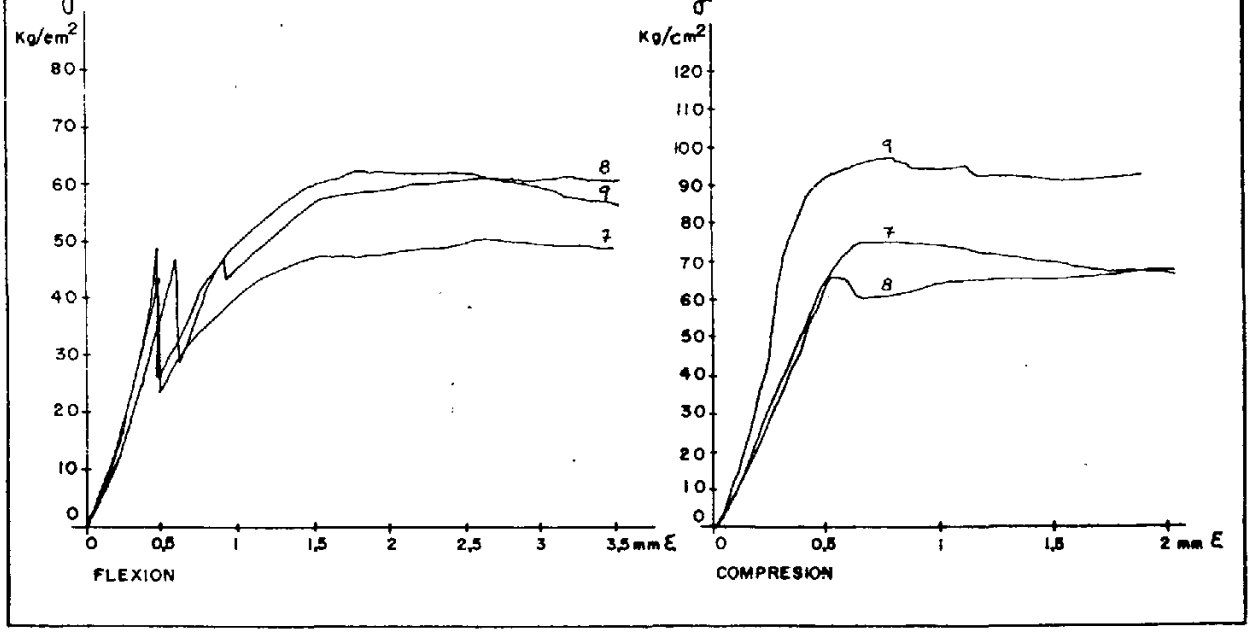
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FPP DA 7	FPP DA 8	FPP DA 9
CAMARA HUMEDA			
	389,7	396,2	402,6
	387,6	395,0	401,2
	386,5	394,6	400,6
	385,7	394,3	400,1
	384,8	393,5	399,3
ESTUFA 40°C	384,0	393,0	398,7
	270,7	279,1	288,5
	270,6	278,9	288,4

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	49,25	61,0	61,5
VALOR MEDIO	57,25		
COMPRESION	76,25	68,87	99,31
VALOR MEDIO	81,47		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)

DISPERSION COP. ESTERES ACIDO ACRILICO (MOWITON M-300)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	18,75	gr.....	2,5	%
	3,75	gr.....	0,5	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

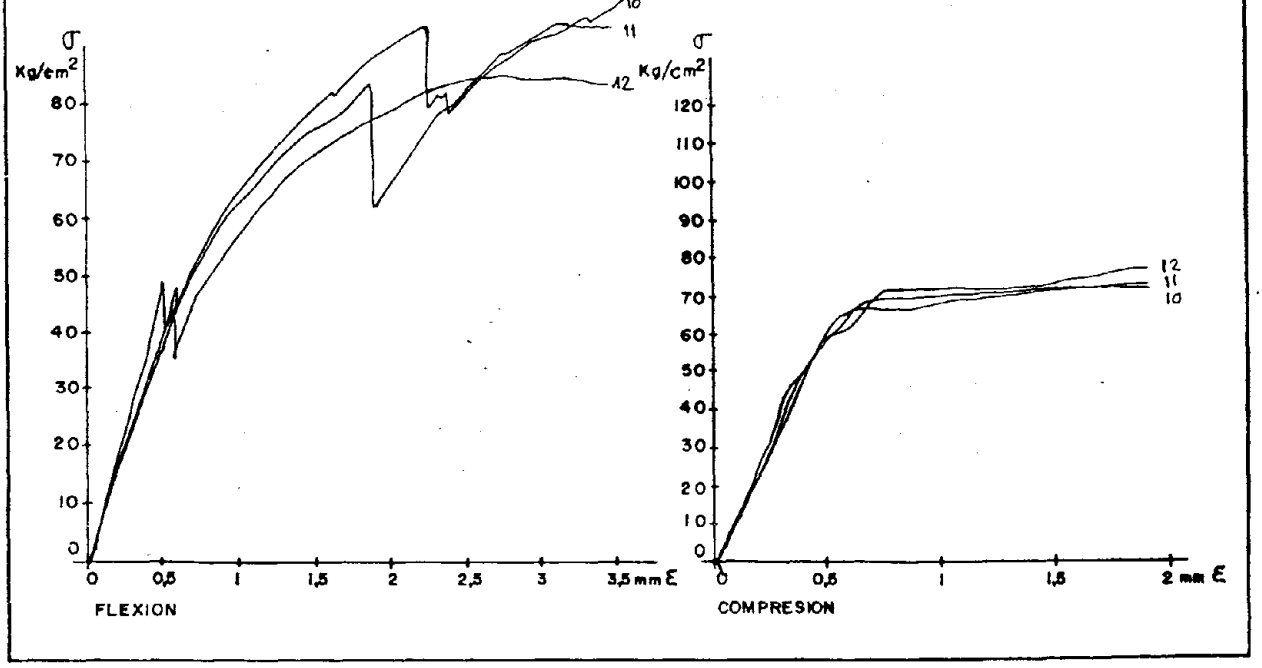
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FPP DA 10	FPP DA 11	FPP DA 12
CAMARA HUMEDA			
	401,0	402,0	411,3
	400,3	401,3	410,5
	399,4	400,4	409,4
	398,6	399,9	408,6
	–	–	–
ESTUFA 40°C	397,8	399,5	408,0
	284,4	286,2	296,1
	284,4	286,2	296,0

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	99,25	91,50	87,0
VALOR MEDIO	92,58		
COMPRESION	79,25	79,44	79,87
VALOR MEDIO	79,52		

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)

DISPERSION COP. ESTERES ACIDO ACRILICO (MOWITON M-300)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	22,5	gr.....	3 %
	0,5	gr.....	0,5

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

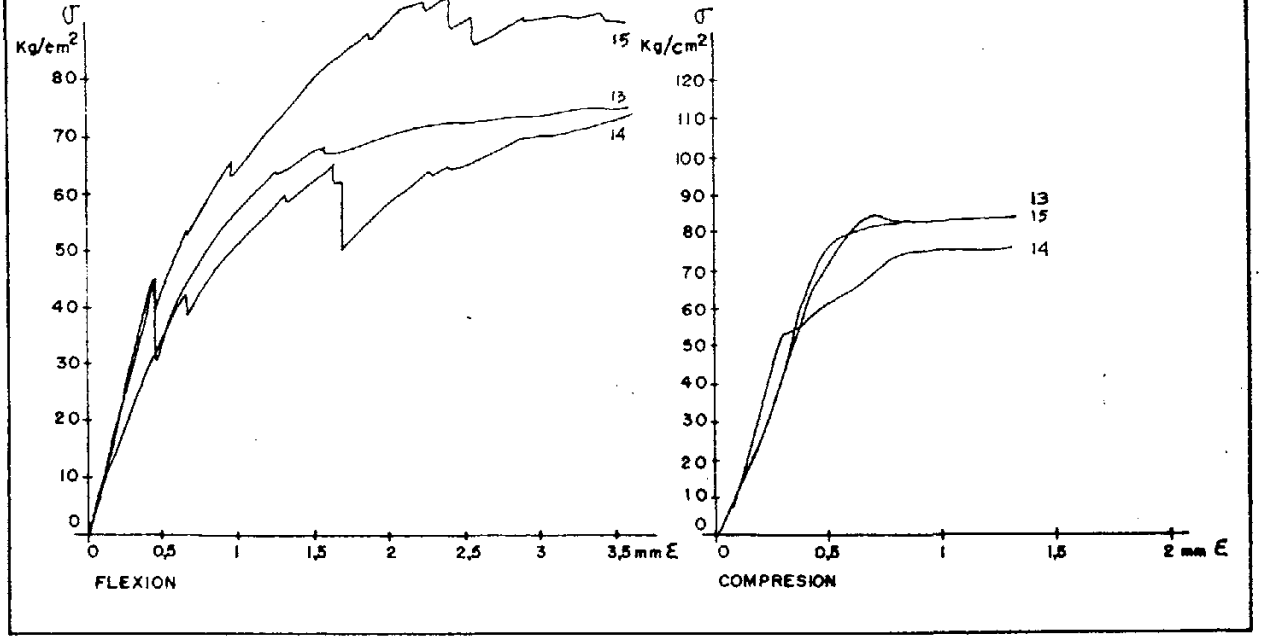
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FPP DA 13	FPP DA 14	FPP DA 15
CAMARA HUMEDA			
	408,2	394,3	404,3
	407,8	393,5	403,9
	–	–	–
	407,1	392,5	403,1
	406,7	391,9	402,7
ESTUFA 40°C	406,2	391,2	402,0
	295,2	279,4	289,6
	294,9	279,2	289,4

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	73,25	73,25	91,5
VALOR MEDIO	79,33		
COMPRESION	84,68	76,31	83,18
VALOR MEDIO	81,40		

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



8.3.5. Resumen de resultados con probetas prismáticas.

Se realizan los resúmenes de los resultados de flexotracción y compresión obtenidos en los apartados 8.3.2., 8.3.3. y 8.3.4.

Se dibujan gráficas que expresan la relación entre las tensiones máximas alcanzadas en los ensayos realizados y los porcentajes de adición, según sean simples o binarias.

En las adiciones binarias entre fibras y dispersiones, se realizan gráficas comparativas entre: la influencia del porcentaje de adición de la fibra sobre los valores mecánicos alcanzados; y la influencia que las dispersiones ejercen sobre estos valores, comprobándose para cada tipo de fibra la idoneidad de la dispersión a utilizar.

En los siguientes cuadros se comparan en porcentajes de incremento de valores mecánicos obtenidos por cada adición para los ensayos de flexión y compresión.

ENSAYO DE FLEXION																
TIPO DE ADICION	PORCENTAJES															
	0,25	0,375	0,5	0,625	0,75	0,875	1,0	1,5	1,75	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
FA			21,8				18,9	51,23	44,2	68,85	54,1	88,82				
FP			-7,1				24,9	43,0	–	127,3						
FPP			6,7				38,9	25,5		58,9	47,3					
DM	-21	-48	-24,2	-25,1	-23,8	-47	41,3	16,4		7,3	-2,8	-73	-75,3	-75	6,9	14
DAP	18	14,7	20,8	29,8	13,7	12	26,5									
DA	6,9	13,05	15,3	12,0	1,2	15,3	12,2									
FA·DM (0,5)									64,6	51,0	102,7	110,8				
FA·DAP (0,5)									41,8	45,0	70,7	115,4				
FA·DA (0,5)									35,9	59,3	67,7	34,1				
FP·DM (0,5)									52,6	39,6	52,6	72,3				
FP·DAP (0,5)									19,4	34,0	-5,8	27,5				
FP·DA (0,5)									14,6	23,0	28,8	41,0				
FPP·DM (0,5)									110,4	123,3	154,2	162,2				
FPP·DAP (0,5)									91,0	121,2	105,4	167,9				
FPP·DA (0,5)									40,0	77,6	126,3	86,6				

ENSAYO DE COMPRESION																
TIPO DE ADICION	PORCENTAJES															
	0,25	0,375	0,5	0,625	0,75	0,875	1,0	1,5	1,75	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
FA			-3,2				-26,5	-20,9	-37,5	-4,7	-13,6	-23,0				
FP			-36,2				-38,6	-56,0		-50,4						
FPP			-43,7				-50,2	-54,4		-46,6	-47,5					
DM	-1,1	4,2	3,5	>4,2	1,5	1,8	>4,2	-16,0		-9,5	-24,0	-4,2	-9,3	-2,0	-15,8	-25,6
DAP	-2,5	2,1	>4,2	>4,2	>4,2	>4,2	>4,2									
DA	-1,6	>4,2	>4,2	>4,2	>4,2	>4,2	>4,2									
FA·DM									-19,0	-21,0	-6,2	-15,2				
FA·DAP									-4,6	-13,2	-17,0	-22,0				
FA·DA									-17,9	-4,8	-24,0	-37,7				
FP·DM									-12,6	-23,0	-25,0	-21,4				
FP·DAP									-27,9	-22,0	-2,2	-53,8				
FP·DA									>4,2	-39,2	-51,3	-27,5				
FPP·DM									-16,0	-14,0	-18,9	-31,4				
FPP·DAP									-14,7	-21,4	-19,4	-33,7				
FPP·DA									-32,1	-24,7	-33,7	-32,2				

8.3.6. Comprobación con placas a flexotracción.

Una vez optimizados los porcentajes binarios de adición sobre probetas prismáticas se comprueban éstos sobre placas, con el fin de observar los efectos que el yeso reforzado presenta en una superficie laminar.

Esta comprobación se realiza con respecto a los valores de resistencia a flexotracción de una placa de escayola sin adición.

COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ: E-35-L

ADICION: SIN ADICION

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION		gr.	– %
		gr.	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031 Placas

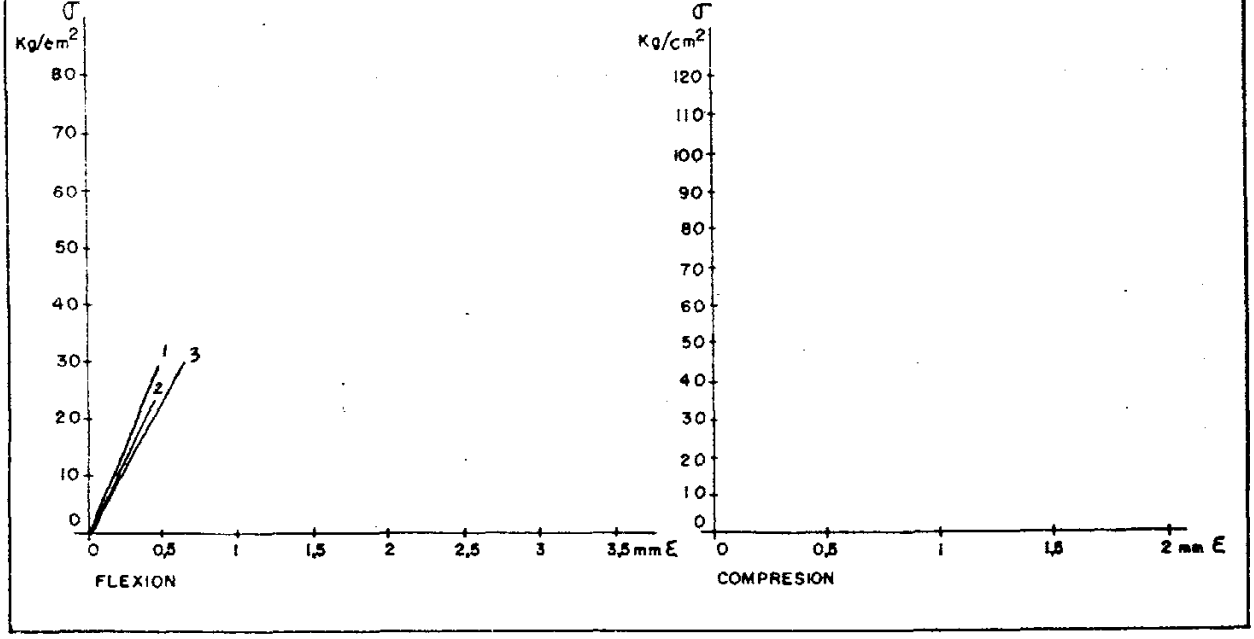
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	PE-1	PE-2	PE-3
CAMARA HUMEDA			
	338,8	340,1	333,0
	337,5	338,3	330,9
	337,0	337,8	330,5
	336,4	337,2	330,1
	335,1	335,5	328,9
ESTUFA 40°C	232,0	233,3	228,4
	231,5	232,8	227,9
	231,5	232,8	227,9

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	29,98	22,10	29,08
VALOR MEDIO	26,75		
COMPRESION			
VALOR MEDIO			

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)

POLICONDENSADO DE MELAMINA FORMALDEHIDO (MELMENT F-10)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	15	gr.....	2,0 %
	3,75	gr.....	0,5

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY 85

UNE 102031 Placas

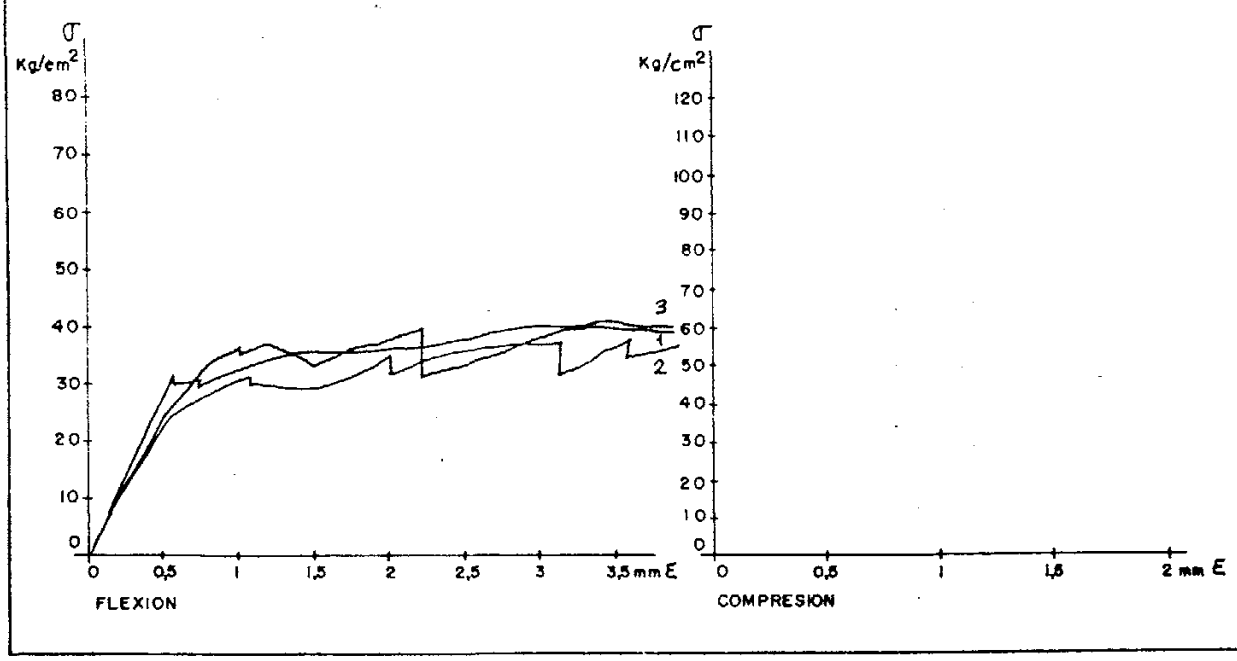
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	P-1	P-2	P-3
CAMARA HUMEDA			
	336,3	330,7	335,7
	334,5	328,9	334,3
	333,8	328,4	333,6
	332,9	327,8	332,9
	330,9	326,2	331,3
ESTUFA 40°C	231,1	228,0	227,6
	230,6	227,3	227,0
	230,6	227,3	227,0

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	39,55	36,06	38,39
VALOR MEDIO	38,0		
COMPRESION			
VALOR MEDIO			

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



8.3.7. Comprobación con placas a impacto.

Se comprueba sobre las placas realizadas en el apartado 8.3.6. la influencia que un impacto ejerce sobre la superficie y el efecto de absorción de tensiones que realizan las adiciones.

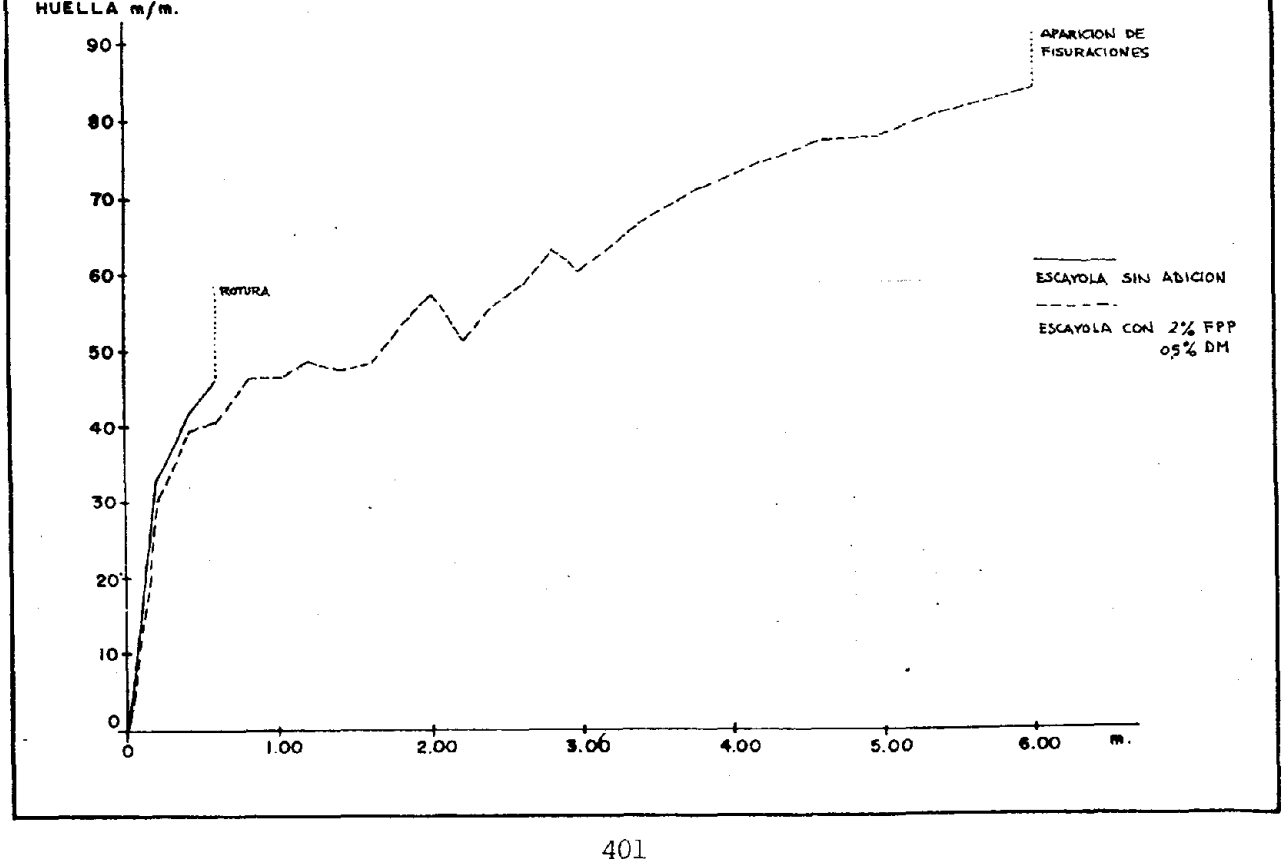
Este ensayo, al igual que el anterior, se realiza comparativamente con los efectos que suceden en la escayola sin aditivar.

COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

IMPACTO DE BOLA DE Ø 1.75 mm. y 22 gr. SOBRE PLACA

ALTURA m.	PLACA DE ESCAYOLA E-35-L SIN ADICION				PLACA DE ESCAYOLA E-35-L CON 2 % FIBRA DE POLIPROPILENO 0.5 % DISP. MELAMINA FORMALDEHIDO			
	DIAMETROS CONJUGADOS DE LA HUELLA m/m.			VALOR MEDIO m/m.	DIAMETROS CONJUGADOS DE LA HUELLA m/m.			VALOR MEDIO m/m.
	A	B	C		A	B	C	
0,20	34x36	33x30	34x34	33,5	34x34	25x30	30x32	30,83
0,40	39x40	44x40	45x42	41,66	38x38	40x42	40x38	39,33
0,60	47x45	Frac.	Frac.	46,00	38x40	45x42	38x44	41,16
0,80					50x50	44x45	45x45	46,50
1,00					45x48	44x40	48x49	46,16
1,20					50x50	50x51	45x45	48,50
1,40					50x46	48x49	46x45	47,33
1,60					48x45	46x47	51x52	48,16
1,80					52x54	56x58	52x50	53,66
2,00					60x56	58x60	54x55	57,16
2,20					45x52	52x50	52x55	51,00
2,40					55x56	45x55	60x60	55,16
2,60					56x60	54x56	62x65	58,83
2,80					65x64	62x65	62x64	63,66
3,00					65x65	60x65	65x54	60,83
3,40					68x64	56x70	70x70	66,36
3,80					74x74	70x69	69x70	71,00
4,20					80x82	78x65	70x70	74,16
4,60					75x75	78x86	75x75	77,33
5,00					80x75	84x78	72x78	77,83
5,40					80x80	85x85	78x78	81,00
6,00					84x80	80x90	85x85	84,00

GRAFICA ALTURA - HUELLA



8.3.8. Comprobación con ochos a tracción.

Se comprueba el efecto de refuerzo de la adición binaria ante los esfuerzos de tracción pura.

Este ensayo, al igual que los anteriores, se realiza comparativamente con la escayola sin aditivar, comprobándose los efectos que la adición binaria produce.

COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ: E-35-L

ADICION: SIN ADICION

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION		gr.....	- %
		gr.....	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

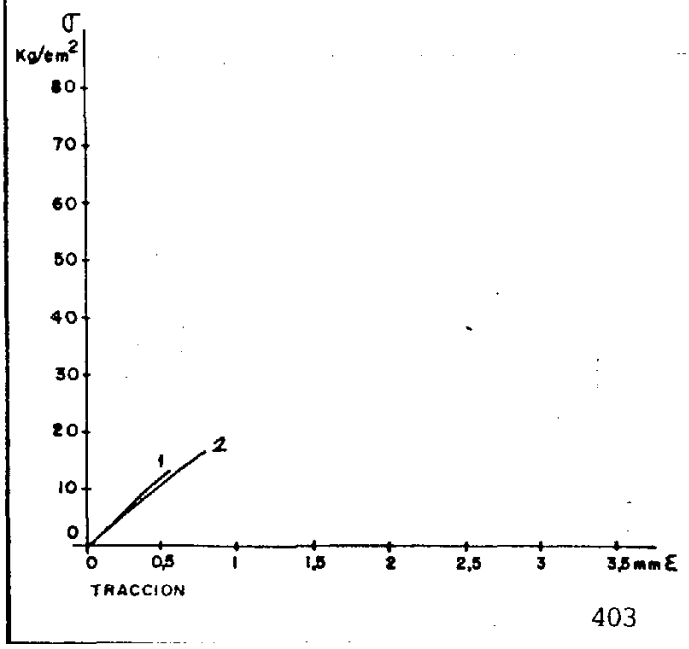
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	TE-1	TE-2	
CAMARA HUMEDA			
	113,2	113,1	
	112,4	112,4	
	112,2	112,2	
	112,1	112,0	
	111,5	111,3	
ESTUFA 40°C	77,6	77,3	
	77,3	77,2	
	77,3	77,2	

ENSAYOS A ROTURA A TRACCION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
TRACCION	12,32	16,7	
VALOR MEDIO		14,51	

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ: E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)

POLICONDENSADO DE MELAMINA-FORMALDEHIDO (MELMENT F-10)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	15	gr.	2,0 %
	3,75	gr.	0,5

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY 85

UNE 102031

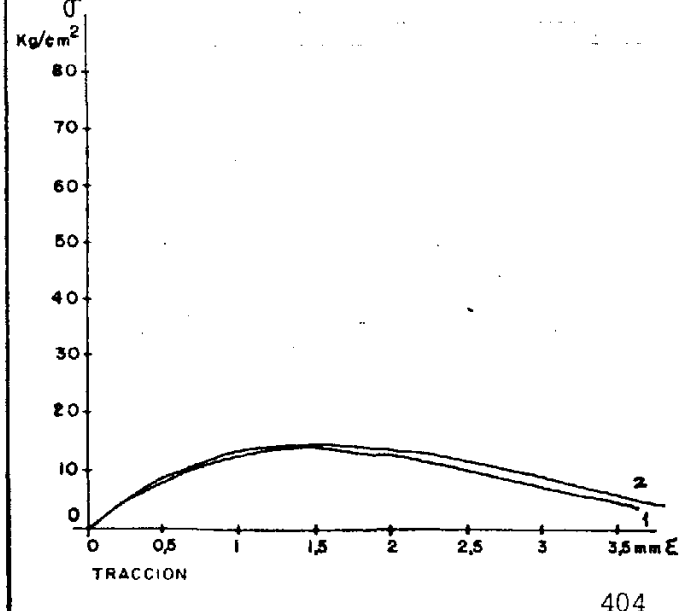
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	T-1	T-2	T-3
CAMARA HUMEDA			
	111,4	111,7	
	110,7	110,9	
	110,4	110,7	
	110,3	110,6	
	109,7	109,9	
ESTUFA 40°C	76,1	77,1	
	75,9	76,9	
	75,9	76,9	

ENSAYOS A ROTURA A TRACCION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
TRACCION	14,48	14,84	
VALOR MEDIO	14,66		

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



8.3.9. Porosidad.

Una vez optimizados los porcentajes binarios de adición sobre probetas prismáticas, se comprueba la variación en los valores de porosidad, entre la escayola sin aditivar y la escayola aditivada con las adiciones seleccionadas y los porcentajes optimizados, obteniéndose los siguientes resultados.

	Coef. de absorción %	Densidad aparente gr/cm³	Porosidad %
Escayola sin aditivar.	43,2	1,14	50
Escayola con fibra de polipropileno 2% y dispersión de melamina-formaldehido 0,5%	40,8	1,10	44,9

E. T. S. A. de M.
BIBLIOTECA

8.3.10. Tiempos de fraguado.

Se miden los tiempos de fraguado para la escayola sin aditivar y para la adición seleccionada con el porcentaje aditivado obteniéndose los siguientes resultados.

	Comienzo de fraguado min.	final de fraguado min.
Escayola sin adición.	11,5	24
Escayola con fibra de polipropileno 2% y dispersión de melamina-formaldehido 0,5%	6	12

9. ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS.

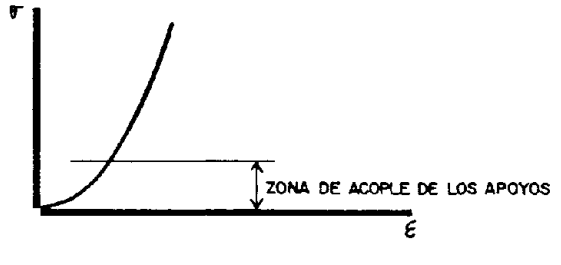
9. ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

9.0.0. Análisis de los ensayos previos.

Se observa que no existe ningún comportamiento diferenciado entre las diversas adiciones realizadas, como se refleja en el resumen de resultados del epígrafe 8.3.1.

El comportamiento de las probetas con fibras y con dispersiones es análogo al de las probetas de escayola sin aditivar, presentando gráficas de tensión-deformación de igual pendiente.

Unicamente las fibras acrílicas presentan una gráfica diferenciada, debido a la ausencia de la zona de acoplamiento de los apoyos sobre la superficie de la probeta. Esta zona es despreciable en todas las gráficas, porque varía según la mayor o menor planicidad de la superficie.



Los valores de tensión que se obtienen con las fibras y las dispersiones no presentan un comportamiento diferenciado que decante la selección hacia alguna adición en particular.

9.1.0. Análisis del comportamiento mecánico de agregados individuales.

De los ensayos realizados en el capítulo anterior vamos a analizar los resultados obtenidos en los epígrafes 8.3.2. y 8.3.3., individualmente para los tres tipos de fibras ensayados: acrílicas, poliéster y polipropileno; y de dispersiones: melamina-formaldehido, acetato de polivinilo y ácido acrílico.

9.1.1. Fibras.

Acrílicas.

Analizando las gráficas de tensión-deformación en el ensayo de flexión, correspondientes a los diversos porcentajes ensayados, se observa una modificación de las pendientes de las gráficas correspondientes al período elástico.

Esta variación de la pendiente aparece en porcentajes iguales y superiores al 2% de adición, produciendo modificaciones en el módulo elástico del material reforzado. La modificación de la pendiente de la gráfica se observa en el ensayo de compresión a partir del 1,75% de adición. Además de esta modificación, en el ensayo de flexión se observa también un cambio en el comportamiento de la escayola reforzada a partir del 2% de adición, presentando gráficas de tensión-deformación constantes sin zonas de discontinuidad.

En el ensayo de flexión los valores de resistencia mecánica se van incrementando paralelamente con el aumento del porcentaje de adición. Sin embargo, en el ensayo de compresión los resultados son erráticos, aunque presentan un tendencia a disminuir con el aumento del porcentaje de adición.

Se obtiene como conclusión la existencia de un porcentaje crítico situado en el 2%, a partir del cual existe un comportamiento diferenciado con la matriz no aditivada que puede resumirse en los siguientes aspectos:

- Modificación del módulo de elasticidad a partir del 2% de adición.
- Gran aumento de la capacidad de deformación.
- Aumento de los valores de resistencia mecánica ante tensiones de flexotracción.
- Ausencia de rotura frágil, manteniéndose unidos los extremos de las probetas ensayadas.
- Aumento de la velocidad de fraguado.

COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA ACRILICA (DOLANIT)

CONCLUSIONES

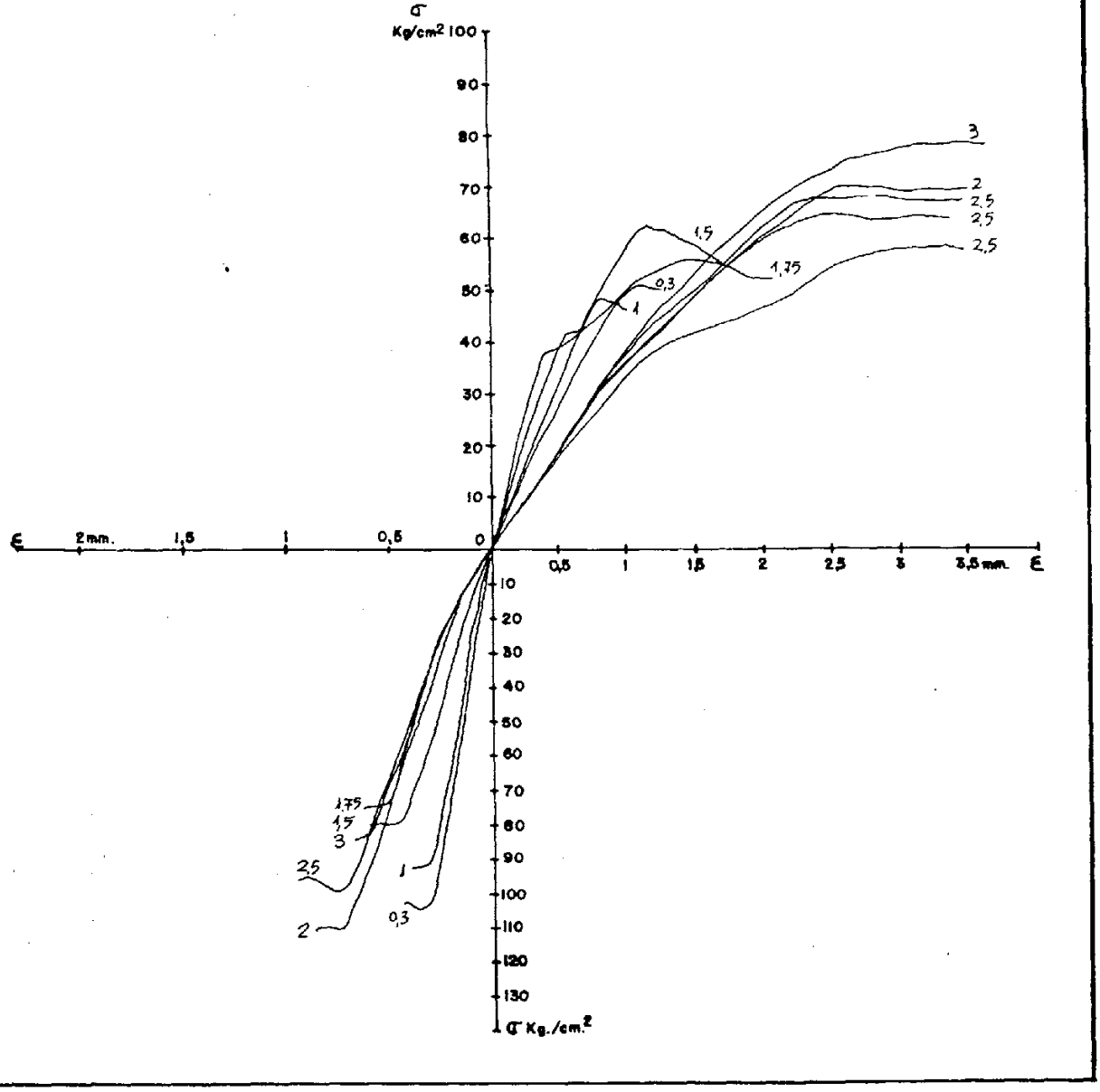
Gran aumento de la capacidad de deformación.

Modificación del módulo de elasticidad a partir del 2% de adición.

Gran aumento de los valores de resistencia mecánica ante tensiones de flexotracción.

Ausencia de rotura frágil, manteniéndose unidos los extremos de las probetas ensayadas.

GRAFICAS TENSION DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

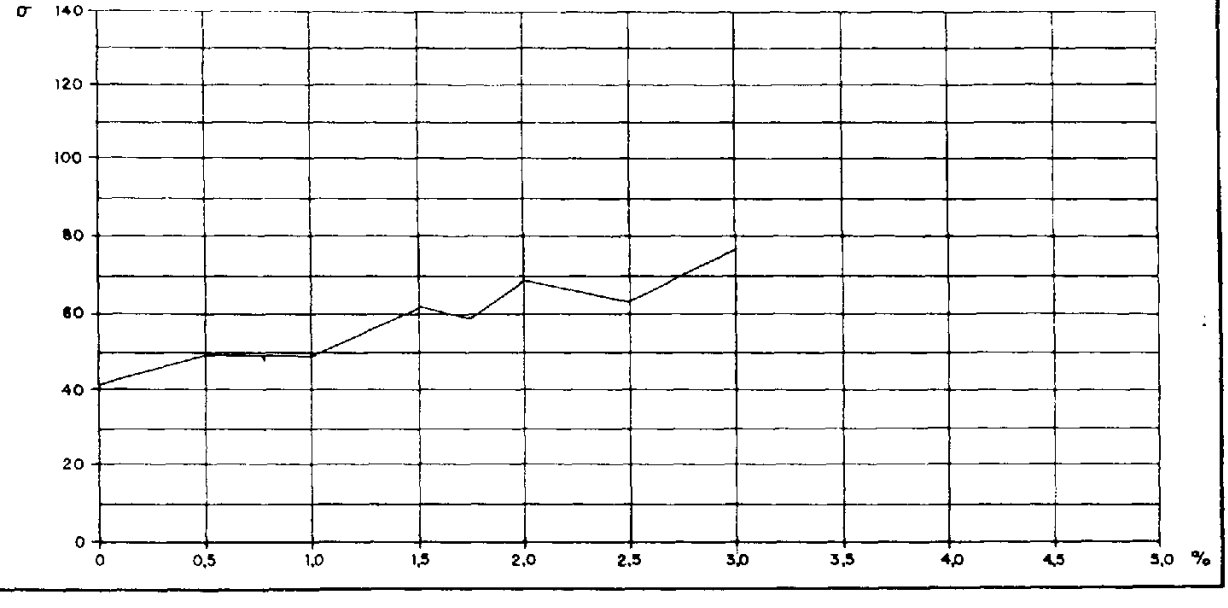
MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA ACRILICA (DOLANIT)

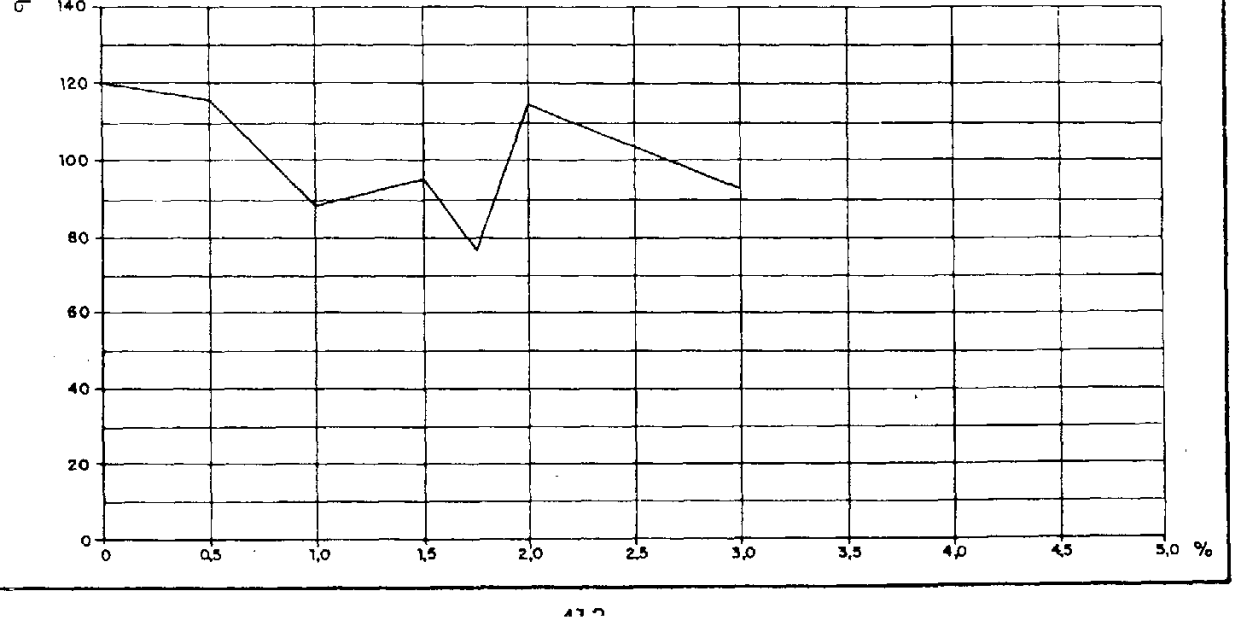
RESUMEN DE RESULTADOS

% ADICION	VALOR MEDIO FLEXION Kg/cm²	VALOR MEDIO COMPRESION Kg/cm²
0	40,91	120,0
0,5	49,86	116,16
1,0	48,66	88,1
1,5	61,87	95,4
1,75	59,0	75,1
2,0	69,08	114,37
2,5	63,08	103,66
3,0	77,25	92,35

RELACION TENSION DE ROTURA A FLEXION Y % DE ADICION



RELACION TENSION DE ROTURA A COMPRESION Y % DE ADICION



Poliéster.

Analizando las gráficas de tensión-deformación en los ensayos de flexión y compresión, correspondientes a los diversos porcentajes ensayados, no se observa en las mismas ninguna variación en las pendientes correspondientes al período elástico, permaneciendo por tanto inalterable el módulo de elasticidad.

En el ensayo de flexión los valores de resistencia mecánica van incrementándose paralelamente al aumento del porcentaje de adición, según se observa en la gráfica correspondiente al resumen de resultados.

Existe dificultad en la dispersión de las fibras durante el amasado de la mezcla, en la matriz de escayola.

El comportamiento mecánico del conjunto está directamente relacionado con esta dificultad de dispersión, apareciendo en algunas probetas discontinuidades en las gráficas.

Tales discontinuidades presentan valores de tensión próximos a la tensión de rotura de la escayola sin aditivar y son debidas a la fisuración de la matriz. Esta fisuración delimita las zonas en las que cada componente contribuye a la resistencia, siendo la escayola responsable de la zona elástica y las fibras de poliéster de la zona plástica.

En el ensayo de compresión los valores de resistencia mecánica disminuyen proporcionalmente con la adición de fibra de poliéster.

De todo ello se obtiene como conclusión la existencia de un comportamiento diferenciado con respecto a la escayola sin aditivar que puede resumirse en los siguientes aspectos:

- Gran aumento de la capacidad de deformación.
- Aumento de resistencia mecánica ante tensiones de flexo-tracción.
- Ausencia de rotura frágil, manteniéndose unidos los extremos de las probetas ensayadas.
- Aumento de la velocidad de fraguado.

COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIESTER (NUREL)

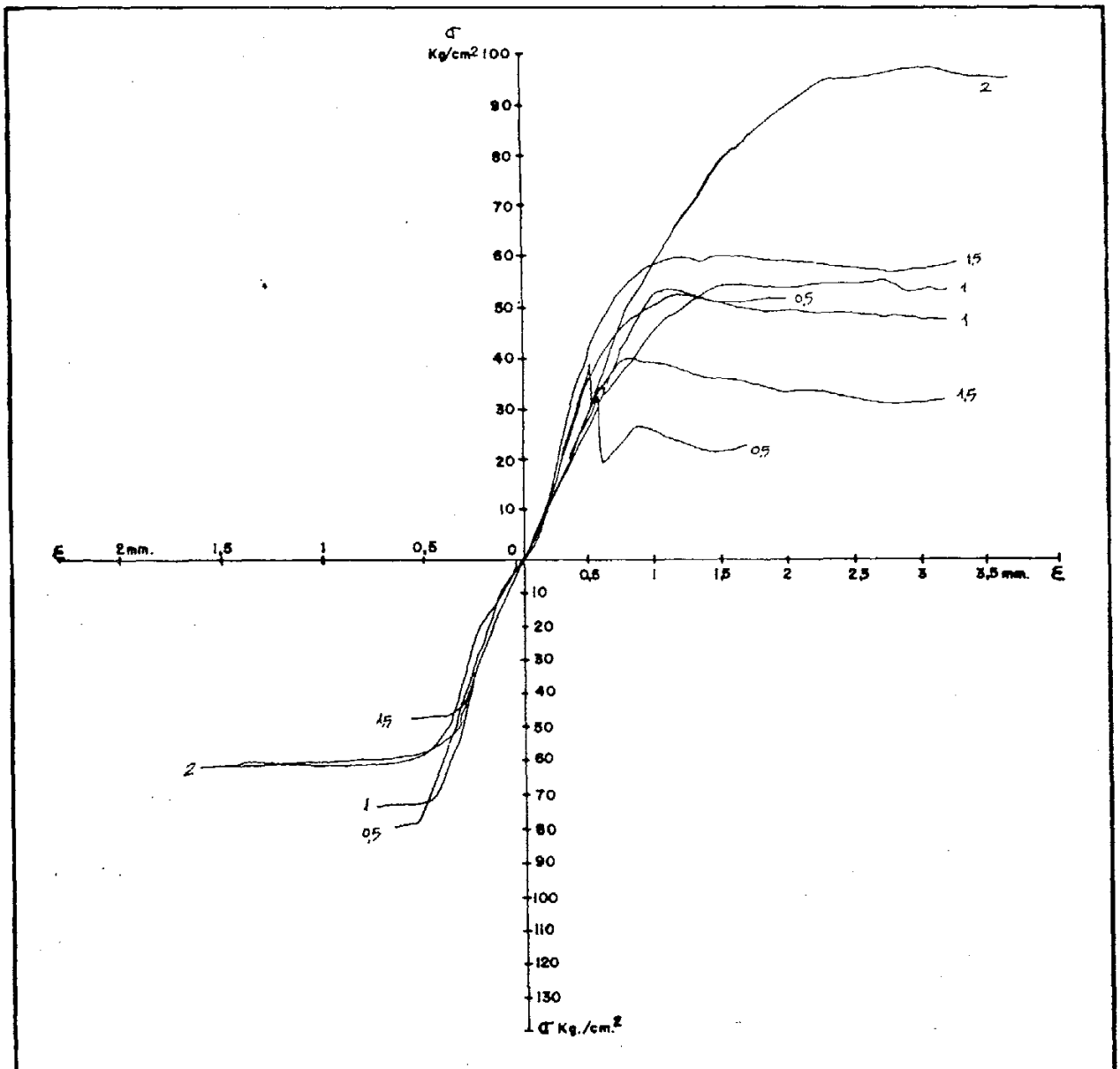
CONCLUSIONES

Gran aumento de la capacidad de deformación.

Aumento de resistencia mecánica ante tensiones de flexotracción

Ausencia de rotura frágil, manteniéndose unidos los extremos de las probetas ensayadas.

GRAFICAS TENSION DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

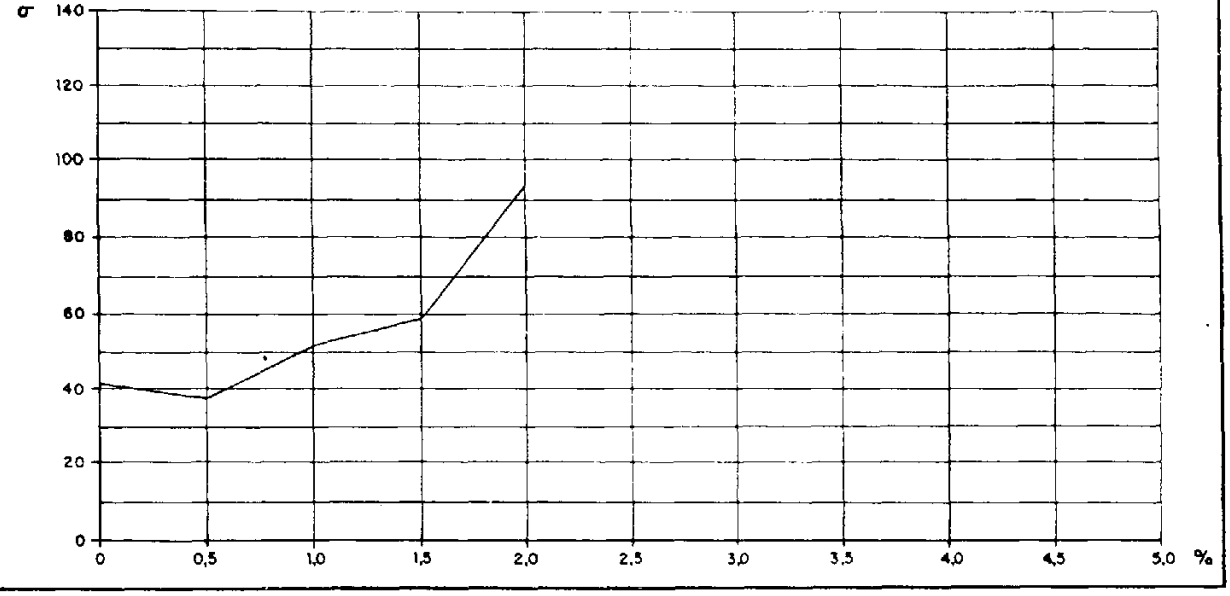
MATRIZ : E - 35 - L

ADICION: FIBRA DE POLIESTER (NUREL)

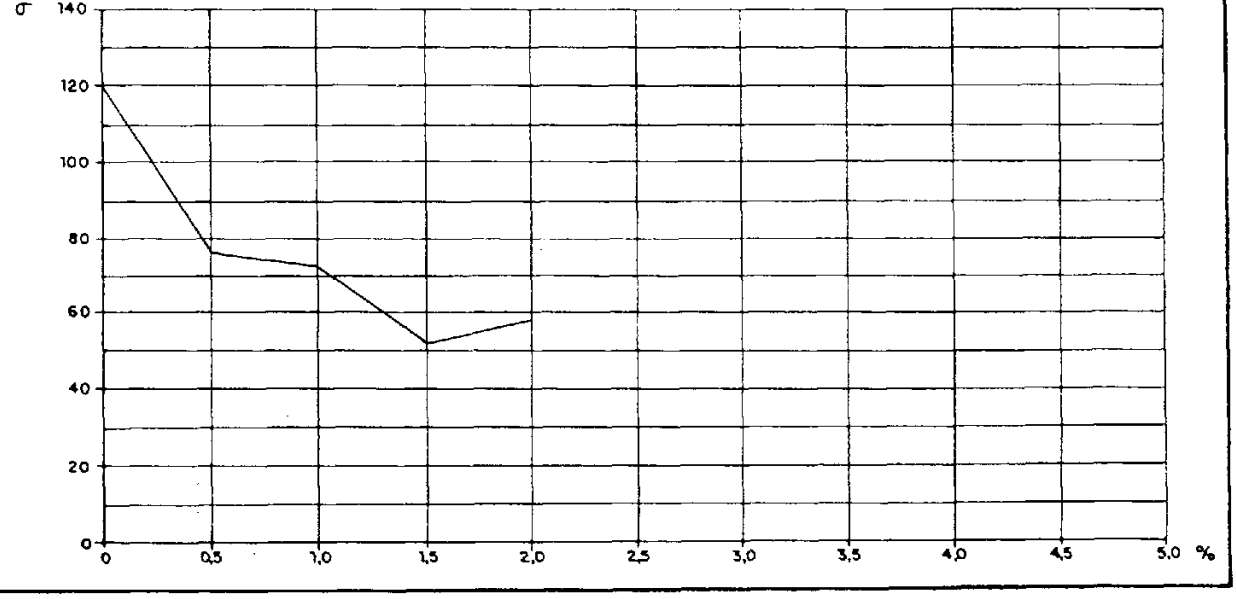
RESUMEN DE RESULTADOS

% ADICION	VALOR MEDIO FLEXION Kg/cm²	VALOR MEDIO COMPRESION Kg/cm²
0	40,91	120,0
0,5	38,0	76,54
1,0	51,12	73,68
1,5	58,5	52,79
2,0	93,0	59,52

RELACION TENSION DE ROTURA A FLEXION Y % DE ADICION



RELACION TENSION DE ROTURA A COMPRESION Y % DE ADICION



Polipropileno.

Analizando las gráficas de tensión-deformación en los ensayos de flexión y compresión, correspondientes a los diversos porcentajes ensayados, no se observa ninguna variación en las pendientes de las gráficas correspondientes al período elástico, permaneciendo inalterable por tanto el módulo de elasticidad.

En el ensayo de flexión los valores de resistencia mecánica van incrementándose paralelamente al aumento del porcentaje de adición, según la gráfica correspondiente al resumen de resultados.

Se observa la aparición de una discontinuidad en la gráfica, con valores de tensión análogos a la tensión de rotura de la escayola sin aditivar. Esta discontinuidad es debida a la fisuración de la matriz, y delimita las zonas en las que cada componente contribuye a la resistencia. La escayola es responsable de la zona elástica y las fibras de polipropileno de la zona plástica. El aumento del porcentaje de adición disminuye la entidad de la discontinuidad y favorece el trabajo conjunto de matriz y agregado.

En el ensayo de compresión los valores de resistencia mecánica disminuyen con la adición de las fibras de polipropileno, manteniéndose prácticamente constantes con independencia del porcentaje añadido.

Se obtiene como conclusión un comportamiento diferenciado con respecto a la escayola sin aditivar que puede resumirse en los siguientes aspectos:

- Gran aumento de la capacidad de deformación.
- Aumento de los valores de resistencia mecánica ante tensiones de flexotracción.
- Ausencia de rotura frágil, manteniéndose unidos los extremos de las probetas ensayadas.
- Aumento de la velocidad de fraguado.

COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)

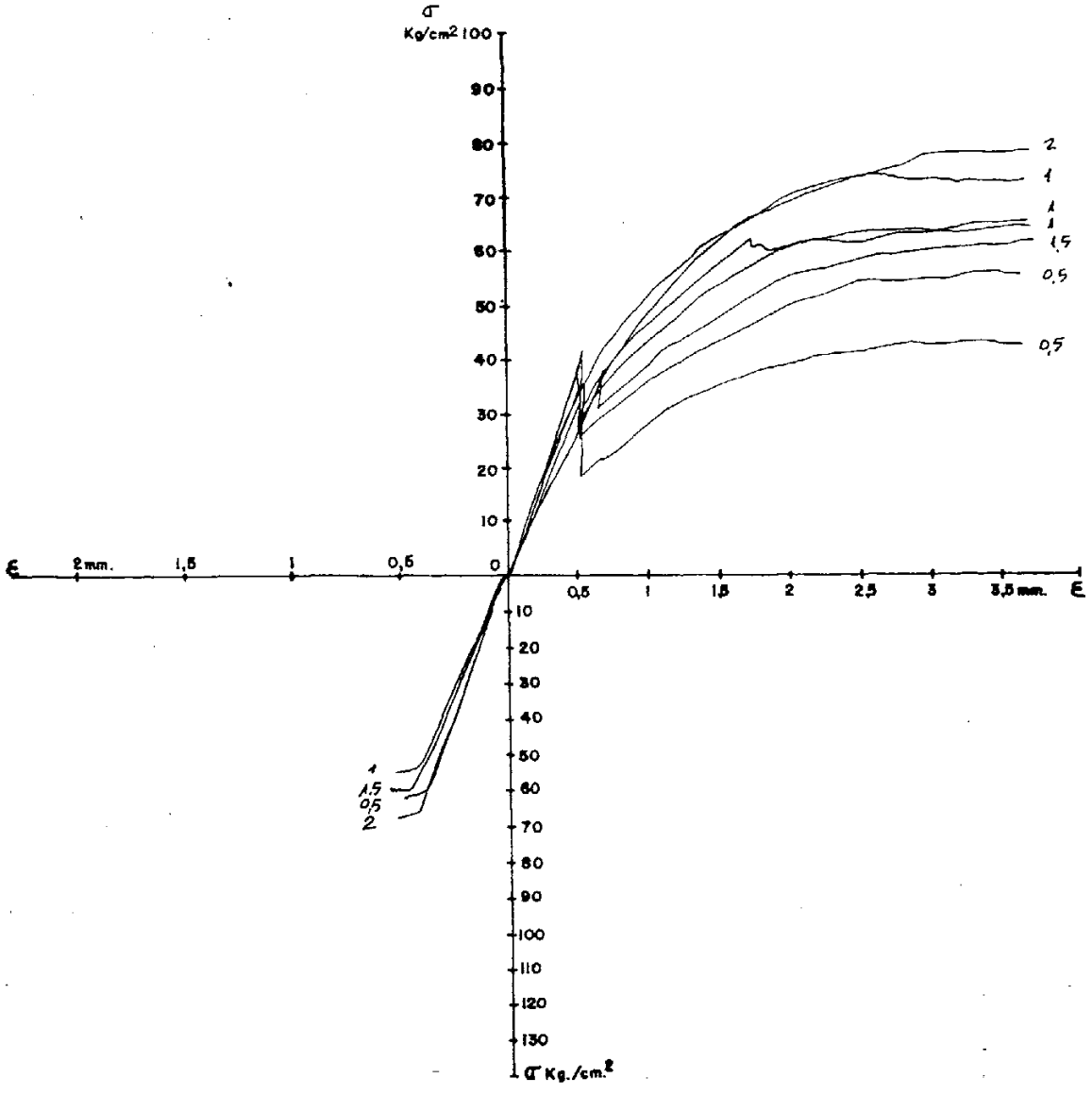
CONCLUSIONES

Gran aumento de la capacidad de deformación

Aumento de los valores de resistencia mecánica ante tensiones de flexotracción.

Ausencia de rotura frágil, manteniéndose unidos los extremos de las probetas ensayadas.

GRAFICAS TENSION DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

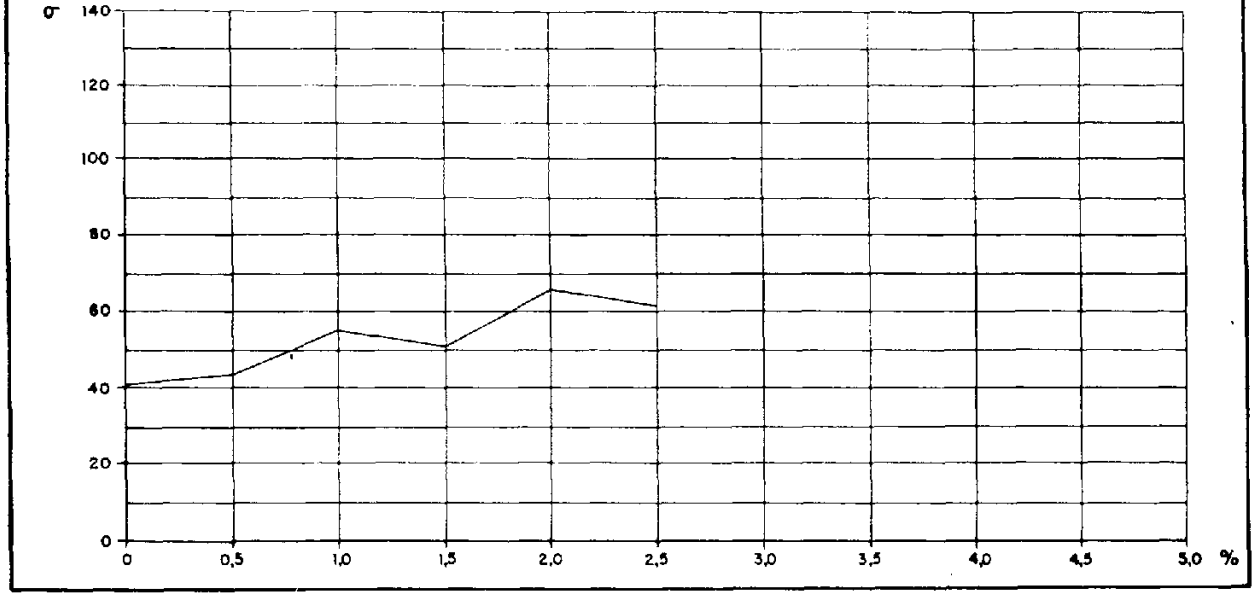
MATRIZ : E - 35 - L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)

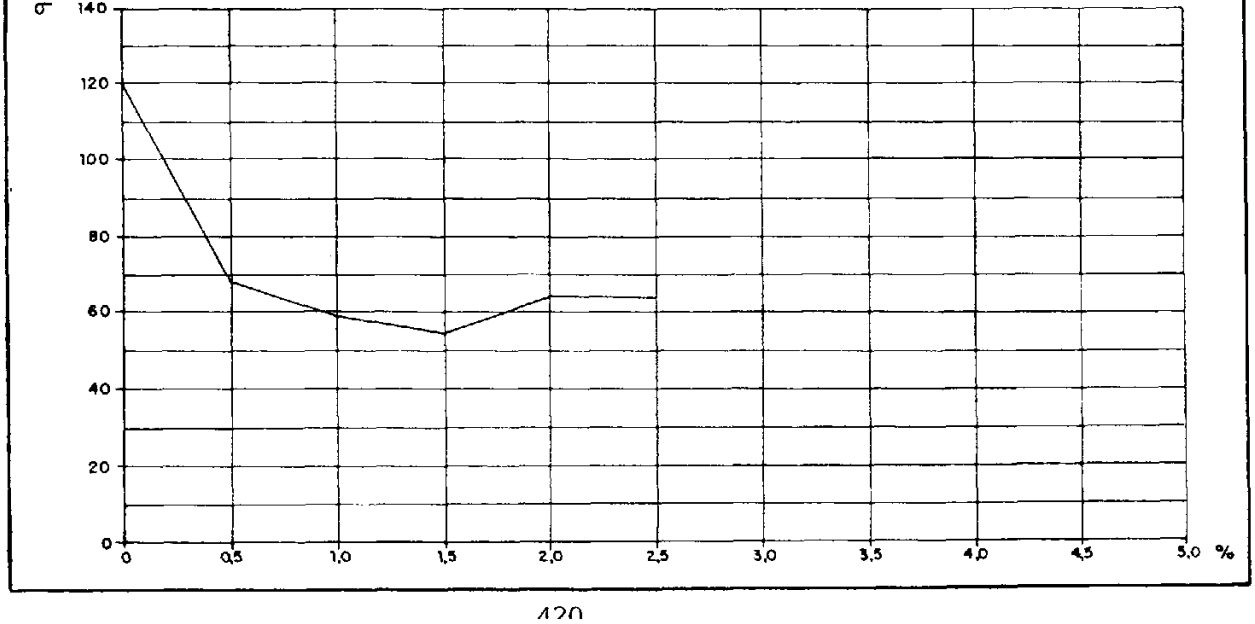
RESUMEN DE RESULTADOS

% ADICION	VALOR MEDIO FLEXION Kg/cm²	VALOR MEDIO COMPRESION Kg/cm²
0	40,91	120,0
0,5	43,66	67,5
1,0	55,58	59,72
1,5	51,33	54,68
2,0	65,0	64,08
2,5	60,25	63,02

RELACION TENSION DE ROTURA A FLEXION Y % DE ADICION



RELACION TENSION DE ROTURA A COMPRESION Y % DE ADICION



9.1.2. Dispersiones.

- **Melamina-formaldehido.**

Analizando las gráficas de tensión-deformación en los ensayos de flexión y compresión correspondientes a los diversos porcentajes ensayados, no se observan diferencias importantes en la variación de las pendientes de las gráficas, permaneciendo inalterable por tanto el módulo de elásticidad.

En el ensayo de flexión los valores de resistencia mecánica presentan una singularidad correspondiente al 1% de adición con el que se consigue los máximos valores de tensión.

Con porcentajes inferiores al 1% la resistencia disminuye un promedio del 25%, manteniendo una relativa uniformidad. Para porcentajes superiores al 1% se produce una disminución de resistencia proporcional a la cantidad de adición. Cuando se alcanzan porcentajes elevados (próximos al 4%) es prácticamente imposible realizar dispersiones homogéneas, apareciendo grumos de gran extensión. Esta dificultad provoca que el comportamiento de la escayola aditivada sea análoga al de ésta sin aditivar.

En el ensayo de compresión los valores de resistencia mecánica presentan una relativa dispersión de resultados, de los cuales podemos deducir que no existe influencia del porcentaje de adición, aunque presentan una mayor homogeneidad entre 0,375% y 1%.

La adición del policondensado de melamina-formaldehido aumenta la cohesión intercristalina y produce el desencadenamiento de la rotura frágil de modo más violento que la de la escayola sin aditivar.

Se obtiene como conclusión un comportamiento diferenciado con respecto a la escayola sin aditivar que puede resumirse en los siguientes aspectos:

- Aumento de la dureza superficial.
- Efecto fluidificante.

COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

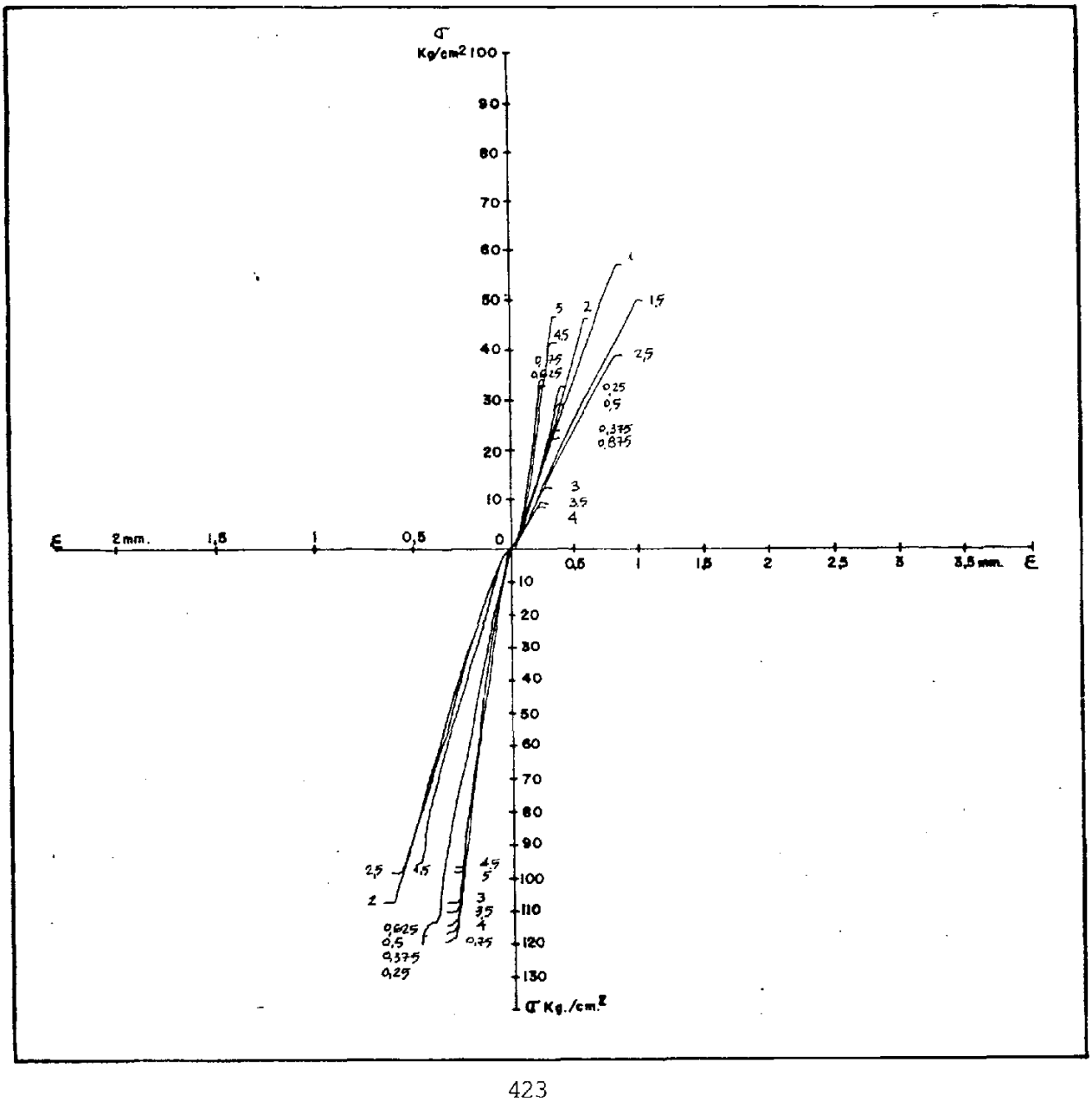
ADICION: POLICONDENSADO DE MELAMINA Y FORMALDEHIDO (MELMENT F-10)

CONCLUSIONES

Aumento de la dureza superficial

Efecto fluidificante.

GRAFICAS TENSION DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES — 1ª Serie

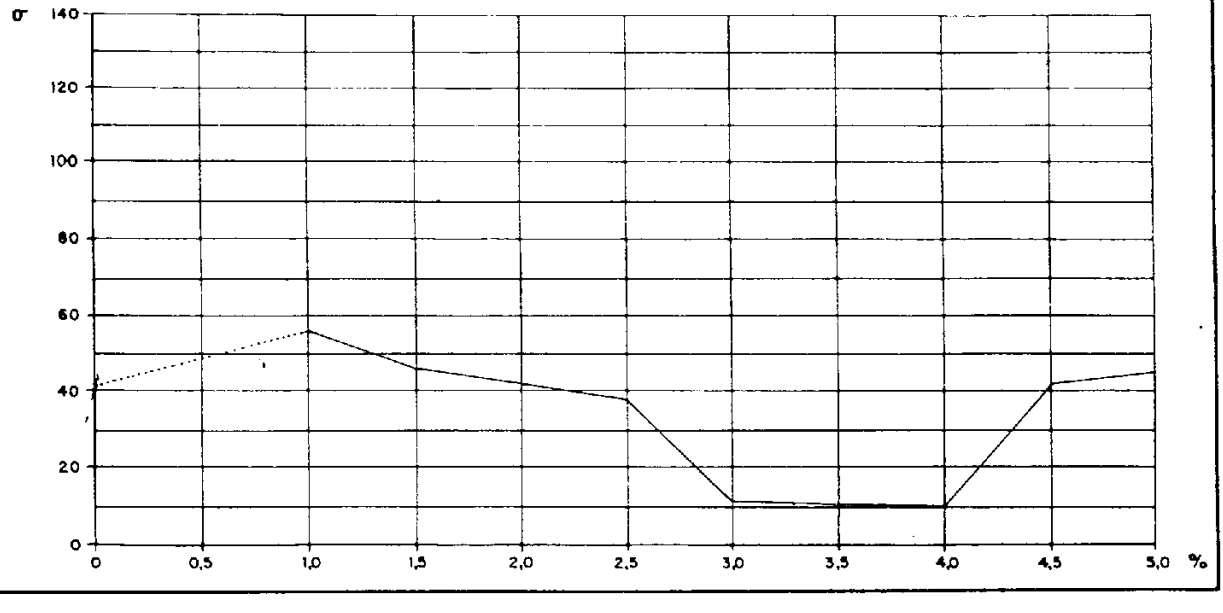
MATRIZ : E-35-L

ADICION: POLICONDENSADO DE MELAMINA Y FORMALDEHIDO (MELMENT F. 10)

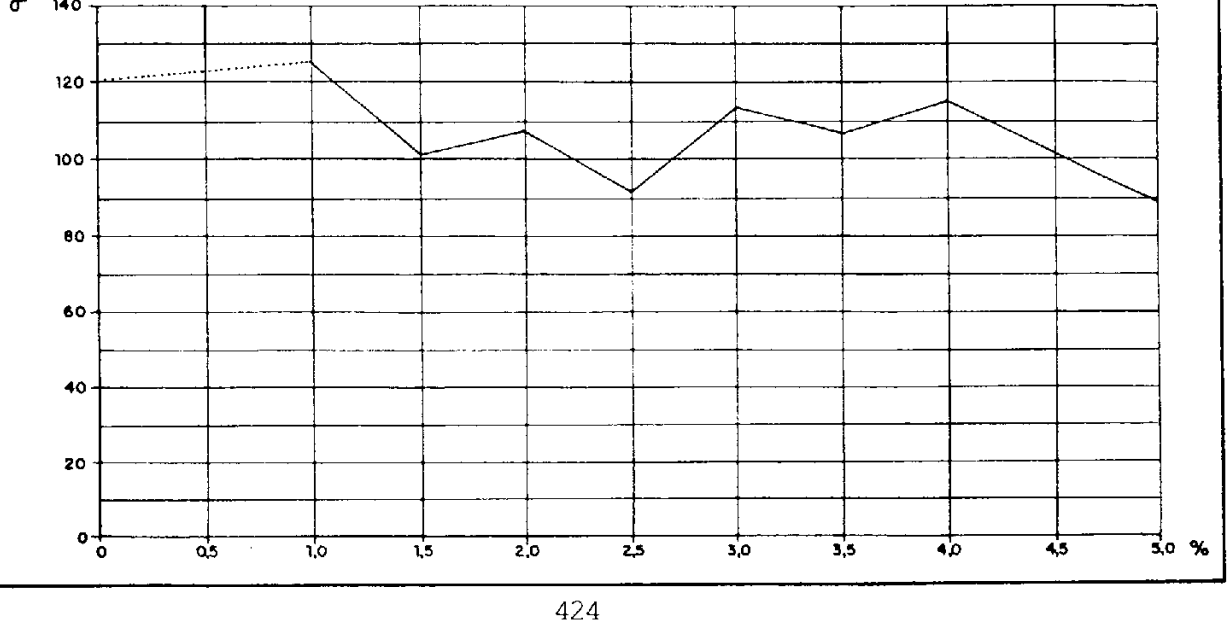
RESUMEN DE RESULTADOS

% ADICION	VALOR MEDIO FLEXION Kg/cm²	VALOR MEDIO COMPRESION Kg/cm²
0	40,91	120,0
1,0	57,83	125,0
1,5	47,66	100,83
2,0	43,91	108,56
2,5	39,75	91,14
3,0	11,0	114,91
3,5	10,08	108,85
4,0	10,0	117,52
4,5	43,75	101,02
5,0	46,66	89,33

RELACION TENSION DE ROTURA A FLEXION Y % DE ADICION



RELACION TENSION DE ROTURA A COMPRESION Y % DE ADICION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

2ª Serie

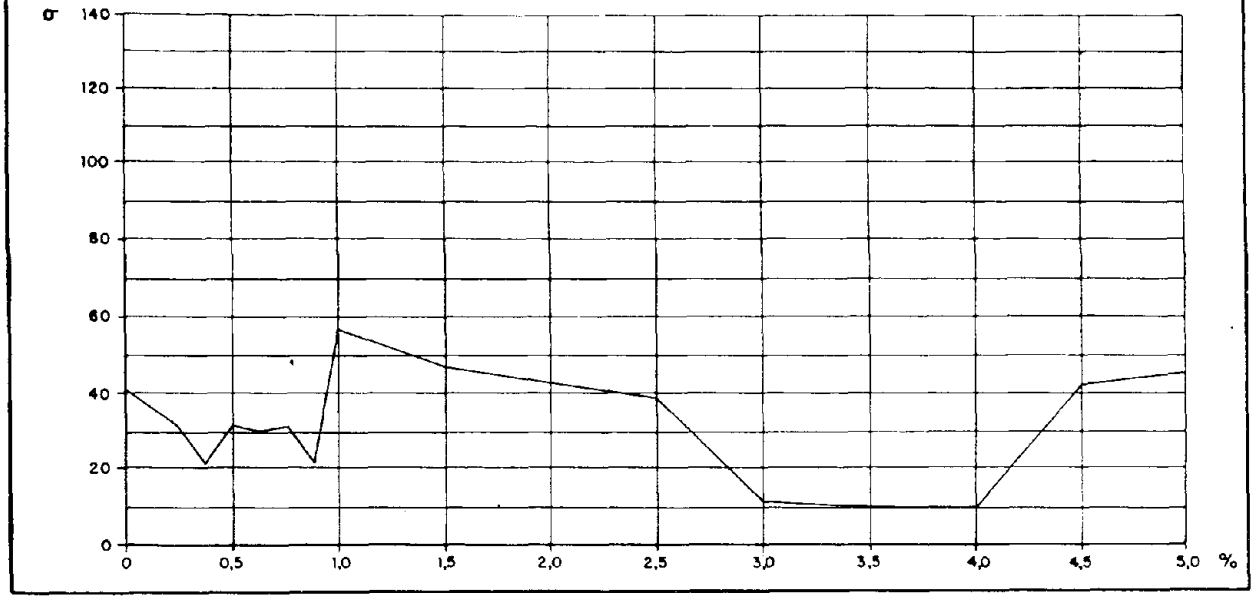
MATRIZ : E-35-L

ADICION: POLICONDENSADO DE MELAMINA Y FORMALDEHIDO (MELMENT F-10)

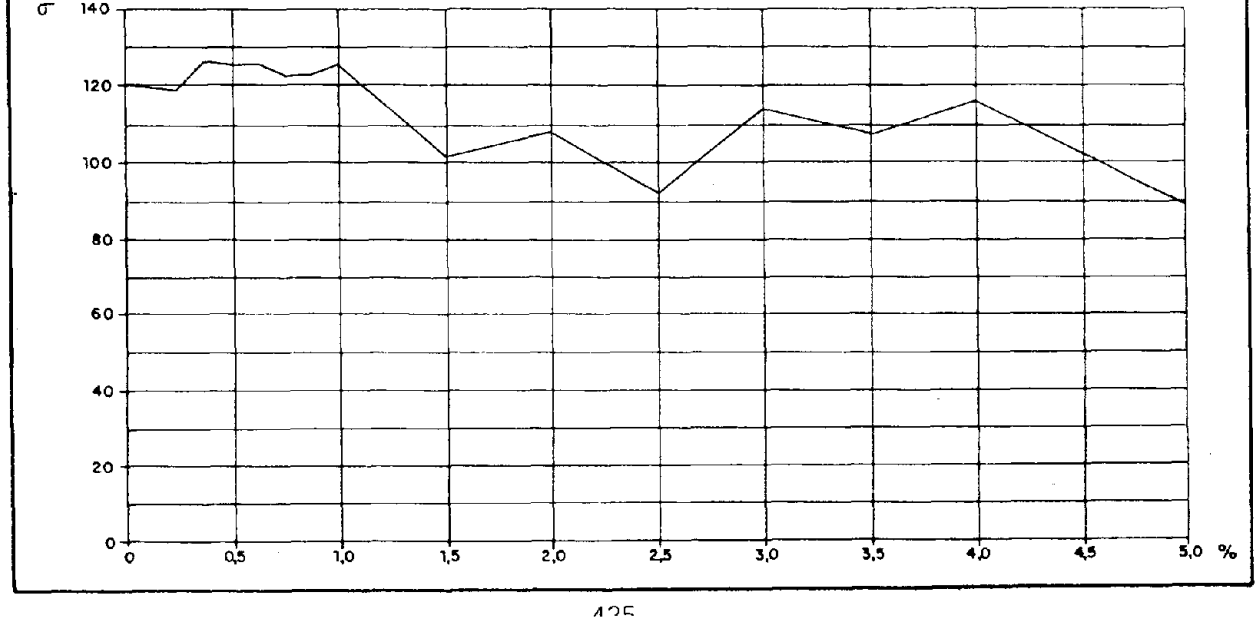
RESUMEN DE RESULTADOS

% ADICION	VALOR MEDIO FLEXION Kg/cm²	VALOR MEDIO COMPRESION Kg/cm²
0	40,91	120,0
0,25	31,08	118,69
0,375	21,25	125,0
0,5	31,0	124,23
0,625	30,62	>125,0
0,75	31,16	121,72
0,875	21,66	122,08
1,0	57,83	> 125,0

RELACION TENSION DE ROTURA A FLEXION Y % DE ADICION



RELACION TENSION DE ROTURA A COMPRESION Y % DE ADICION



- Acetato de polivinilo.

Analizando las gráficas de tensión-deformación en los ensayos de flexión y compresión correspondientes a los diversos porcentajes ensayados, no se observan diferencias importantes en la variación de las pendientes de las gráficas, permaneciendo inalterable por tanto el módulo de elásticidad.

En el ensayo de flexión los valores de resistencia mecánica, correspondientes a los distintos porcentajes de adición, son superiores a los de la escayola no aditivada. No se aprecia una relación entre las cantidades de adición y las tensiones obtenidas, únicamente puede establecerse un promedio genérico del incremento de un 25% en el valor de la resistencia.

En el ensayo de compresión los valores de resistencia mecánica presentan una homogeneidad de resultados, con tensiones superiores a las de la escayola no aditivada a partir de 0,375% de adición.

Se obtiene como conclusión un comportamiento diferenciado con respecto a la escayola sin aditivar que puede resumirse en los siguientes aspectos:

- Efecto fluidificante.
- Aumento de los valores de resistencia mecánica ante tensiones de flexotracción y compresión.

COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

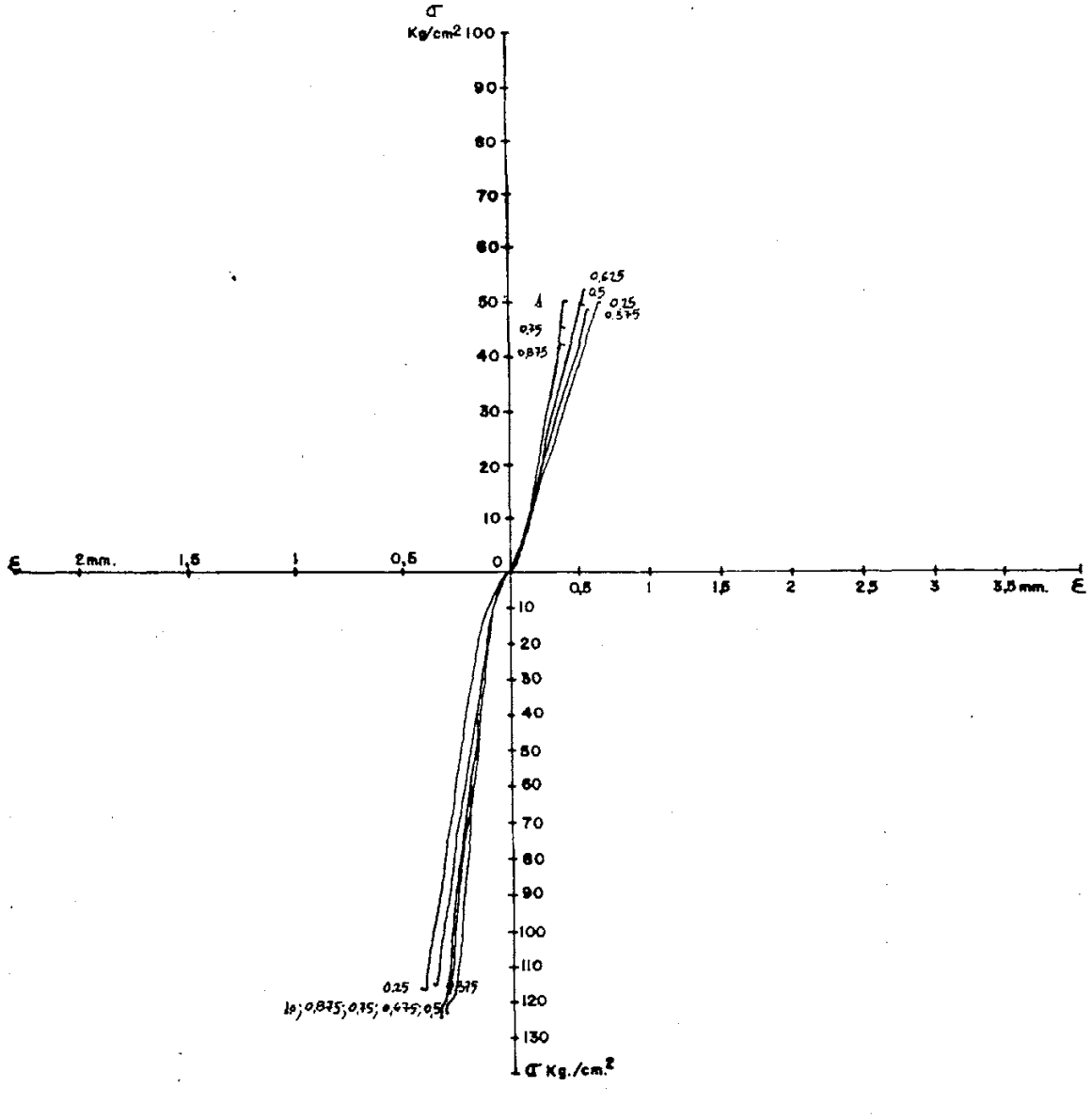
ADICION: DISPERSION A BASE DE ACETATO DE POLIVINILO (MOWILITH DS PULVER)

CONCLUSIONES

Efecto fluidificante

Aumento de los valores de consistencia mecánica ante tensiones de flexotracción y compresión.

GRAFICAS TENSION DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

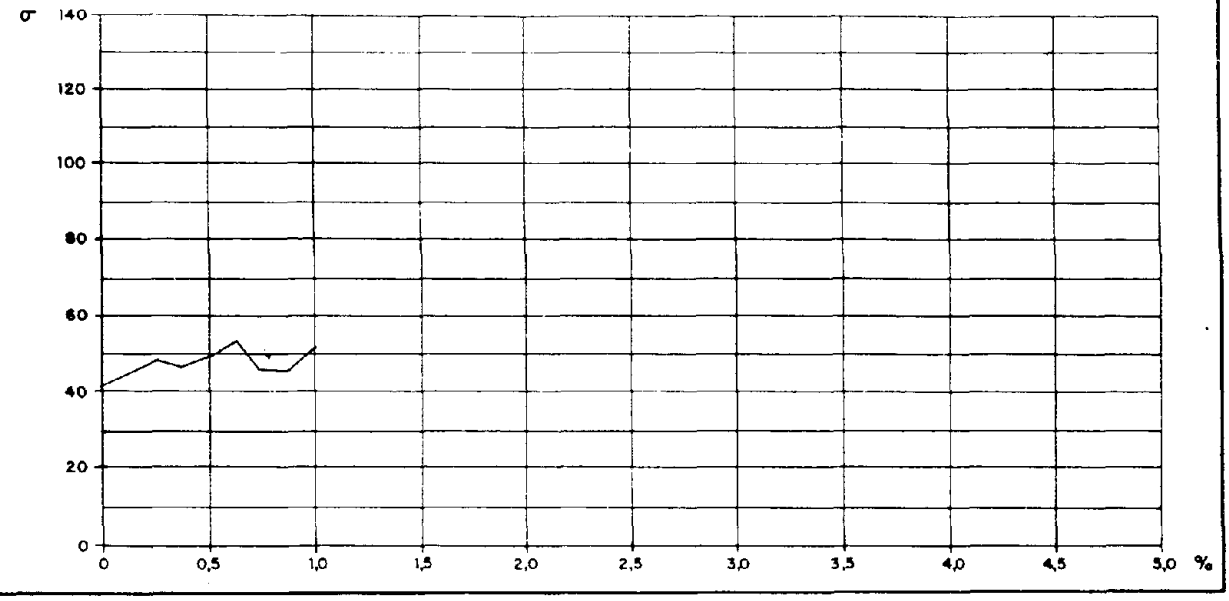
MATRIZ : E-35-L

ADICION: DISPERSION A BASE DE ACETATO DE POLIVINILO (MOWILITH DS PULVER)

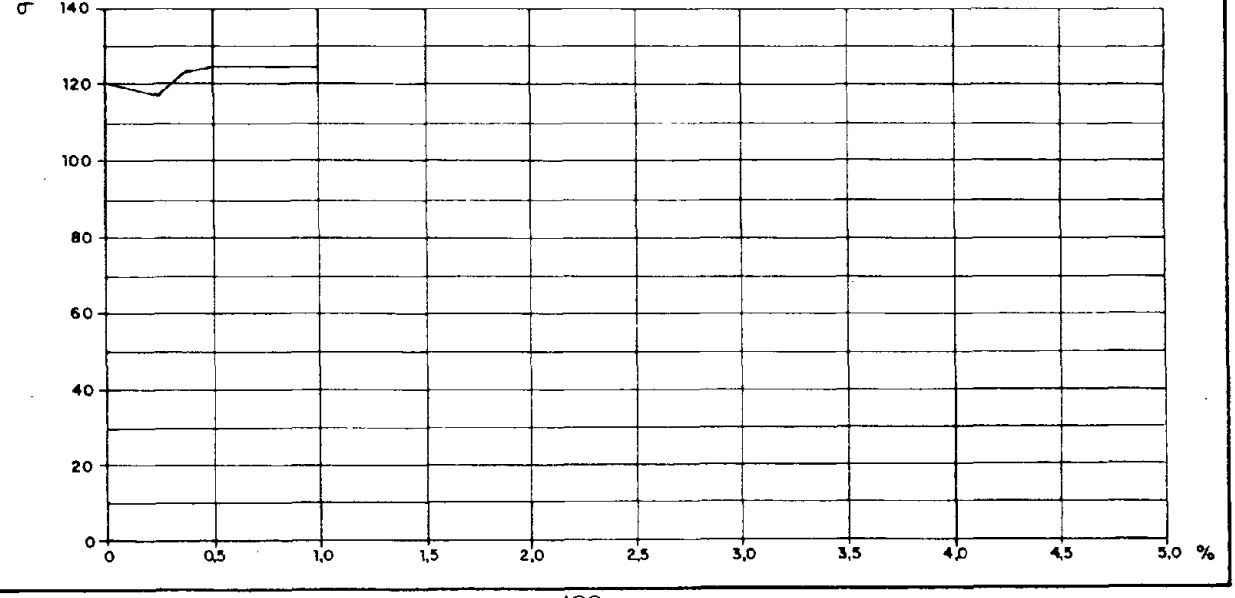
RESUMEN DE RESULTADOS

% ADICION	VALOR MEDIO FLEXION Kg/cm²	VALOR MEDIO COMPRESION Kg/cm²
0	40,91	120,0
0,25	48,25	117,02
0,375	46,91	122,52
0,5	49,41	125
0,625	53,08	125
0,75	46,50	125
0,875	45,83	125
1,0	51,75	125

RELACION TENSION DE ROTURA A FLEXION Y % DE ADICION



RELACION TENSION DE ROTURA A COMPRESION Y % DE ADICION



- Acido acrílico.

Analizando las gráficas de tensión-deformación en los ensayos de flexión y compresión correspondientes a los diversos porcentajes ensayados, no se observan diferencias importantes en la variación de las pendientes de las gráficas, permaneciendo inalterable por tanto el módulo de elásticidad.

En el ensayo de flexión los valores de resistencia mecánica correspondientes a los distintos porcentajes de adición son superiores a los de la escayola no aditivada. No se aprecia relación entre las cantidades de adición y las tensiones obtenidas, únicamente puede establecerse un promedio genérico de incremento de un 12,5% del valor de la resistencia.

En el ensayo de compresión los valores de resistencia mecánica presentan una homogeneidad de resultados, con tensiones superiores a las de la escayola no aditivada a partir del 0,375% de adición.

Se obtiene como conclusión un comportamiento diferenciado con respecto a la escayola sin aditivar que puede resumirse en los siguientes aspectos:

- Efecto fluidificante.
- Aumento de los valores de resistencia mecánica ante tensiones de flexotracción y compresión.

COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

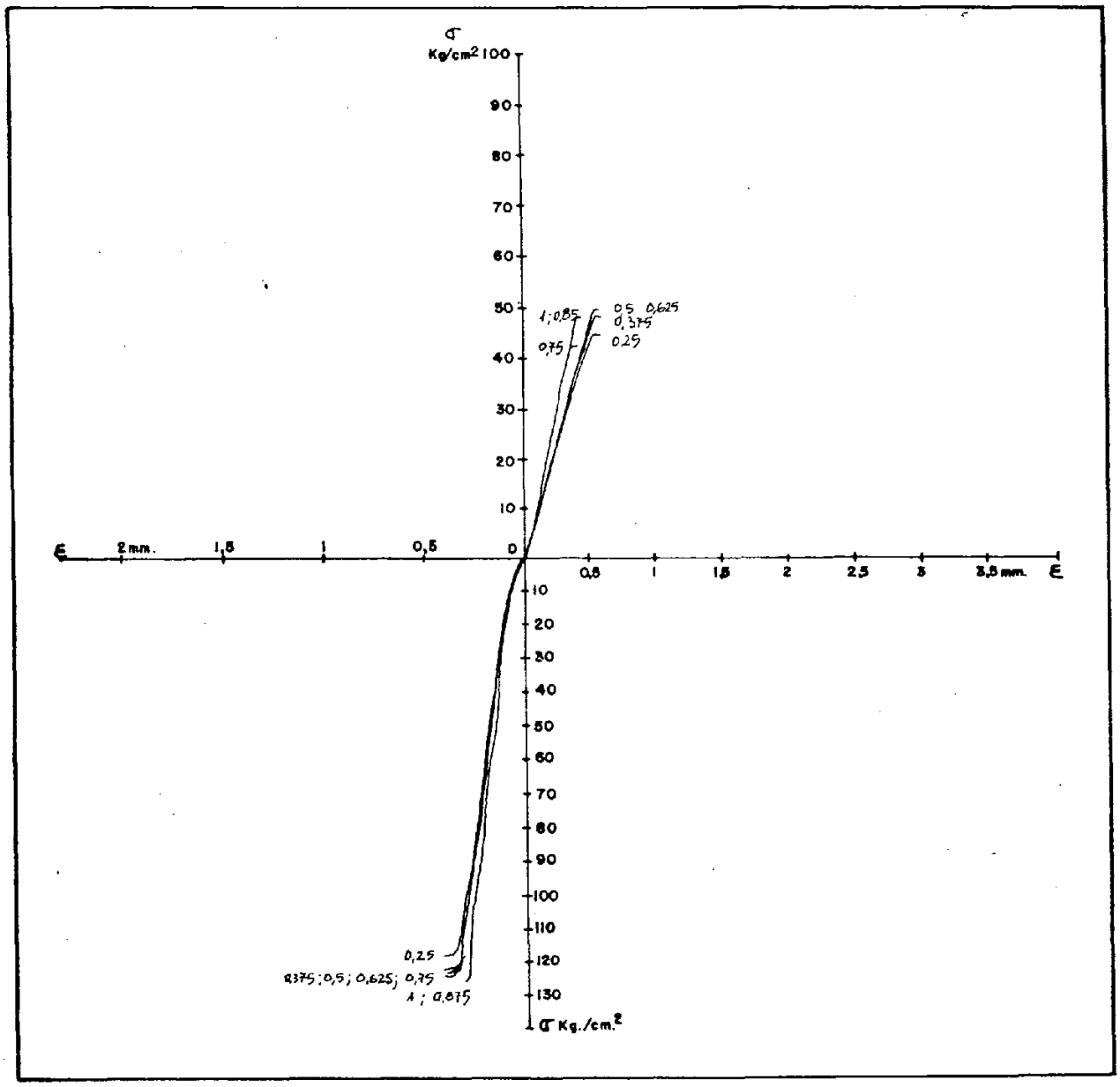
ADICION: DISPERSION COPOLIMERA A BASE DE ESTERES DE ACIDO ACRILICO (MOWITON M-300)

CONCLUSIONES

Efecto fluidificante

Aumento de los valores de resistencia mecánica ante tensiones de flexotracción y compresión.

GRAFICAS TENSION DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

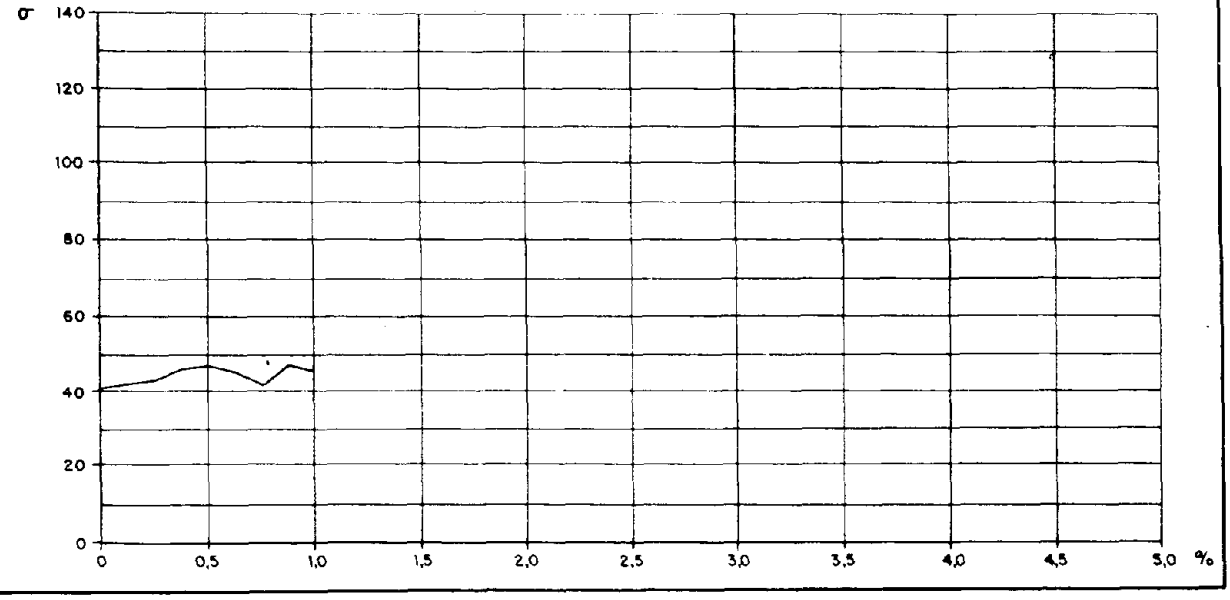
MATRIZ : E - 35 - L

ADICION: DISPERSION COPOLIMERA A BASE DE ESTERES DE ACIDO ACRILICO (MOWITON M-300)

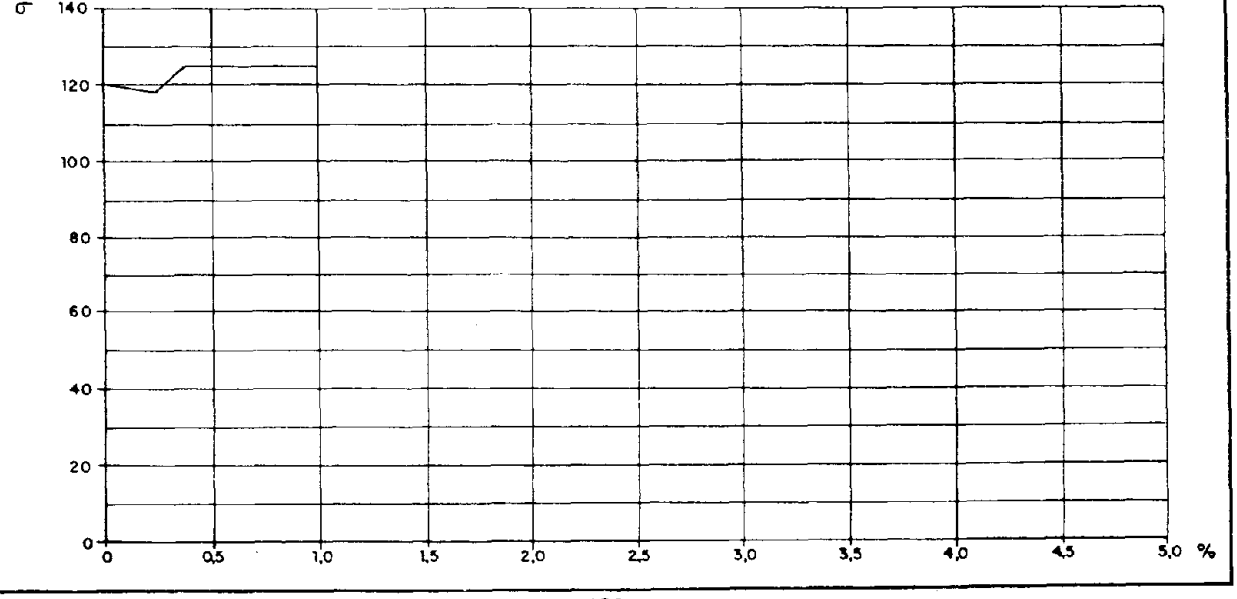
RESUMEN DE RESULTADOS

% ADICION	VALOR MEDIO FLEXION Kg/cm²	VALOR MEDIO COMPRESION Kg/cm²
0	40,91	120,0
0,25	43,75	118,15
0,375	46,25	> 125,0
0,5	47,16	> 125,0
0,625	45,83	> 125,0
0,75	41,41	> 125,0
0,875	47,16	> 125,0
1,0	45,91	> 125,0

RELACION TENSION DE ROTURA A FLEXION Y % DE ADICION



RELACION TENSION DE ROTURA A COMPRESION Y % DE ADICION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)

POLICONDENSADO DE MELAMINA FORMALDEHIDO (MELMENT F-10)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	1,75	%
CANTIDAD ADICION	13,125	gr.....	0,5	
	3,75	gr.....		

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

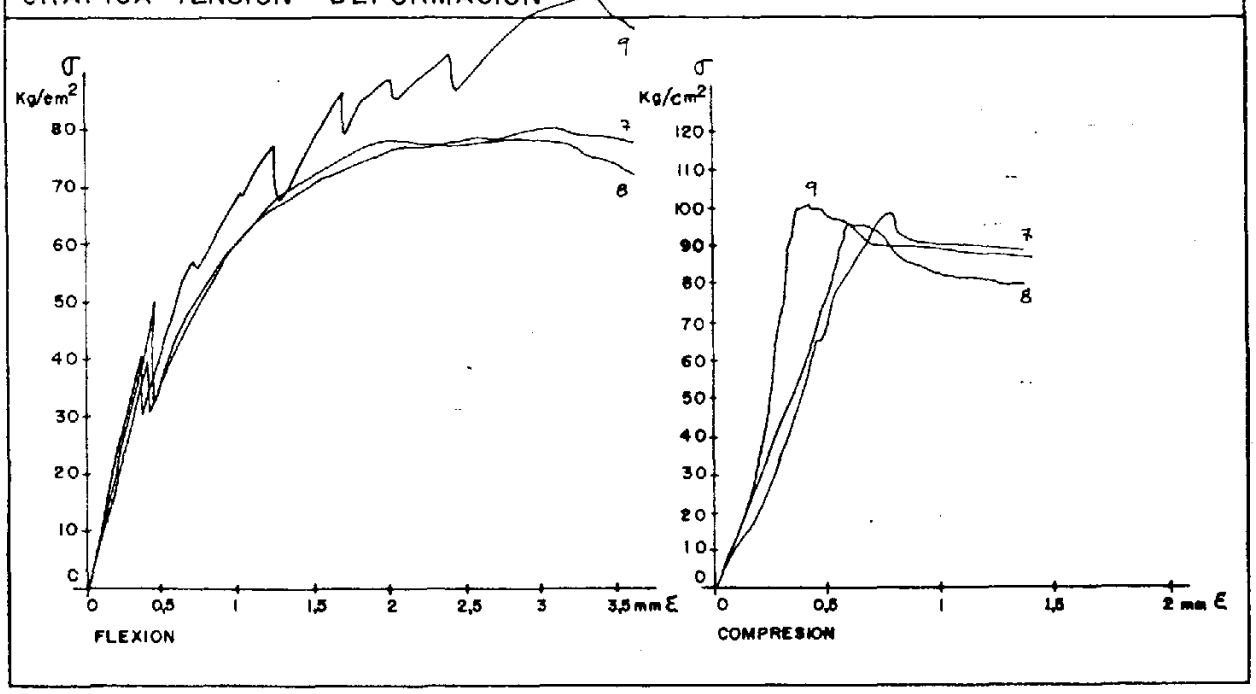
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FPP DM 7	FPP DM 8	FPP DM 9
CAMARA HUMEDA			
	406,0	408,8	407,3
	402,8	406,0	404,4
	401,0	404,8	402,4
	400,4	404,4	401,7
	399,5	403,9	401,1
ESTUFA 40°C	399,0	403,5	400,5
	287,7	290,4	287,3
	287,1	290,1	287,1

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	77,75	101,25	79,25
VALOR MEDIO	86,08		
COMPRESION	99,31	98,94	103,81
VALOR MEDIO	100,69		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)

POLICONDENSADO DE MELAMINA FORMALDEHIDO (MELMENT F-10)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	18,75	gr.	2,5	%
	3,75	gr.	0,5	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

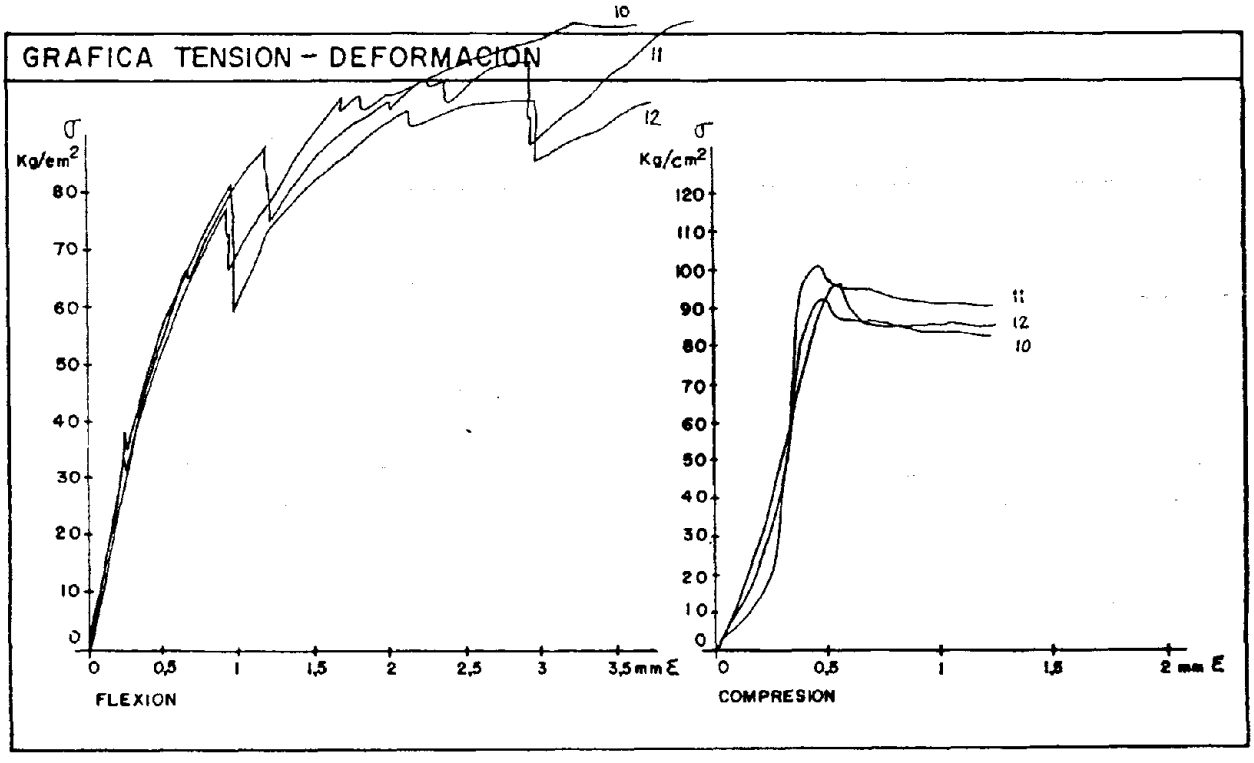
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FPP DM 10	FPP DM 11	FPP DM 12
CAMARA HUMEDA			
	406,2	407,9	405,0
	405,0	407,1	403,8
	403,7	406,1	402,5
	403,2	405,8	402,0
	402,2	405,0	400,8
ESTUFA 40°C	401,5	404,4	399,9
	289,5	290,8	286,4
	289,4	290,7	286,4

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	107,75	108,25	96,0
VALOR MEDIO	104,0		
COMPRESION	96,125	101,81	94,12
VALOR MEDIO	97,35		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ: E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)
POLICONDENSADO DE MELAMINA FORMALDEHIDO (MELMENT F-10)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	22,5	gr.....	3 %
	3,75	gr.....	0,5

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85
UNE 102031

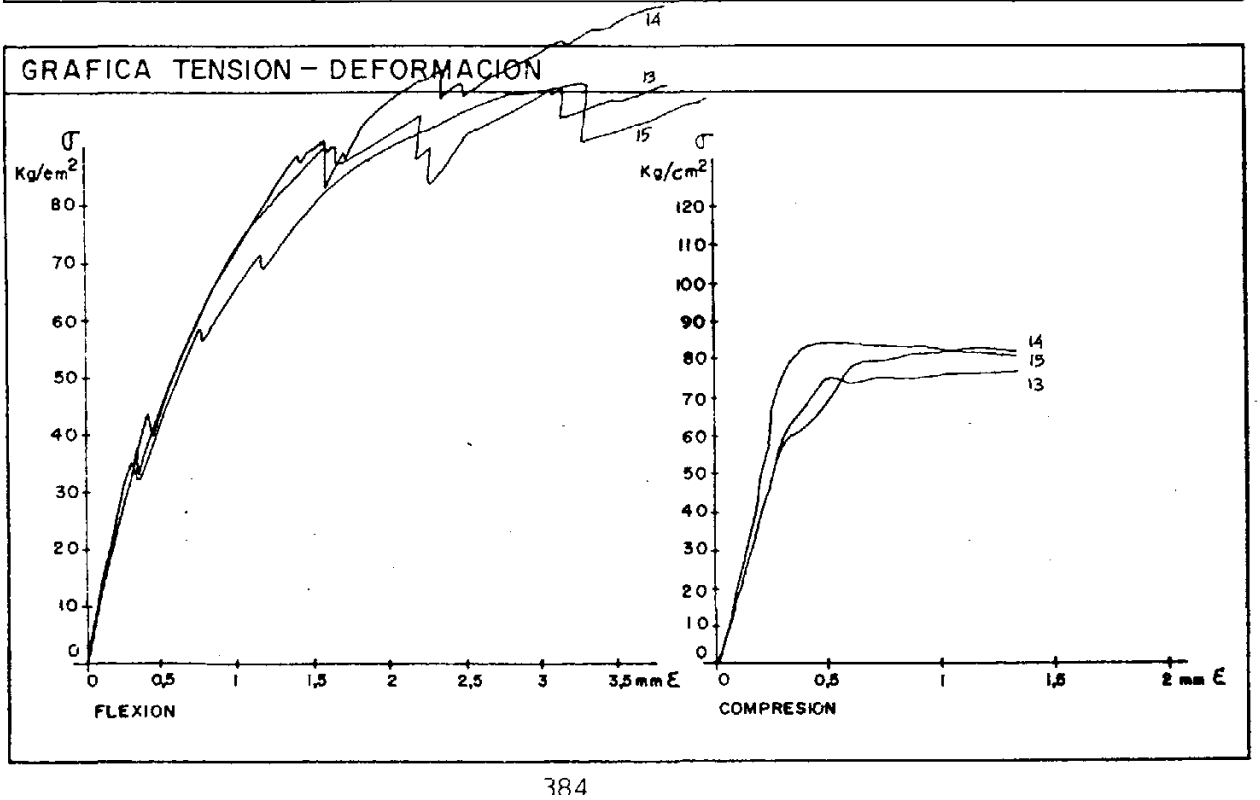
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	S E R I E		
	FPP DM 13	FPP DM 14	FPP DM 15
CAMARA HUMEDA			
	406,5	403,6	410,9
	–	–	–
	405,5	402,4	409,4
	405,0	402,0	408,8
	404,3	401,4	408,1
ESTUFA 40°C	403,3	400,4	406,8
	286,7	284,6	292,3
	286,5	284,5	292,1

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	S E R I E		
FLEXION	102,25	113,00	106,5
VALOR MEDIO	107,25		
COMPRESION	77,0	85,81	84,37
VALOR MEDIO	82,39		

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)

DISPERSION DE ACETATO DE P.V. (MOWILITH DS PULVER)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	15	gr.....	2 %
	7,5	gr.....	1

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

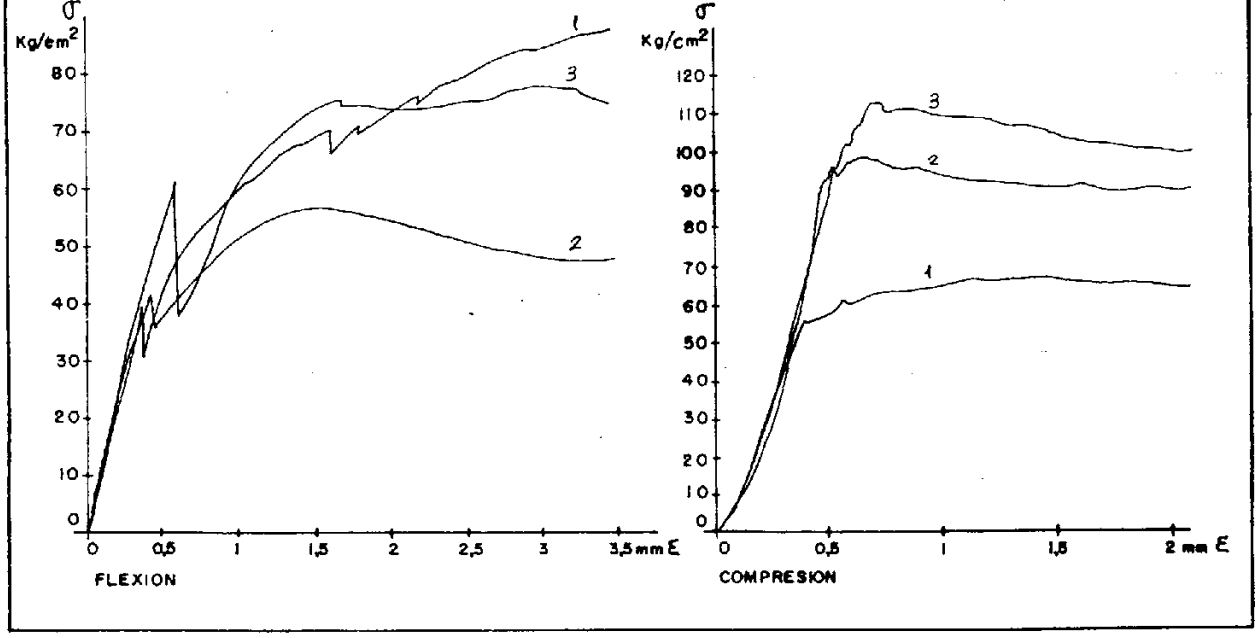
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	S E R I E		
	FPP-DAP 1	FPP-DAP 2	FPP-DAP 3
CAMARA HUMEDA			
	385,9	411,1	406,6
	383,7	409,7	404,7
	382,5	409,1	403,8
	381,5	409,0	403,4
	380,3	408,3	402,6
ESTUFA 40°C	267,9	304,2	298,2
	263,9	299,0	294,9
	263,7	298,9	294,8

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	S E R I E		
		Mala distribución fibra	
FLEXION	89,25	55,0	77,25
VALOR MEDIO	83,25		
COMPRESION	66,62	99,75	113,62
VALOR MEDIO	93,33		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)
DISPERSION DE ACETATO DE P.V. (MOWILITH DS PULVER)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	15	gr.....	2	%
	3,75	gr.....	0,5	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85
UNE 102031

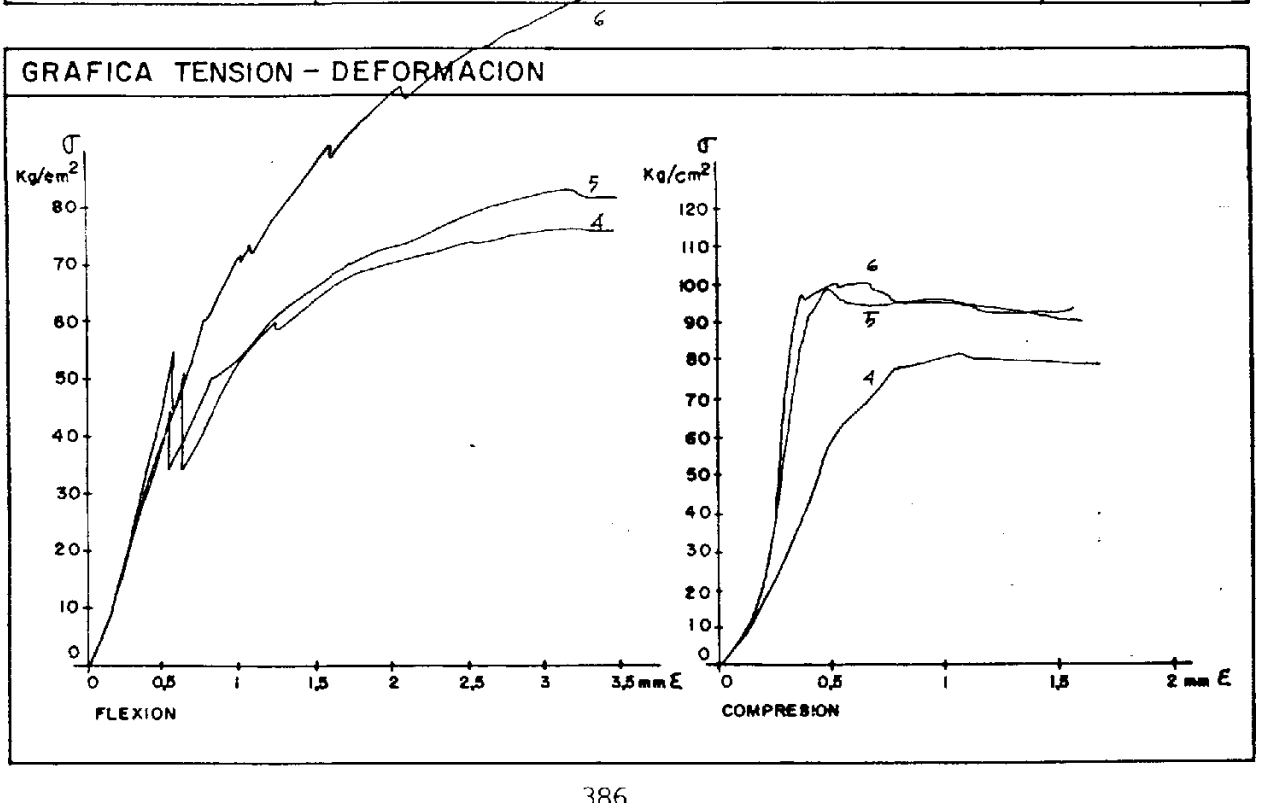
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FPP DAP 4	FPP DAP 5	FPP DAP 6
CAMARA HUMEDA			
	396,3	408,3	411,2
	395,4	407,7	410,4
	394,5	407,0	409,6
	393,4	406,2	408,7
	392,6	405,4	408,0
ESTUFA 40°C	392,2	405,1	407,5
	280,7	291,6	296,6
	280,7	291,6	296,6

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	73,75	80,0	117,75
VALOR MEDIO		90,50	
COMPRESION	80,81	100,62	101,56
VALOR MEDIO		94,33	

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ: E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)
DISPERSION DE ACETATO DE P.V. (MOWILITH DS PULVER)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	13,125	gr.....	1,75	%
	3,75	gr.....	0,5	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85
UNE 102031

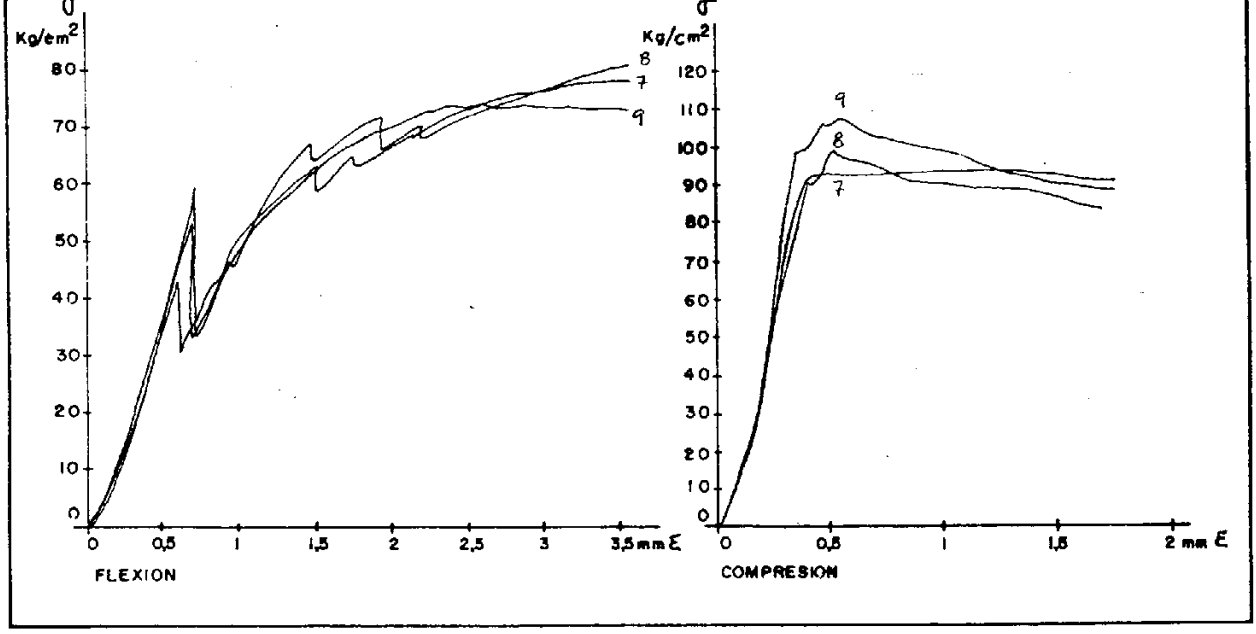
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FPP DAP 7	FPP DAP 8	FPP DAP 9
CAMARA HUMEDA			
	395,3	405,9	412,6
	394,0	405,2	411,7
	393,3	404,8	411,1
	392,5	404,4	410,6
	391,9	404,1	410,1
ESTUFA 40°C	391,3	403,8	409,6
	271,9	289,5	297,9
	271,9	289,4	297,9

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	76,50	83,75	74,25
VALOR MEDIO	78,17		
COMPRESION	95,43	102,06	109,56
VALOR MEDIO	102,35		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)

DISPERSION DE ACETATO DE P.V. (MOWILITH DS PULVER)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	18,75	gr.....	2,5	%
	3,75	gr.....	0,5	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

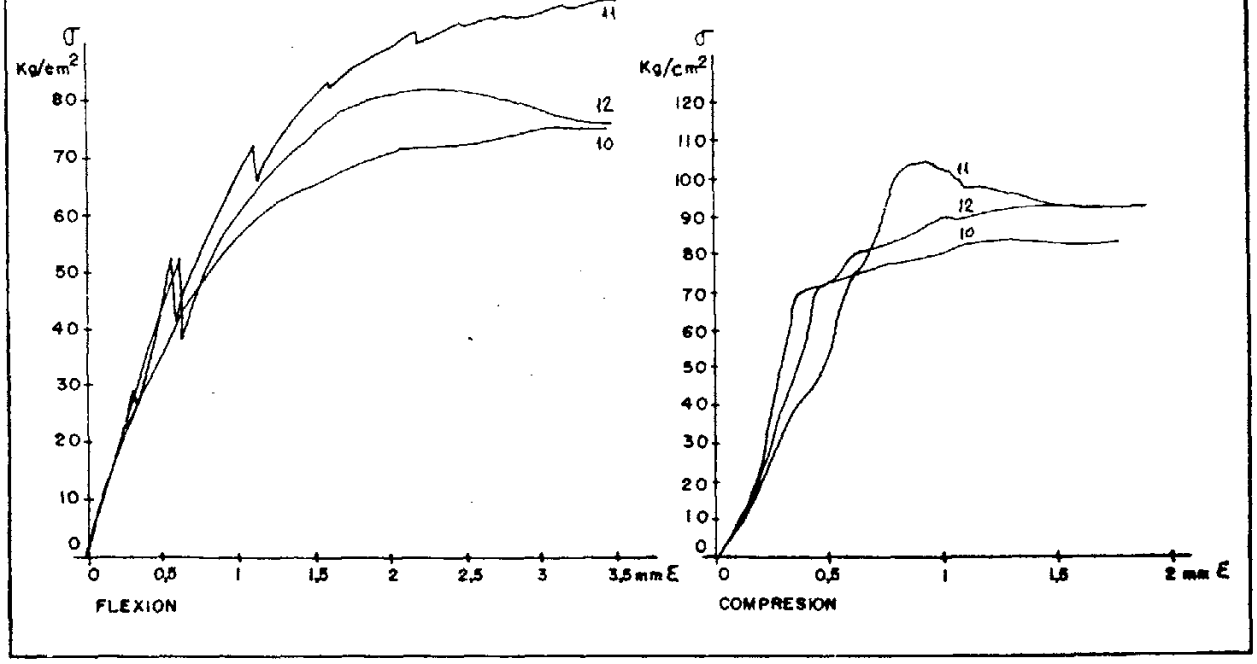
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	S E R I E		
	FPP DAP 10	FPP DAP 11	FPP DAP 12
CAMARA HUMEDA			
	398,4	406,8	406,8
	397,1	405,9	405,4
	396,6	405,5	404,9
	395,8	405,1	404,0
	394,9	404,7	403,4
ESTUFA 40°C	393,6	403,8	402,1
	278,1	290,0	289,8
	278,1	290,0	289,7

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	S E R I E		
			Coqueras superficiales
FLEXION	74,25	97,25	80,50
VALOR MEDIO	84,0		
COMPRESION	83,31	104,62	93,31
VALOR MEDIO	93,75		

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ E-35-L
ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)
DISPERSION DE ACETATO DE P.V. (MOWILITH DS PULVER)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	3	%
CANTIDAD ADICION	22,5	gr.....	0,5	
	3,75	gr.....		

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85
UNE 102031

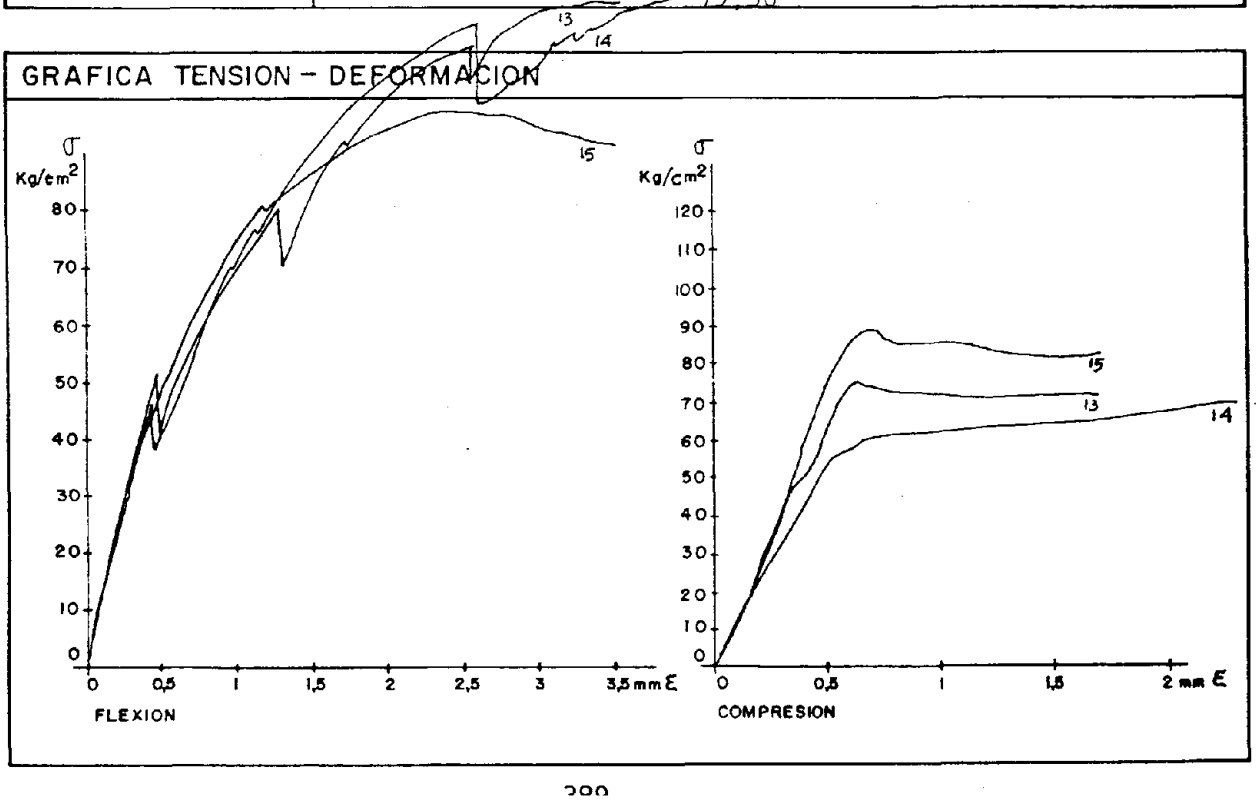
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FPP DAP 13	FPP DAP 14	FPP DAP 15
CAMARA HUMEDA			
	403,5	407,8	403,8
	402,0	406,4	402,2
	401,4	405,8	401,6
	-	-	-
	400,8	405,3	400,8
ESTUFA 40°C	400,3	404,9	399,2
	284,8	292,0	291,0
	284,6	291,8	290,9

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	115,5	118,75	94,5
VALOR MEDIO		109,58	
COMPRESION	75,18	75,0	88,5
VALOR MEDIO		79,56	

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ: E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)

DISPERSION COP. ESTERES ACIDO ACRILICO (MOWITON M-300)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	15	gr.....	2 %
	7,5	gr.....	1

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

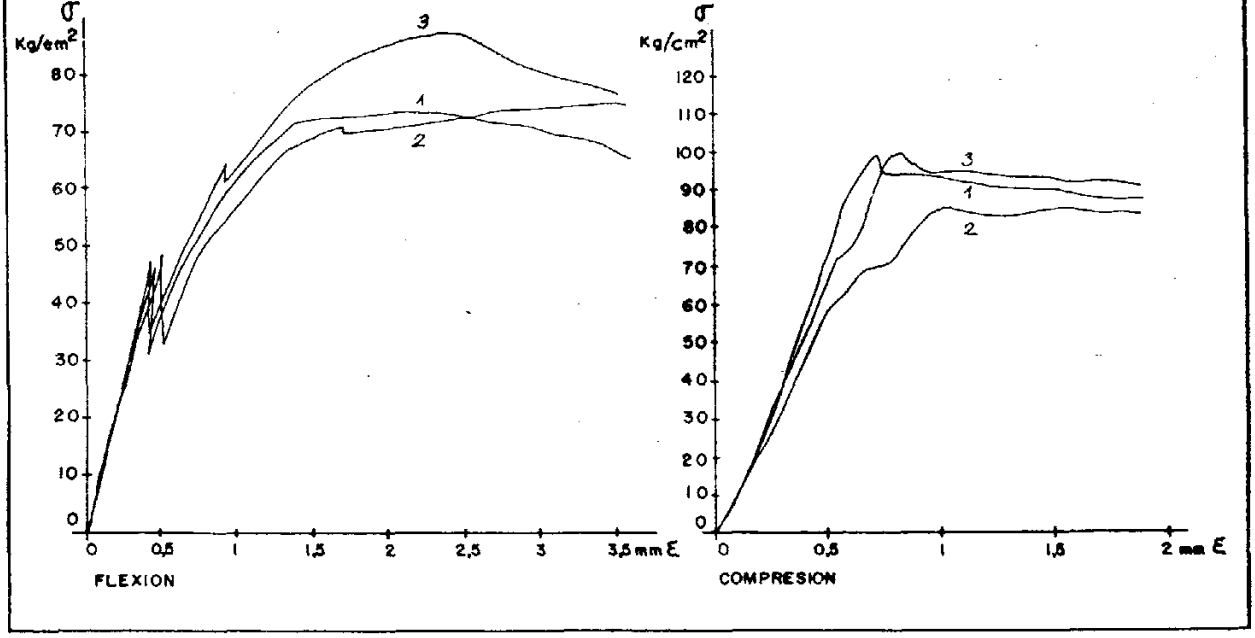
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FPP-DA-1	FPP-DA-2	FPP-DA-3
CAMARA HUMEDA			
	401,8	400,8	406,8
	400,4	399,8	405,2
	399,6	398,9	403,4
	399,3	398,3	403,4
	398,9	397,5	402,7
ESTUFA 40°C	398,6	397,1	402,3
	283,0	285,4	289,5
	282,8	285,2	289,3

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	73,0	74,0	86,0
VALOR MEDIO	77,66		
COMPRESION	98,25	83,75	99,87
VALOR MEDIO	93,95		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ E-35-L

ADICION FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)

DISPERSION COP. ESTERES ACIDO ACRILICO (MOWITON M-300)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	15	gr.....	2	%
	3,75	gr.....	0,5	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

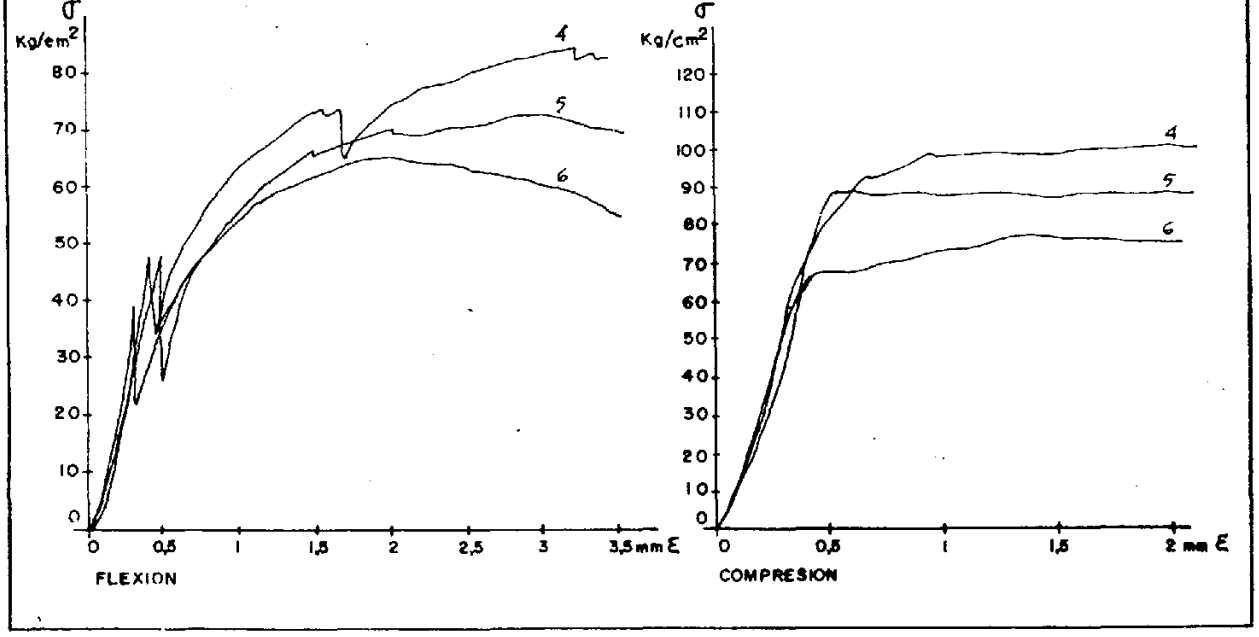
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FPP DA 4	FPP DA 5	FPP DA 6
CAMARA HUMEDA			
	407,7	406,1	403,3
	406,4	405,5	402,1
	406,3	405,9	401,6
	406,1	405,6	401,2
	405,6	405,2	400,6
ESTUFA 40°C	405,0	404,9	400,1
	290,9	289,3	285,3
	290,6	289,1	285,1

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	83,0	71,0	64,0
VALOR MEDIO		72,66	
COMPRESION	101,68	91,06	78,18
VALOR MEDIO		90,31	

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)

DISPERSION COP. ESTERES ACIDO ACRILICO (MOWITON M-300)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	13,125	gr.....	1,75	%
	3,75	gr.....	0,5	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

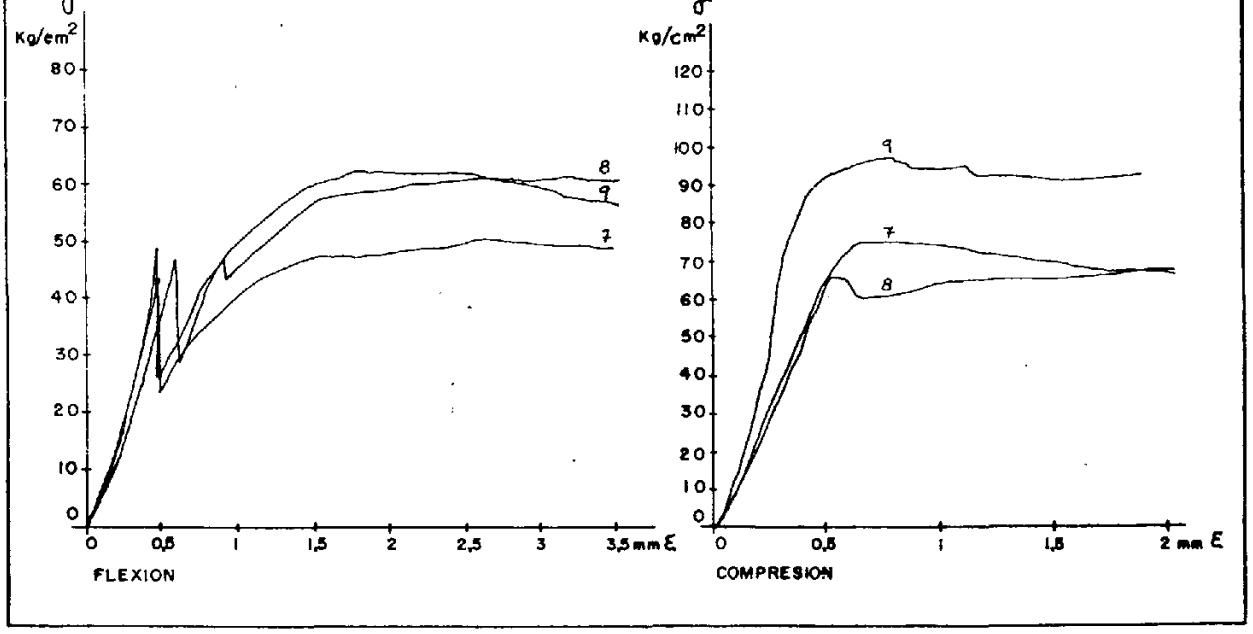
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FPP DA 7	FPP DA 8	FPP DA 9
CAMARA HUMEDA			
	389,7	396,2	402,6
	387,6	395,0	401,2
	386,5	394,6	400,6
	385,7	394,3	400,1
	384,8	393,5	399,3
ESTUFA 40°C	384,0	393,0	398,7
	270,7	279,1	288,5
	270,6	278,9	288,4

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	49,25	61,0	61,5
VALOR MEDIO	57,25		
COMPRESION	76,25	68,87	99,31
VALOR MEDIO	81,47		

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)

DISPERSION COP. ESTERES ACIDO ACRILICO (MOWITON M-300)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7			
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.		
CANTIDAD ADICION	18,75	gr.....	2,5	%
	3,75	gr.....	0,5	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

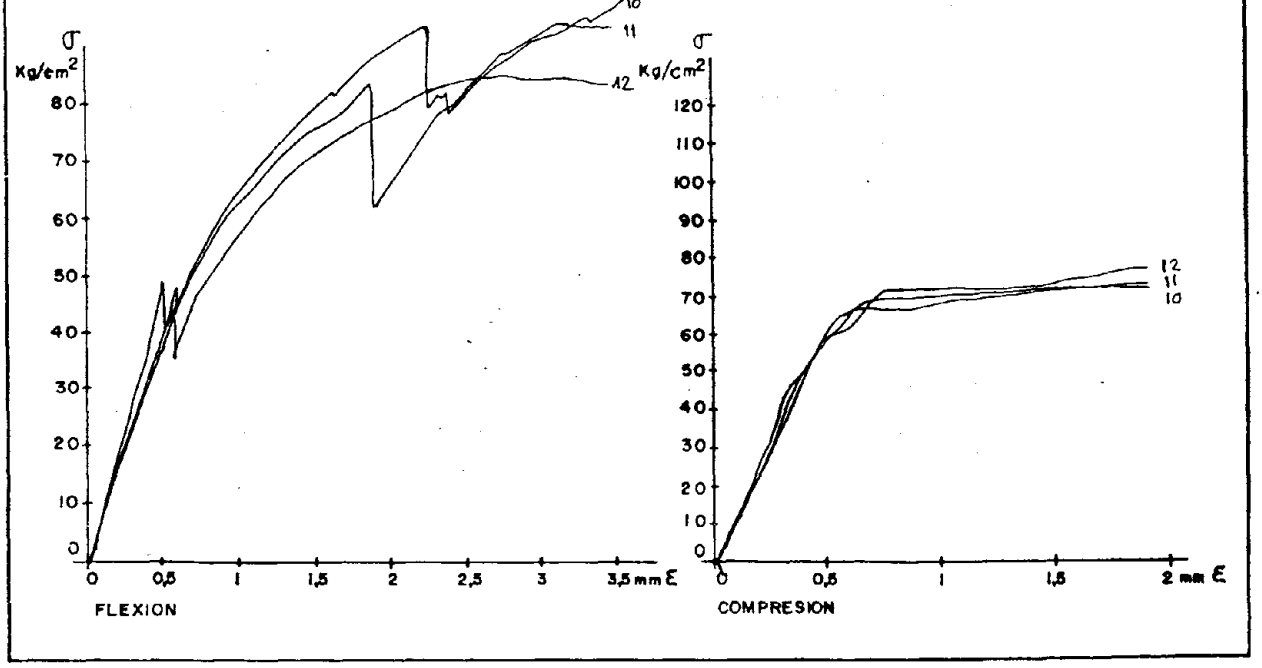
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FPP DA 10	FPP DA 11	FPP DA 12
CAMARA HUMEDA			
	401,0	402,0	411,3
	400,3	401,3	410,5
	399,4	400,4	409,4
	398,6	399,9	408,6
	–	–	–
ESTUFA 40°C	397,8	399,5	408,0
	284,4	286,2	296,1
	284,4	286,2	296,0

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	99,25	91,50	87,0
VALOR MEDIO	92,58		
COMPRESION	79,25	79,44	79,87
VALOR MEDIO	79,52		

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)

DISPERSION COP. ESTERES ACIDO ACRILICO (MOWITON M-300)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	22,5	gr.....	3 %
	0,5	gr.....	0,5

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

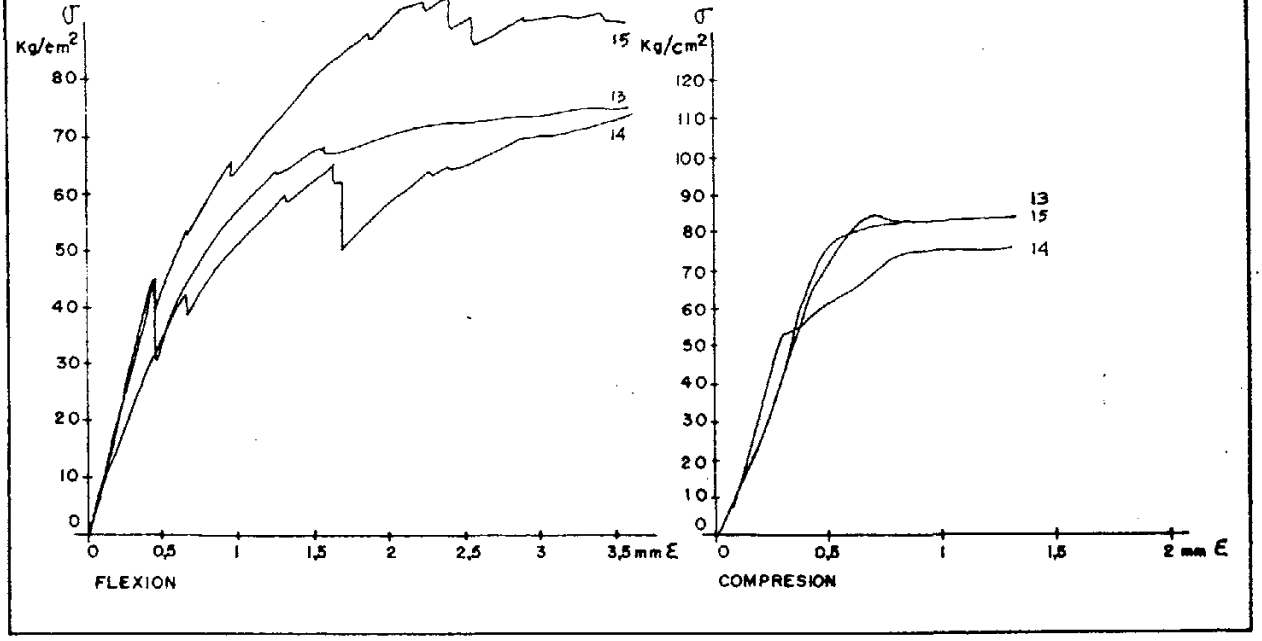
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	FPP DA 13	FPP DA 14	FPP DA 15
CAMARA HUMEDA			
	408,2	394,3	404,3
	407,8	393,5	403,9
	–	–	–
	407,1	392,5	403,1
	406,7	391,9	402,7
ESTUFA 40°C	406,2	391,2	402,0
	295,2	279,4	289,6
	294,9	279,2	289,4

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	73,25	73,25	91,5
VALOR MEDIO	79,33		
COMPRESION	84,68	76,31	83,18
VALOR MEDIO	81,40		

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



8.3.5. Resumen de resultados con probetas prismáticas.

Se realizan los resúmenes de los resultados de flexotracción y compresión obtenidos en los apartados 8.3.2., 8.3.3. y 8.3.4.

Se dibujan gráficas que expresan la relación entre las tensiones máximas alcanzadas en los ensayos realizados y los porcentajes de adición, según sean simples o binarias.

En las adiciones binarias entre fibras y dispersiones, se realizan gráficas comparativas entre: la influencia del porcentaje de adición de la fibra sobre los valores mecánicos alcanzados; y la influencia que las dispersiones ejercen sobre estos valores, comprobándose para cada tipo de fibra la idoneidad de la dispersión a utilizar.

En los siguientes cuadros se comparan en porcentajes de incremento de valores mecánicos obtenidos por cada adición para los ensayos de flexión y compresión.

ENSAYO DE FLEXION																
TIPO DE ADICION	PORCENTAJES															
	0,25	0,375	0,5	0,625	0,75	0,875	1,0	1,5	1,75	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
FA			21,8				18,9	51,23	44,2	68,85	54,1	88,82				
FP			-7,1				24,9	43,0	–	127,3						
FPP			6,7				38,9	25,5		58,9	47,3					
DM	-21	-48	-24,2	-25,1	-23,8	-47	41,3	16,4		7,3	-2,8	-73	-75,3	-75	6,9	14
DAP	18	14,7	20,8	29,8	13,7	12	26,5									
DA	6,9	13,05	15,3	12,0	1,2	15,3	12,2									
FA·DM (0,5)									64,6	51,0	102,7	110,8				
FA·DAP (0,5)									41,8	45,0	70,7	115,4				
FA·DA (0,5)									35,9	59,3	67,7	34,1				
FP·DM (0,5)									52,6	39,6	52,6	72,3				
FP·DAP (0,5)									19,4	34,0	-5,8	27,5				
FP·DA (0,5)									14,6	23,0	28,8	41,0				
FPP·DM (0,5)									110,4	123,3	154,2	162,2				
FPP·DAP (0,5)									91,0	121,2	105,4	167,9				
FPP·DA (0,5)									40,0	77,6	126,3	86,6				

ENSAYO DE COMPRESION																
TIPO DE ADICION	PORCENTAJES															
	0,25	0,375	0,5	0,625	0,75	0,875	1,0	1,5	1,75	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
FA			-3,2				-26,5	-20,9	-37,5	-4,7	-13,6	-23,0				
FP			-36,2				-38,6	-56,0		-50,4						
FPP			-43,7				-50,2	-54,4		-46,6	-47,5					
DM	-1,1	4,2	3,5	>4,2	1,5	1,8	>4,2	-16,0		-9,5	-24,0	-4,2	-9,3	-2,0	-15,8	-25,6
DAP	-2,5	2,1	>4,2	>4,2	>4,2	>4,2	>4,2									
DA	-1,6	>4,2	>4,2	>4,2	>4,2	>4,2	>4,2									
FA·DM									-19,0	-21,0	-6,2	-15,2				
FA·DAP									-4,6	-13,2	-17,0	-22,0				
FA·DA									-17,9	-4,8	-24,0	-37,7				
FP·DM									-12,6	-23,0	-25,0	-21,4				
FP·DAP									-27,9	-22,0	-2,2	-53,8				
FP·DA									>4,2	-39,2	-51,3	-27,5				
FPP·DM									-16,0	-14,0	-18,9	-31,4				
FPP·DAP									-14,7	-21,4	-19,4	-33,7				
FPP·DA									-32,1	-24,7	-33,7	-32,2				

8.3.6. Comprobación con placas a flexotracción.

Una vez optimizados los porcentajes binarios de adición sobre probetas prismáticas se comprueban éstos sobre placas, con el fin de observar los efectos que el yeso reforzado presenta en una superficie laminar.

Esta comprobación se realiza con respecto a los valores de resistencia a flexotracción de una placa de escayola sin adición.

COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ: E-35-L

ADICION: SIN ADICION

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION		gr.	– %
		gr.	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031 Placas

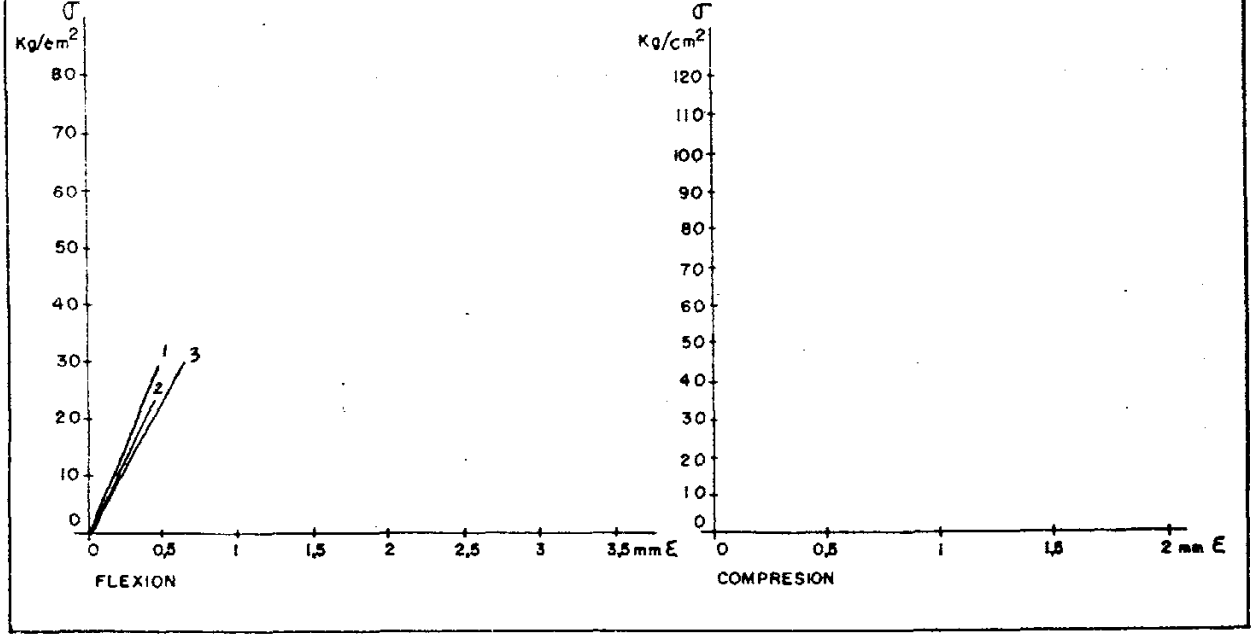
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	PE-1	PE-2	PE-3
CAMARA HUMEDA			
	338,8	340,1	333,0
	337,5	338,3	330,9
	337,0	337,8	330,5
	336,4	337,2	330,1
	335,1	335,5	328,9
ESTUFA 40°C	232,0	233,3	228,4
	231,5	232,8	227,9
	231,5	232,8	227,9

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	29,98	22,10	29,08
VALOR MEDIO	26,75		
COMPRESION			
VALOR MEDIO			

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)

POLICONDENSADO DE MELAMINA FORMALDEHIDO (MELMENT F-10)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	15	gr.....	2,0 %
	3,75	gr.....	0,5

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY 85

UNE 102031 Placas

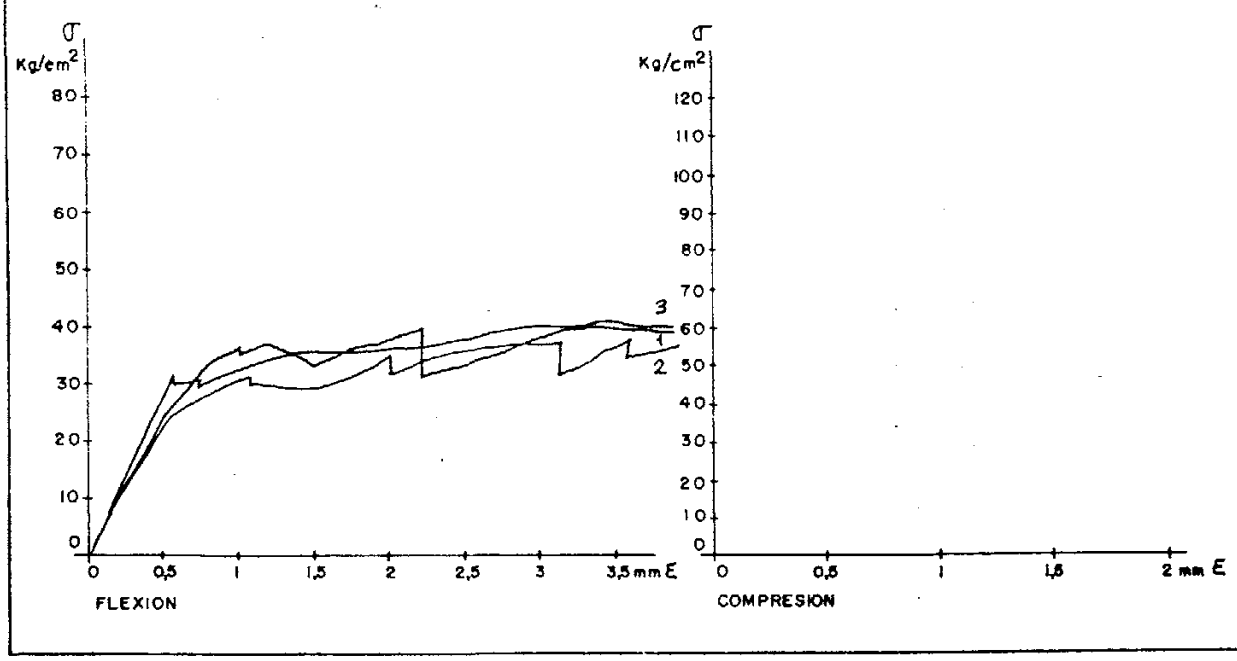
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	P-1	P-2	P-3
CAMARA HUMEDA			
	336,3	330,7	335,7
	334,5	328,9	334,3
	333,8	328,4	333,6
	332,9	327,8	332,9
	330,9	326,2	331,3
ESTUFA 40°C	231,1	228,0	227,6
	230,6	227,3	227,0
	230,6	227,3	227,0

ENSAYOS A ROTURA A FLEXION Y COMPRESION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
FLEXION	39,55	36,06	38,39
VALOR MEDIO	38,0		
COMPRESION			
VALOR MEDIO			

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



8.3.7. Comprobación con placas a impacto.

Se comprueba sobre las placas realizadas en el apartado 8.3.6. la influencia que un impacto ejerce sobre la superficie y el efecto de absorción de tensiones que realizan las adiciones.

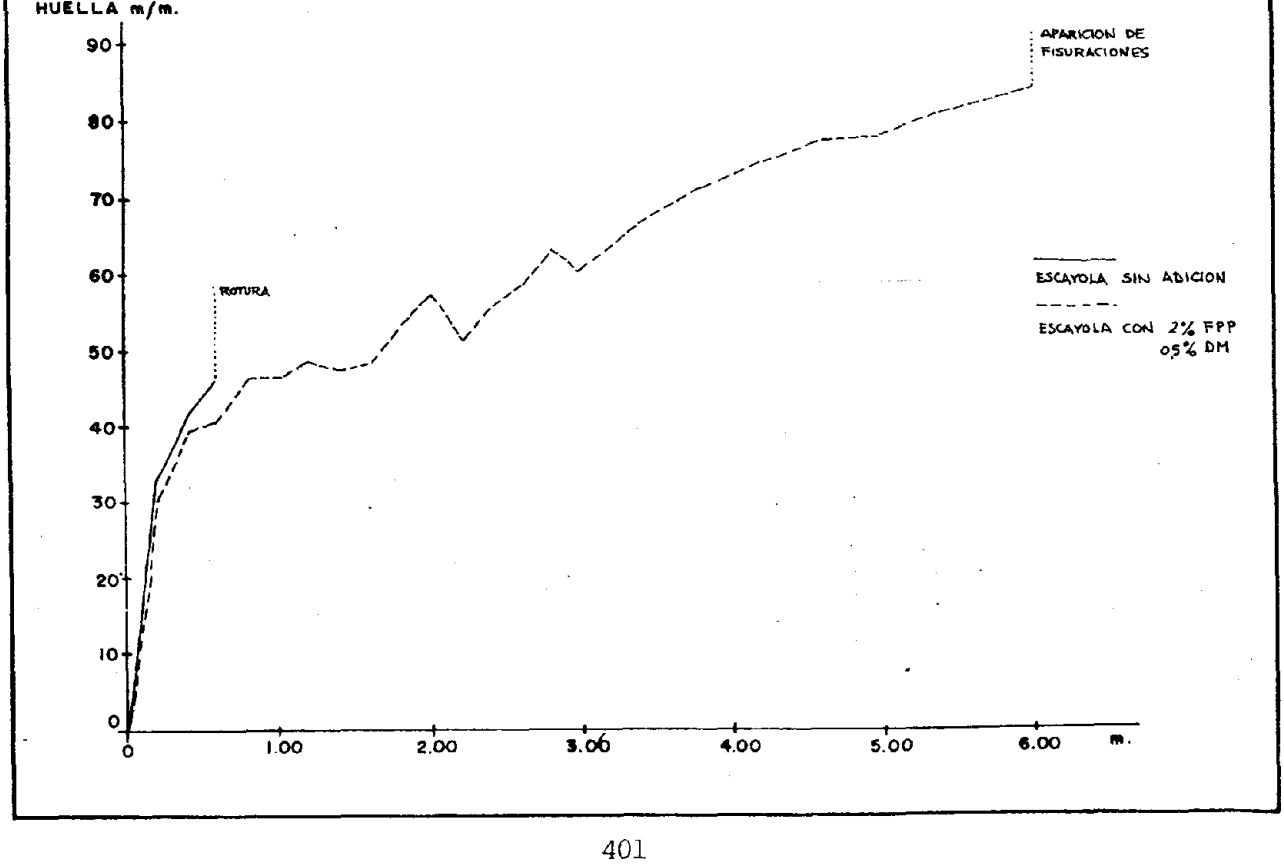
Este ensayo, al igual que el anterior, se realiza comparativamente con los efectos que suceden en la escayola sin aditivar.

COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

IMPACTO DE BOLA DE Ø 1.75 mm. y 22 gr. SOBRE PLACA

ALTURA m.	PLACA DE ESCAYOLA E-35-L SIN ADICION				PLACA DE ESCAYOLA E-35-L CON 2 % FIBRA DE POLIPROPILENO 0.5 % DISP. MELAMINA FORMALDEHIDO			
	DIAMETROS CONJUGADOS DE LA HUELLA m/m.			VALOR MEDIO m/m.	DIAMETROS CONJUGADOS DE LA HUELLA m/m.			VALOR MEDIO m/m.
	A	B	C		A	B	C	
0,20	34x36	33x30	34x34	33,5	34x34	25x30	30x32	30,83
0,40	39x40	44x40	45x42	41,66	38x38	40x42	40x38	39,33
0,60	47x45	Frac.	Frac.	46,00	38x40	45x42	38x44	41,16
0,80					50x50	44x45	45x45	46,50
1,00					45x48	44x40	48x49	46,16
1,20					50x50	50x51	45x45	48,50
1,40					50x46	48x49	46x45	47,33
1,60					48x45	46x47	51x52	48,16
1,80					52x54	56x58	52x50	53,66
2,00					60x56	58x60	54x55	57,16
2,20					45x52	52x50	52x55	51,00
2,40					55x56	45x55	60x60	55,16
2,60					56x60	54x56	62x65	58,83
2,80					65x64	62x65	62x64	63,66
3,00					65x65	60x65	65x54	60,83
3,40					68x64	56x70	70x70	66,36
3,80					74x74	70x69	69x70	71,00
4,20					80x82	78x65	70x70	74,16
4,60					75x75	78x86	75x75	77,33
5,00					80x75	84x78	72x78	77,83
5,40					80x80	85x85	78x78	81,00
6,00					84x80	80x90	85x85	84,00

GRAFICA ALTURA - HUELLA



8.3.8. Comprobación con ochos a tracción.

Se comprueba el efecto de refuerzo de la adición binaria ante los esfuerzos de tracción pura.

Este ensayo, al igual que los anteriores, se realiza comparativamente con la escayola sin aditivar, comprobándose los efectos que la adición binaria produce.

COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ: E-35-L

ADICION: SIN ADICION

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION		gr.....	- %
		gr.....	

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY. 85

UNE 102031

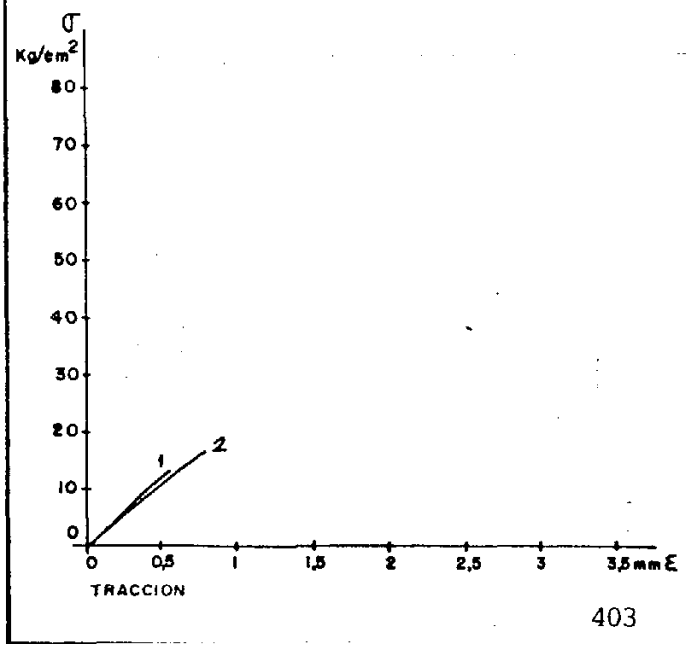
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	TE-1	TE-2	
CAMARA HUMEDA			
	113,2	113,1	
	112,4	112,4	
	112,2	112,2	
	112,1	112,0	
	111,5	111,3	
ESTUFA 40°C	77,6	77,3	
	77,3	77,2	
	77,3	77,2	

ENSAYOS A ROTURA A TRACCION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
TRACCION	12,32	16,7	
VALOR MEDIO		14,51	

GRAFICA TENSION - DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ: E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)

POLICONDENSADO DE MELAMINA-FORMALDEHIDO (MELMENT F-10)

PARAMETROS DE LOS COMPONENTES

RELACION A/Y	0,7		
CANTIDAD ESCAYOLA	750	gr.	
CANTIDAD ADICION	15	gr.	2,0 %
	3,75	gr.	0,5

NORMAS SOBRE ENSAYOS

RY 85

UNE 102031

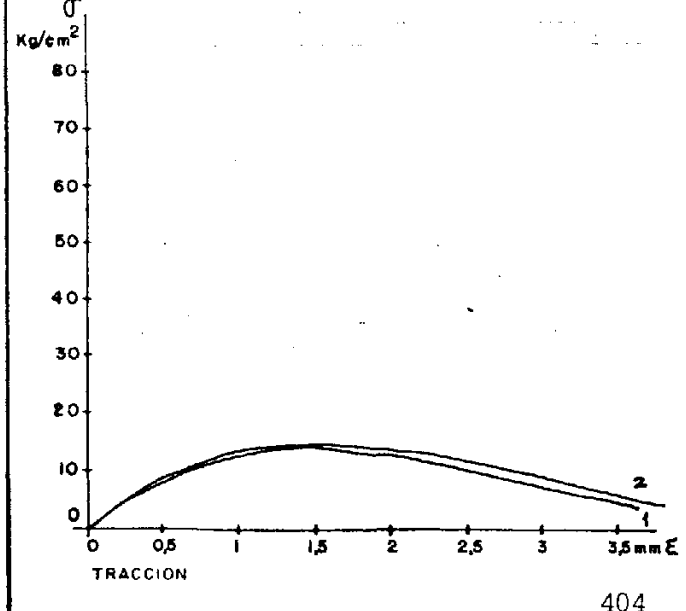
PESOS PARCIALES

Nº DIAS	SERIE		
	T-1	T-2	T-3
CAMARA HUMEDA			
	111,4	111,7	
	110,7	110,9	
	110,4	110,7	
	110,3	110,6	
	109,7	109,9	
ESTUFA 40°C	76,1	77,1	
	75,9	76,9	
	75,9	76,9	

ENSAYOS A ROTURA A TRACCION

TIPO DE ENSAYO	SERIE		
TRACCION	14,48	14,84	
VALOR MEDIO	14,66		

GRAFICA TENSION – DEFORMACION



8.3.9. Porosidad.

Una vez optimizados los porcentajes binarios de adición sobre probetas prismáticas, se comprueba la variación en los valores de porosidad, entre la escayola sin aditivar y la escayola aditivada con las adiciones seleccionadas y los porcentajes optimizados, obteniéndose los siguientes resultados.

	Coef. de absorción %	Densidad aparente gr/cm³	Porosidad %
Escayola sin aditivar.	43,2	1,14	50
Escayola con fibra de polipropileno 2% y dispersión de melamina-formaldehido 0,5%	40,8	1,10	44,9

E. T. S. A. de M.
BIBLIOTECA

8.3.10. Tiempos de fraguado.

Se miden los tiempos de fraguado para la escayola sin aditivar y para la adición seleccionada con el porcentaje aditivado obteniéndose los siguientes resultados.

	Comienzo de fraguado min.	final de fraguado min.
Escayola sin adición.	11,5	24
Escayola con fibra de polipropileno 2% y dispersión de melamina-formaldehido 0,5%	6	12

9. ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS.

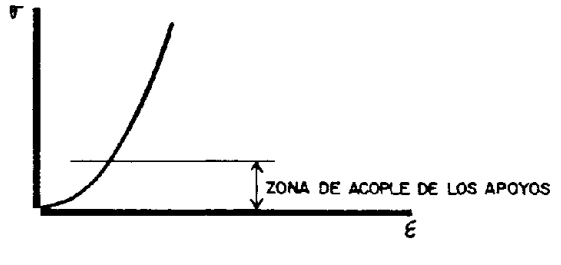
9. ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

9.0.0. Análisis de los ensayos previos.

Se observa que no existe ningún comportamiento diferenciado entre las diversas adiciones realizadas, como se refleja en el resumen de resultados del epígrafe 8.3.1.

El comportamiento de las probetas con fibras y con dispersiones es análogo al de las probetas de escayola sin aditivar, presentando gráficas de tensión-deformación de igual pendiente.

Unicamente las fibras acrílicas presentan una gráfica diferenciada, debido a la ausencia de la zona de acoplamiento de los apoyos sobre la superficie de la probeta. Esta zona es despreciable en todas las gráficas, porque varía según la mayor o menor planicidad de la superficie.



Los valores de tensión que se obtienen con las fibras y las dispersiones no presentan un comportamiento diferenciado que decante la selección hacia alguna adición en particular.

9.1.0. Análisis del comportamiento mecánico de agregados individuales.

De los ensayos realizados en el capítulo anterior vamos a analizar los resultados obtenidos en los epígrafes 8.3.2. y 8.3.3., individualmente para los tres tipos de fibras ensayados: acrílicas, poliéster y polipropileno; y de dispersiones: melamina-formaldehido, acetato de polivinilo y ácido acrílico.

9.1.1. Fibras.

Acrílicas.

Analizando las gráficas de tensión-deformación en el ensayo de flexión, correspondientes a los diversos porcentajes ensayados, se observa una modificación de las pendientes de las gráficas correspondientes al período elástico.

Esta variación de la pendiente aparece en porcentajes iguales y superiores al 2% de adición, produciendo modificaciones en el módulo elástico del material reforzado. La modificación de la pendiente de la gráfica se observa en el ensayo de compresión a partir del 1,75% de adición. Además de esta modificación, en el ensayo de flexión se observa también un cambio en el comportamiento de la escayola reforzada a partir del 2% de adición, presentando gráficas de tensión-deformación constantes sin zonas de discontinuidad.

En el ensayo de flexión los valores de resistencia mecánica se van incrementando paralelamente con el aumento del porcentaje de adición. Sin embargo, en el ensayo de compresión los resultados son erráticos, aunque presentan un tendencia a disminuir con el aumento del porcentaje de adición.

Se obtiene como conclusión la existencia de un porcentaje crítico situado en el 2%, a partir del cual existe un comportamiento diferenciado con la matriz no aditivada que puede resumirse en los siguientes aspectos:

- Modificación del módulo de elasticidad a partir del 2% de adición.
- Gran aumento de la capacidad de deformación.
- Aumento de los valores de resistencia mecánica ante tensiones de flexotracción.
- Ausencia de rotura frágil, manteniéndose unidos los extremos de las probetas ensayadas.
- Aumento de la velocidad de fraguado.

COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA ACRILICA (DOLANIT)

CONCLUSIONES

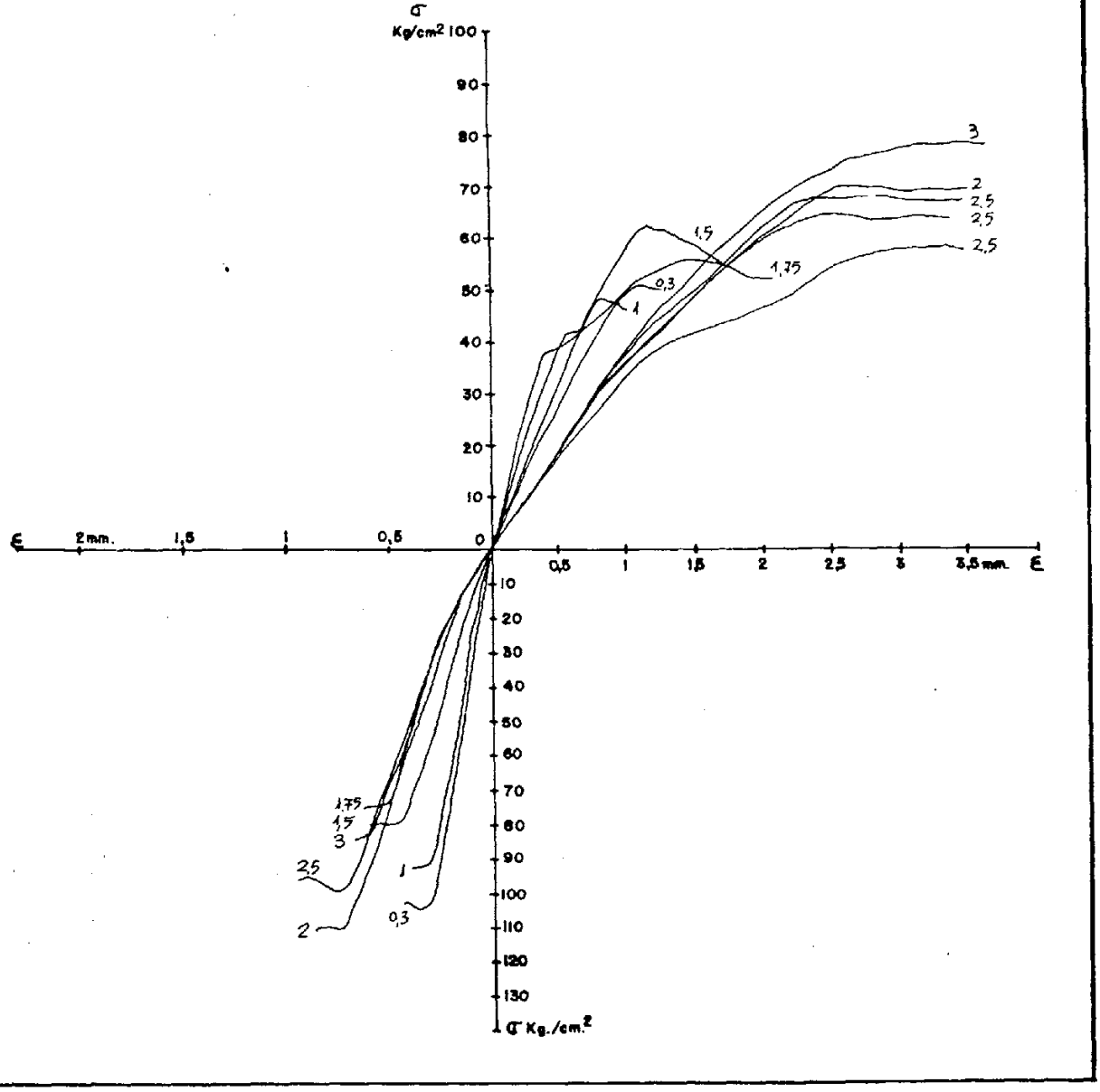
Gran aumento de la capacidad de deformación.

Modificación del módulo de elasticidad a partir del 2% de adición.

Gran aumento de los valores de resistencia mecánica ante tensiones de flexotracción.

Ausencia de rotura frágil, manteniéndose unidos los extremos de las probetas ensayadas.

GRAFICAS TENSION DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

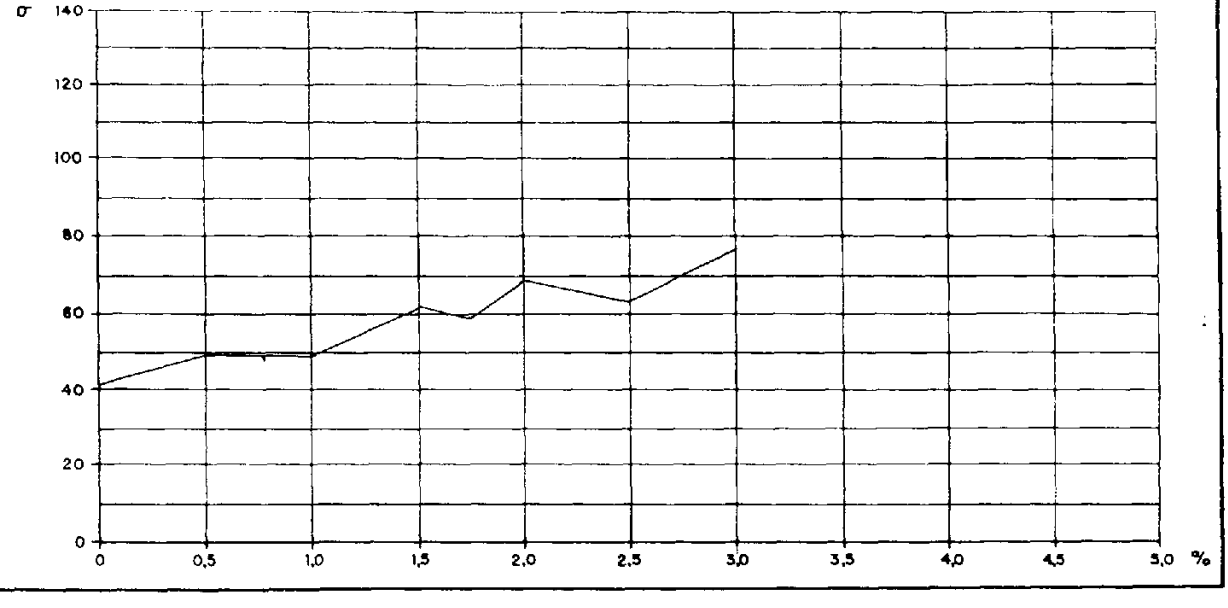
MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA ACRILICA (DOLANIT)

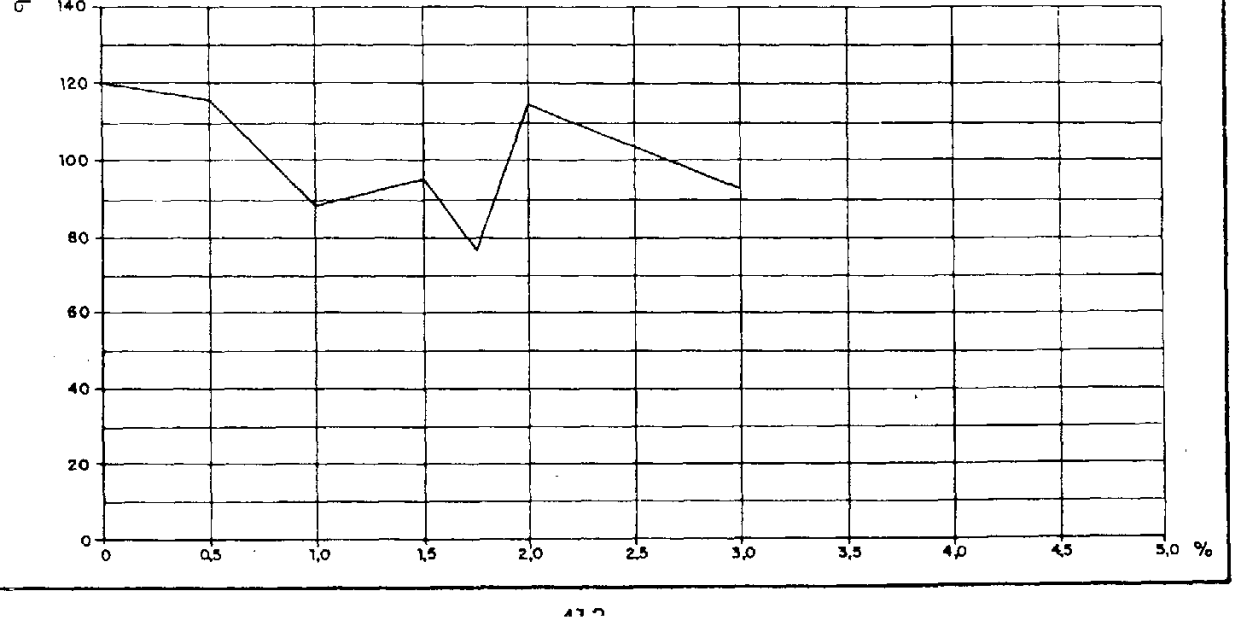
RESUMEN DE RESULTADOS

% ADICION	VALOR MEDIO FLEXION Kg/cm²	VALOR MEDIO COMPRESION Kg/cm²
0	40,91	120,0
0,5	49,86	116,16
1,0	48,66	88,1
1,5	61,87	95,4
1,75	59,0	75,1
2,0	69,08	114,37
2,5	63,08	103,66
3,0	77,25	92,35

RELACION TENSION DE ROTURA A FLEXION Y % DE ADICION



RELACION TENSION DE ROTURA A COMPRESION Y % DE ADICION



Poliéster.

Analizando las gráficas de tensión-deformación en los ensayos de flexión y compresión, correspondientes a los diversos porcentajes ensayados, no se observa en las mismas ninguna variación en las pendientes correspondientes al período elástico, permaneciendo por tanto inalterable el módulo de elasticidad.

En el ensayo de flexión los valores de resistencia mecánica van incrementándose paralelamente al aumento del porcentaje de adición, según se observa en la gráfica correspondiente al resumen de resultados.

Existe dificultad en la dispersión de las fibras durante el amasado de la mezcla, en la matriz de escayola.

El comportamiento mecánico del conjunto está directamente relacionado con esta dificultad de dispersión, apareciendo en algunas probetas discontinuidades en las gráficas.

Tales discontinuidades presentan valores de tensión próximos a la tensión de rotura de la escayola sin aditivar y son debidas a la fisuración de la matriz. Esta fisuración delimita las zonas en las que cada componente contribuye a la resistencia, siendo la escayola responsable de la zona elástica y las fibras de poliéster de la zona plástica.

En el ensayo de compresión los valores de resistencia mecánica disminuyen proporcionalmente con la adición de fibra de poliéster.

De todo ello se obtiene como conclusión la existencia de un comportamiento diferenciado con respecto a la escayola sin aditivar que puede resumirse en los siguientes aspectos:

- Gran aumento de la capacidad de deformación.
- Aumento de resistencia mecánica ante tensiones de flexo-tracción.
- Ausencia de rotura frágil, manteniéndose unidos los extremos de las probetas ensayadas.
- Aumento de la velocidad de fraguado.

COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIESTER (NUREL)

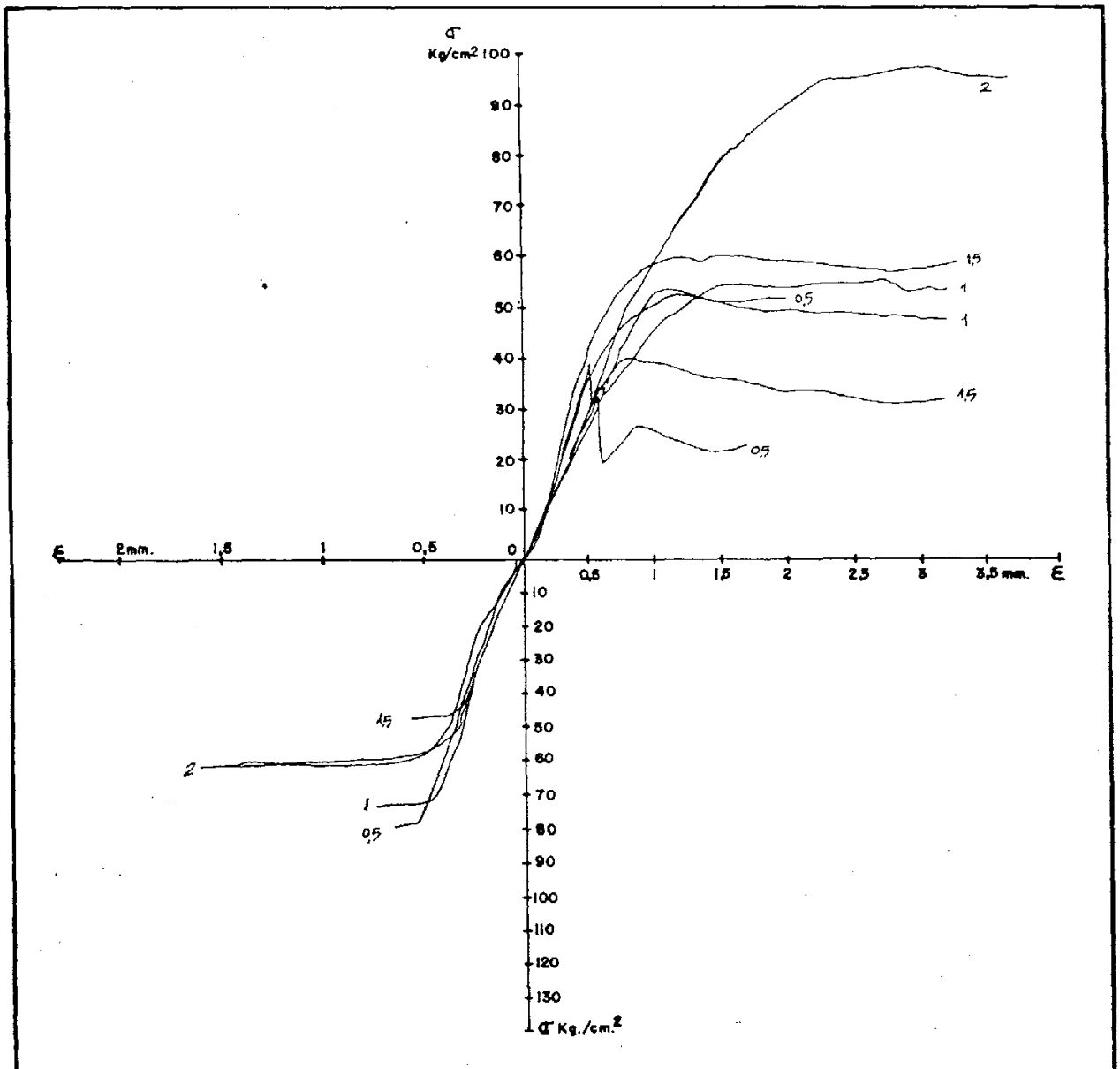
CONCLUSIONES

Gran aumento de la capacidad de deformación.

Aumento de resistencia mecánica ante tensiones de flexotracción

Ausencia de rotura frágil, manteniéndose unidos los extremos de las probetas ensayadas.

GRAFICAS TENSION DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

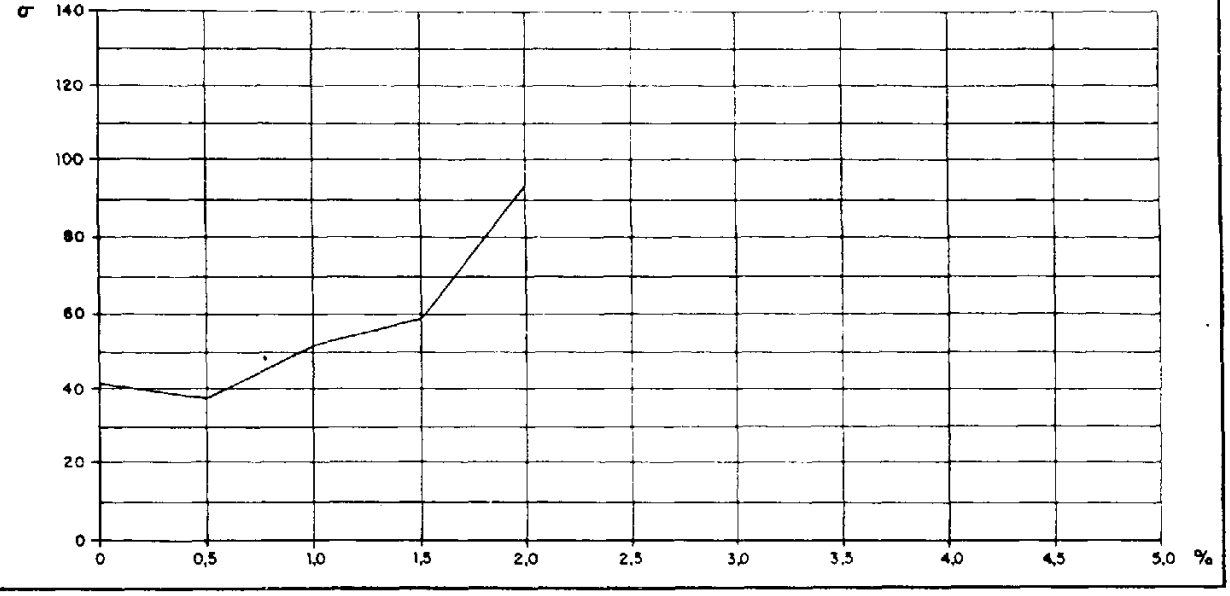
MATRIZ : E - 35 - L

ADICION: FIBRA DE POLIESTER (NUREL)

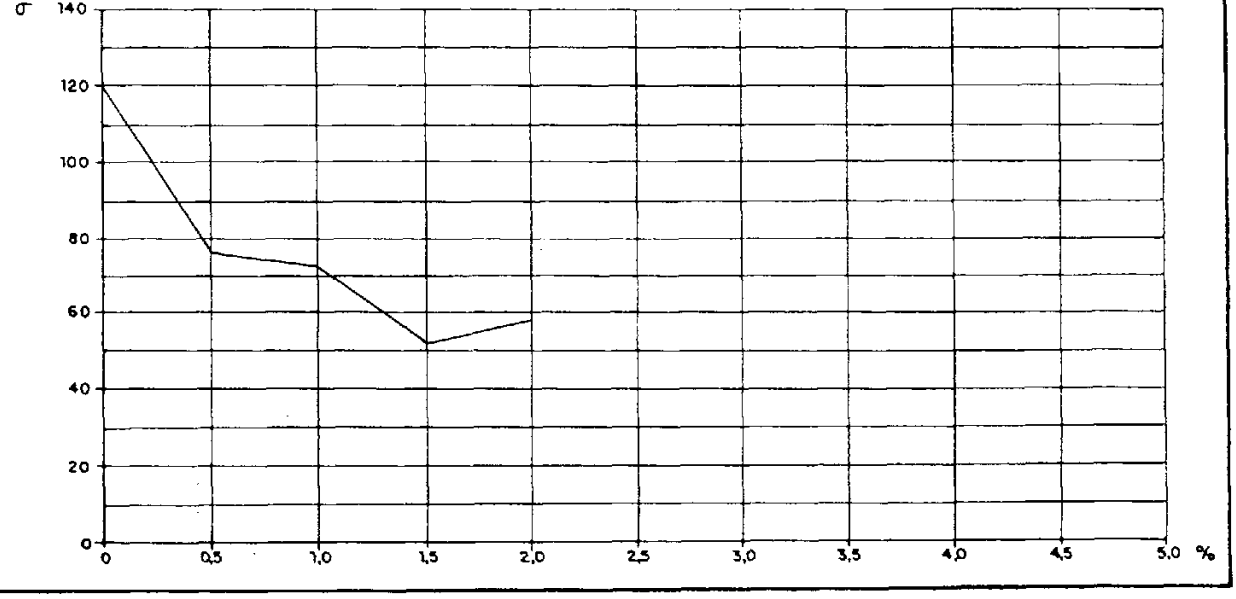
RESUMEN DE RESULTADOS

% ADICION	VALOR MEDIO FLEXION Kg/cm²	VALOR MEDIO COMPRESION Kg/cm²
0	40,91	120,0
0,5	38,0	76,54
1,0	51,12	73,68
1,5	58,5	52,79
2,0	93,0	59,52

RELACION TENSION DE ROTURA A FLEXION Y % DE ADICION



RELACION TENSION DE ROTURA A COMPRESION Y % DE ADICION



Polipropileno.

Analizando las gráficas de tensión-deformación en los ensayos de flexión y compresión, correspondientes a los diversos porcentajes ensayados, no se observa ninguna variación en las pendientes de las gráficas correspondientes al período elástico, permaneciendo inalterable por tanto el módulo de elasticidad.

En el ensayo de flexión los valores de resistencia mecánica van incrementándose paralelamente al aumento del porcentaje de adición, según la gráfica correspondiente al resumen de resultados.

Se observa la aparición de una discontinuidad en la gráfica, con valores de tensión análogos a la tensión de rotura de la escayola sin aditivar. Esta discontinuidad es debida a la fisuración de la matriz, y delimita las zonas en las que cada componente contribuye a la resistencia. La escayola es responsable de la zona elástica y las fibras de polipropileno de la zona plástica. El aumento del porcentaje de adición disminuye la entidad de la discontinuidad y favorece el trabajo conjunto de matriz y agregado.

En el ensayo de compresión los valores de resistencia mecánica disminuyen con la adición de las fibras de polipropileno, manteniéndose prácticamente constantes con independencia del porcentaje añadido.

Se obtiene como conclusión un comportamiento diferenciado con respecto a la escayola sin aditivar que puede resumirse en los siguientes aspectos:

- Gran aumento de la capacidad de deformación.
- Aumento de los valores de resistencia mecánica ante tensiones de flexotracción.
- Ausencia de rotura frágil, manteniéndose unidos los extremos de las probetas ensayadas.
- Aumento de la velocidad de fraguado.

COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)

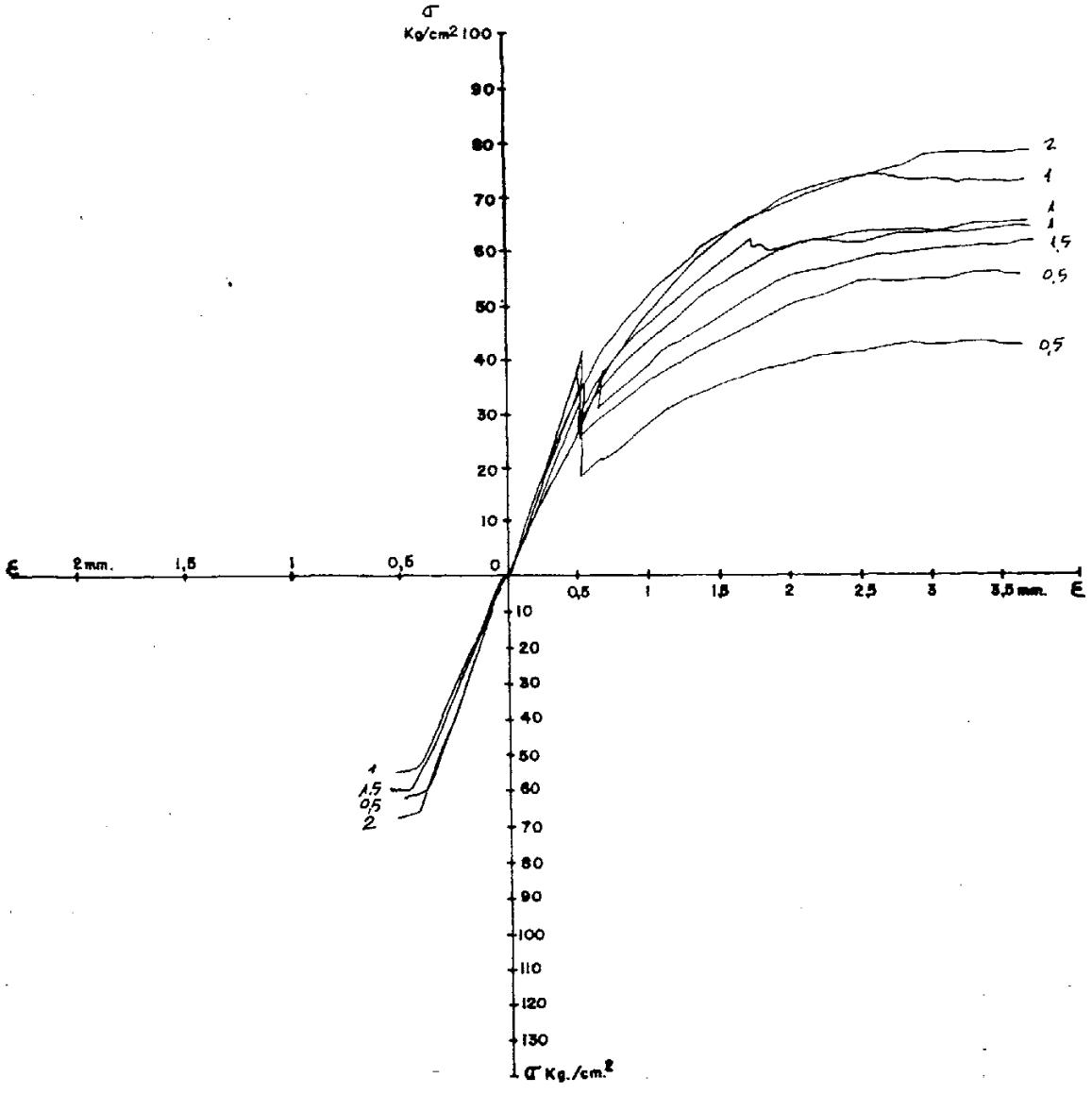
CONCLUSIONES

Gran aumento de la capacidad de deformación

Aumento de los valores de resistencia mecánica ante tensiones de flexotracción.

Ausencia de rotura frágil, manteniéndose unidos los extremos de las probetas ensayadas.

GRAFICAS TENSION DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

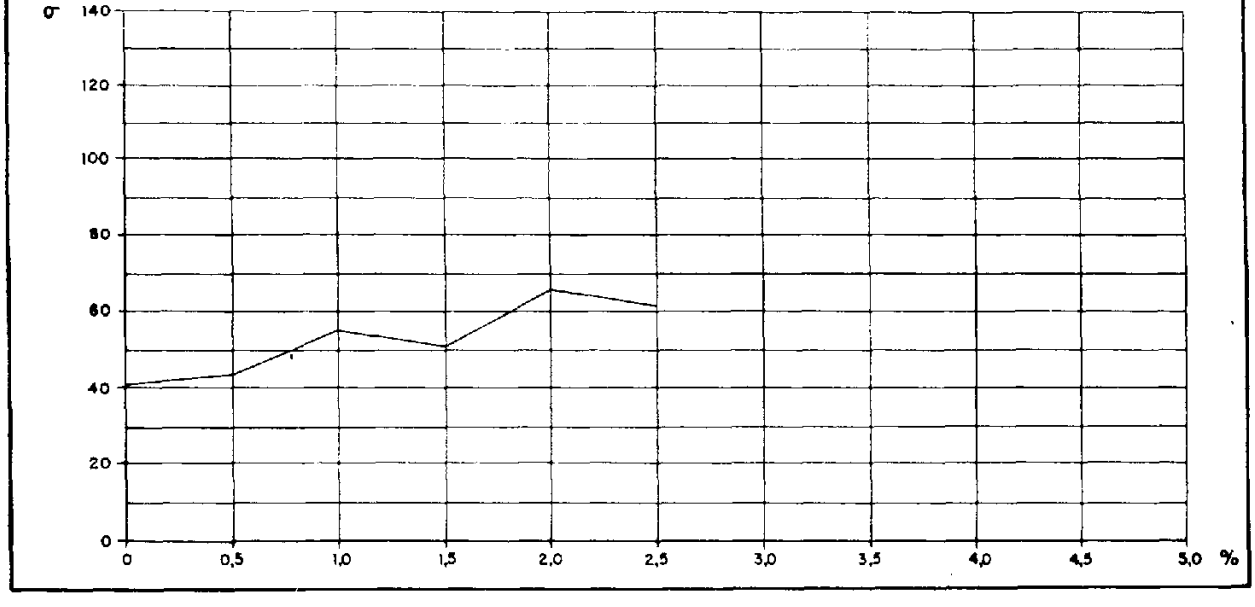
MATRIZ : E - 35 - L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)

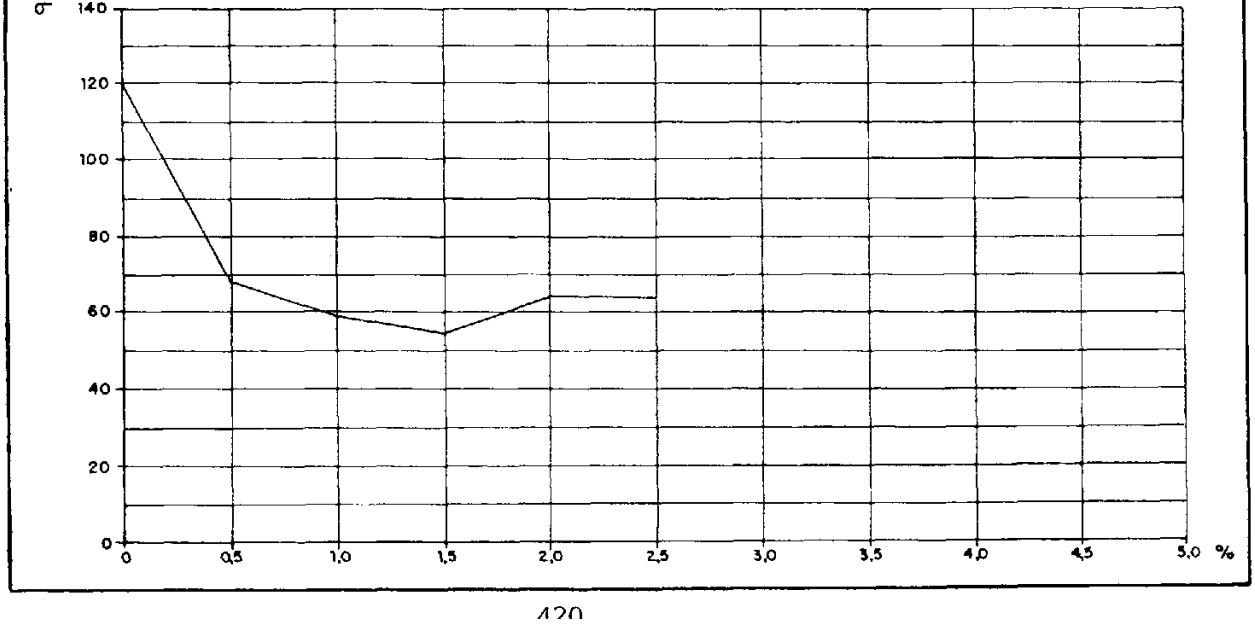
RESUMEN DE RESULTADOS

% ADICION	VALOR MEDIO FLEXION Kg/cm²	VALOR MEDIO COMPRESION Kg/cm²
0	40,91	120,0
0,5	43,66	67,5
1,0	55,58	59,72
1,5	51,33	54,68
2,0	65,0	64,08
2,5	60,25	63,02

RELACION TENSION DE ROTURA A FLEXION Y % DE ADICION



RELACION TENSION DE ROTURA A COMPRESION Y % DE ADICION



9.1.2. Dispersiones.

- **Melamina-formaldehido.**

Analizando las gráficas de tensión-deformación en los ensayos de flexión y compresión correspondientes a los diversos porcentajes ensayados, no se observan diferencias importantes en la variación de las pendientes de las gráficas, permaneciendo inalterable por tanto el módulo de elásticidad.

En el ensayo de flexión los valores de resistencia mecánica presentan una singularidad correspondiente al 1% de adición con el que se consigue los máximos valores de tensión.

Con porcentajes inferiores al 1% la resistencia disminuye un promedio del 25%, manteniendo una relativa uniformidad. Para porcentajes superiores al 1% se produce una disminución de resistencia proporcional a la cantidad de adición. Cuando se alcanzan porcentajes elevados (próximos al 4%) es prácticamente imposible realizar dispersiones homogéneas, apareciendo grumos de gran extensión. Esta dificultad provoca que el comportamiento de la escayola aditivada sea análoga al de ésta sin aditivar.

En el ensayo de compresión los valores de resistencia mecánica presentan una relativa dispersión de resultados, de los cuales podemos deducir que no existe influencia del porcentaje de adición, aunque presentan una mayor homogeneidad entre 0,375% y 1%.

La adición del policondensado de melamina-formaldehido aumenta la cohesión intercristalina y produce el desencadenamiento de la rotura frágil de modo más violento que la de la escayola sin aditivar.

Se obtiene como conclusión un comportamiento diferenciado con respecto a la escayola sin aditivar que puede resumirse en los siguientes aspectos:

- Aumento de la dureza superficial.
- Efecto fluidificante.

COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

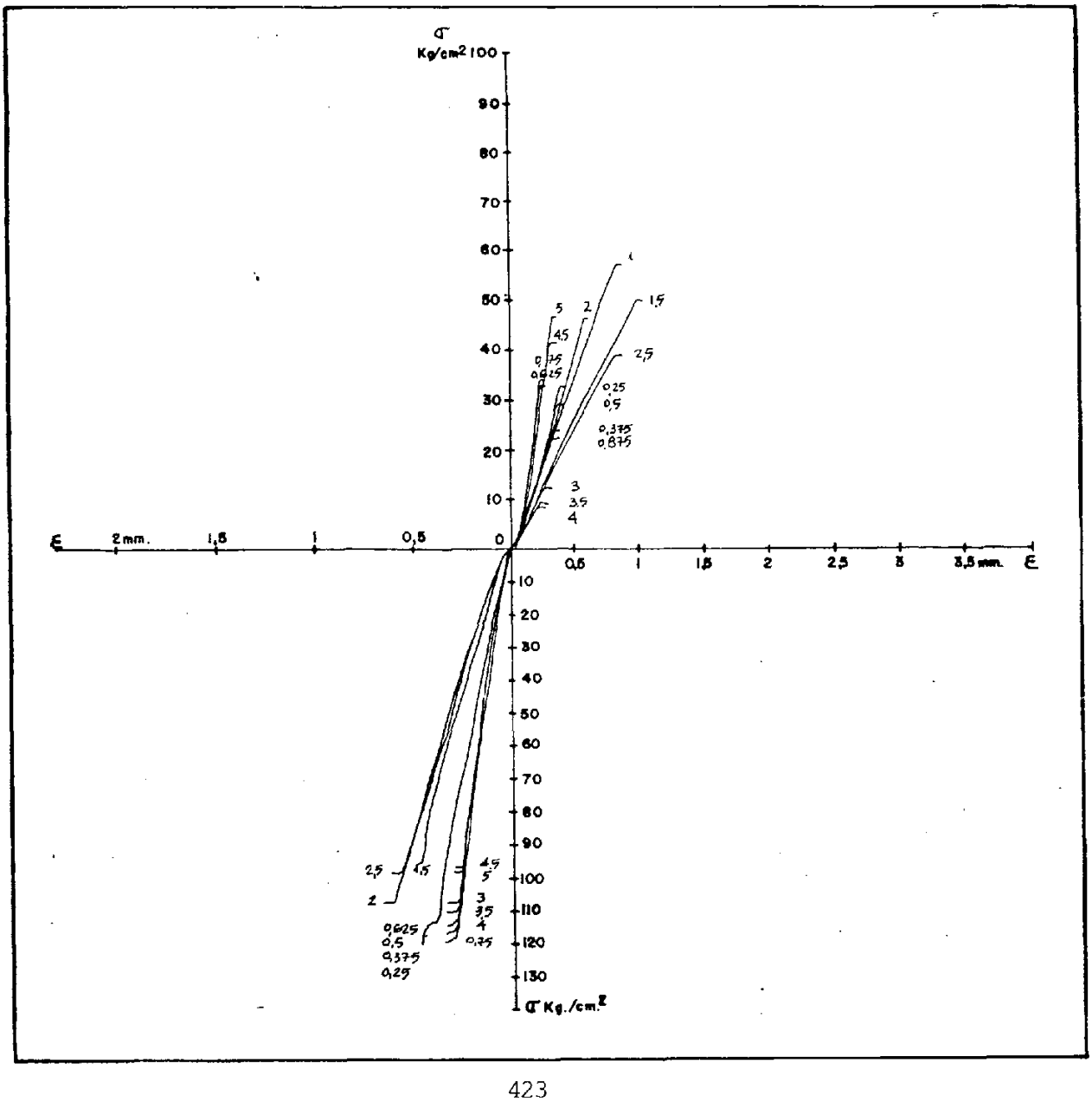
ADICION: POLICONDENSADO DE MELAMINA Y FORMALDEHIDO (MELMENT F-10)

CONCLUSIONES

Aumento de la dureza superficial

Efecto fluidificante.

GRAFICAS TENSION DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES — 1ª Serie

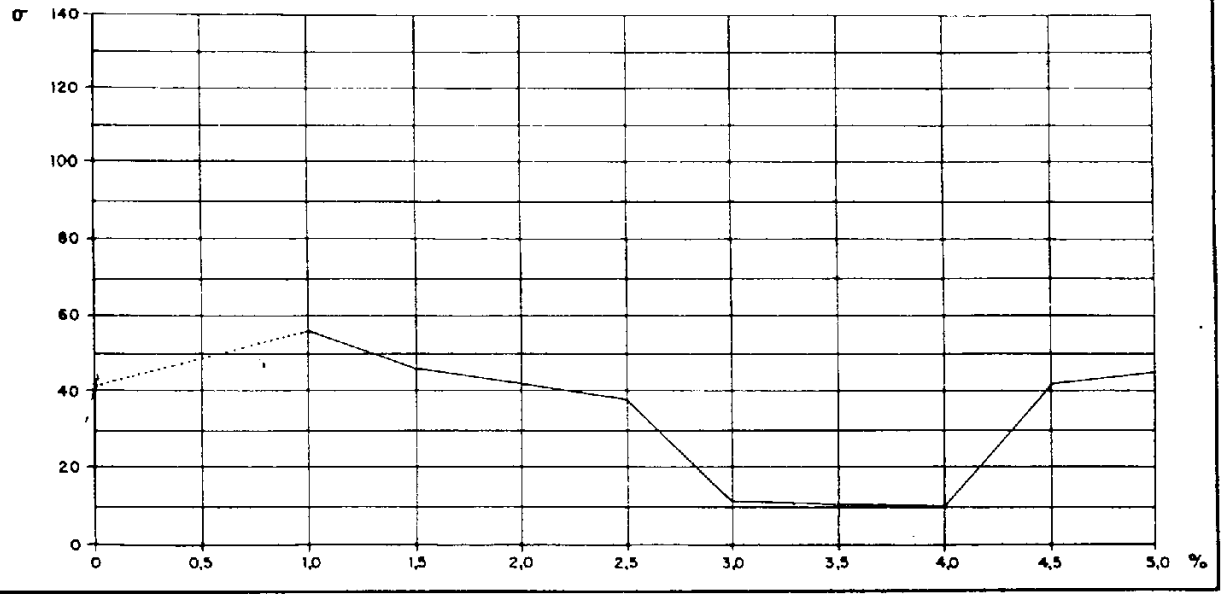
MATRIZ : E-35-L

ADICION: POLICONDENSADO DE MELAMINA Y FORMALDEHIDO (MELMENT F. 10)

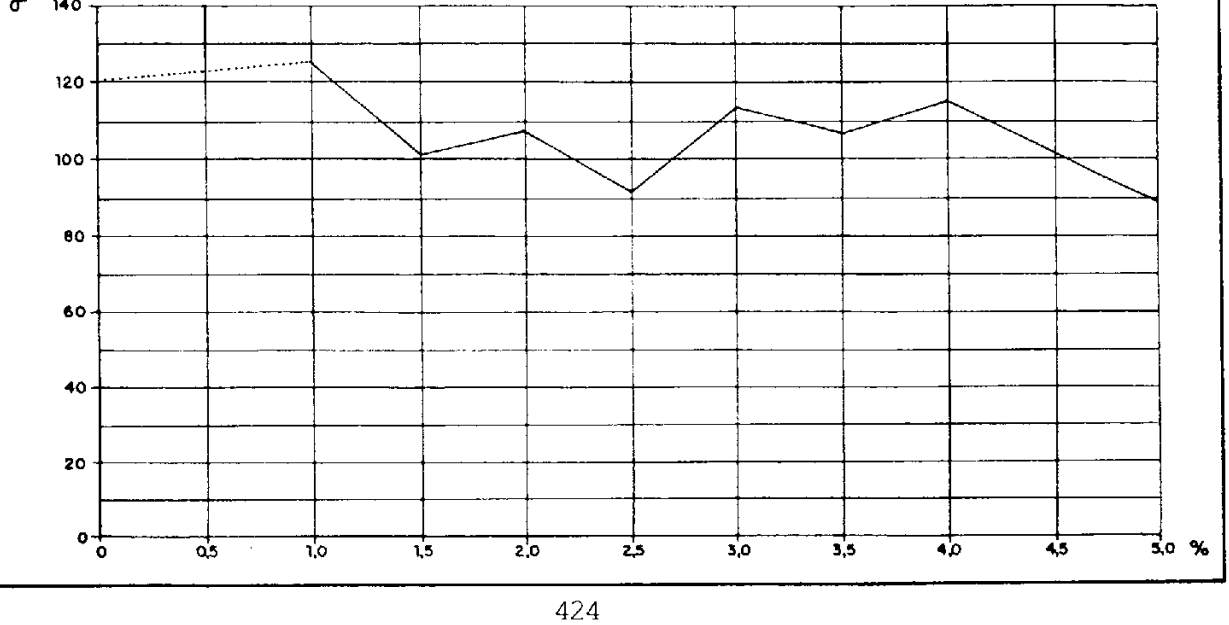
RESUMEN DE RESULTADOS

% ADICION	VALOR MEDIO FLEXION Kg/cm²	VALOR MEDIO COMPRESION Kg/cm²
0	40,91	120,0
1,0	57,83	125,0
1,5	47,66	100,83
2,0	43,91	108,56
2,5	39,75	91,14
3,0	11,0	114,91
3,5	10,08	108,85
4,0	10,0	117,52
4,5	43,75	101,02
5,0	46,66	89,33

RELACION TENSION DE ROTURA A FLEXION Y % DE ADICION



RELACION TENSION DE ROTURA A COMPRESION Y % DE ADICION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

2ª Serie

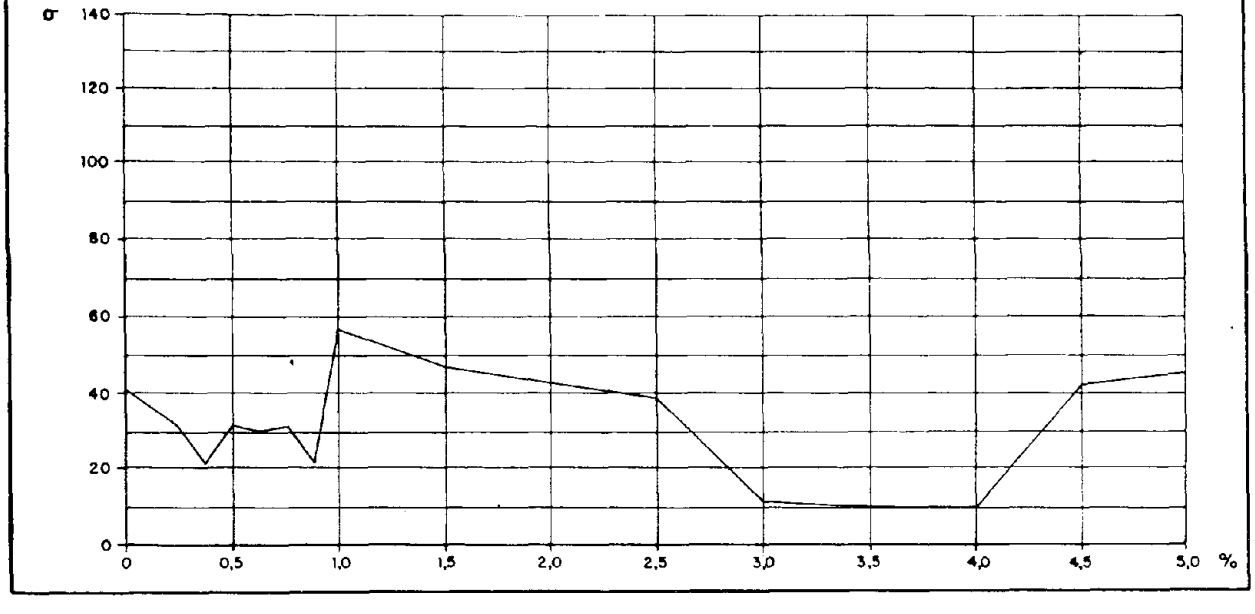
MATRIZ : E-35-L

ADICION: POLICONDENSADO DE MELAMINA Y FORMALDEHIDO (MELMENT F-10)

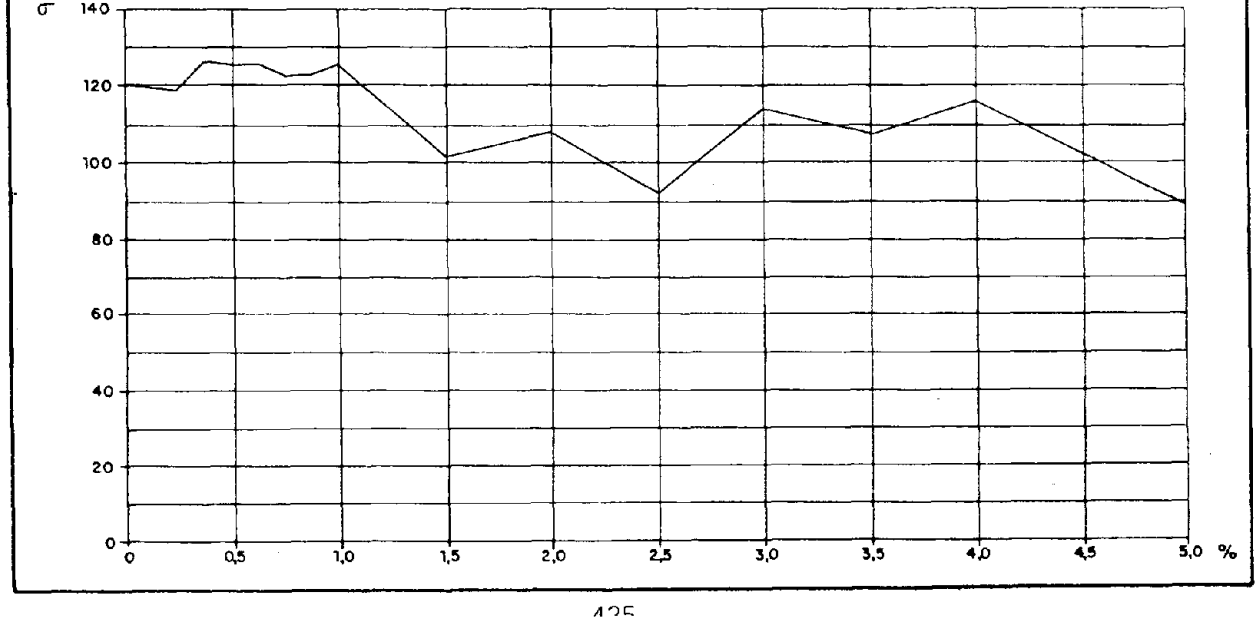
RESUMEN DE RESULTADOS

% ADICION	VALOR MEDIO FLEXION Kg/cm²	VALOR MEDIO COMPRESION Kg/cm²
0	40,91	120,0
0,25	31,08	118,69
0,375	21,25	125,0
0,5	31,0	124,23
0,625	30,62	>125,0
0,75	31,16	121,72
0,875	21,66	122,08
1,0	57,83	> 125,0

RELACION TENSION DE ROTURA A FLEXION Y % DE ADICION



RELACION TENSION DE ROTURA A COMPRESION Y % DE ADICION



- Acetato de polivinilo.

Analizando las gráficas de tensión-deformación en los ensayos de flexión y compresión correspondientes a los diversos porcentajes ensayados, no se observan diferencias importantes en la variación de las pendientes de las gráficas, permaneciendo inalterable por tanto el módulo de elásticidad.

En el ensayo de flexión los valores de resistencia mecánica, correspondientes a los distintos porcentajes de adición, son superiores a los de la escayola no aditivada. No se aprecia una relación entre las cantidades de adición y las tensiones obtenidas, únicamente puede establecerse un promedio genérico del incremento de un 25% en el valor de la resistencia.

En el ensayo de compresión los valores de resistencia mecánica presentan una homogeneidad de resultados, con tensiones superiores a las de la escayola no aditivada a partir de 0,375% de adición.

Se obtiene como conclusión un comportamiento diferenciado con respecto a la escayola sin aditivar que puede resumirse en los siguientes aspectos:

- Efecto fluidificante.
- Aumento de los valores de resistencia mecánica ante tensiones de flexotracción y compresión.

COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

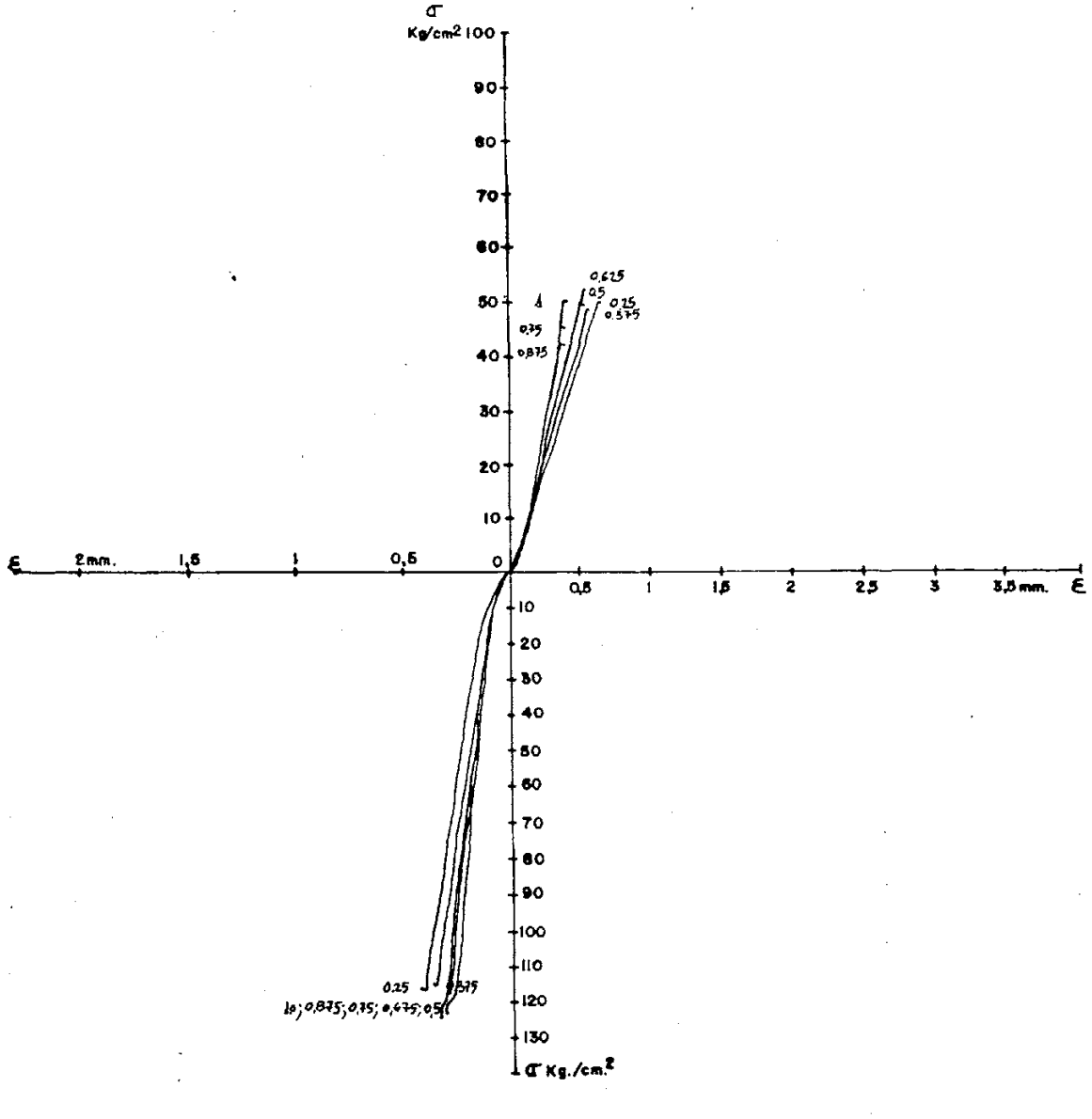
ADICION: DISPERSION A BASE DE ACETATO DE POLIVINILO (MOWILITH DS PULVER)

CONCLUSIONES

Efecto fluidificante

Aumento de los valores de consistencia mecánica ante tensiones de flexotracción y compresión.

GRAFICAS TENSION DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

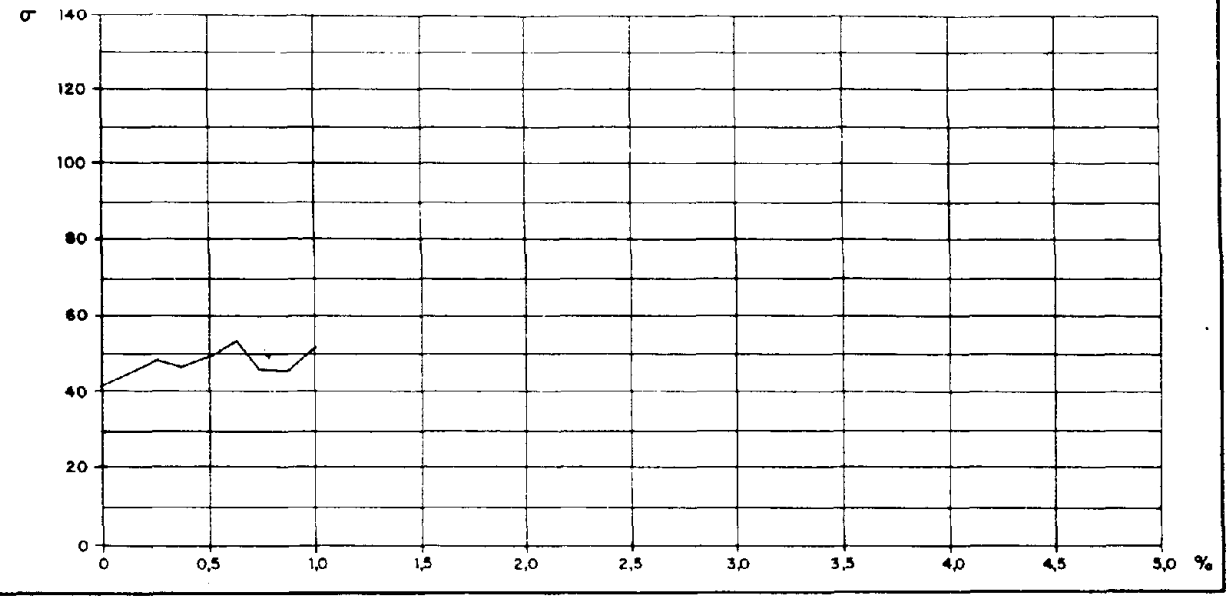
MATRIZ : E-35-L

ADICION: DISPERSION A BASE DE ACETATO DE POLIVINILO (MOWILITH DS PULVER)

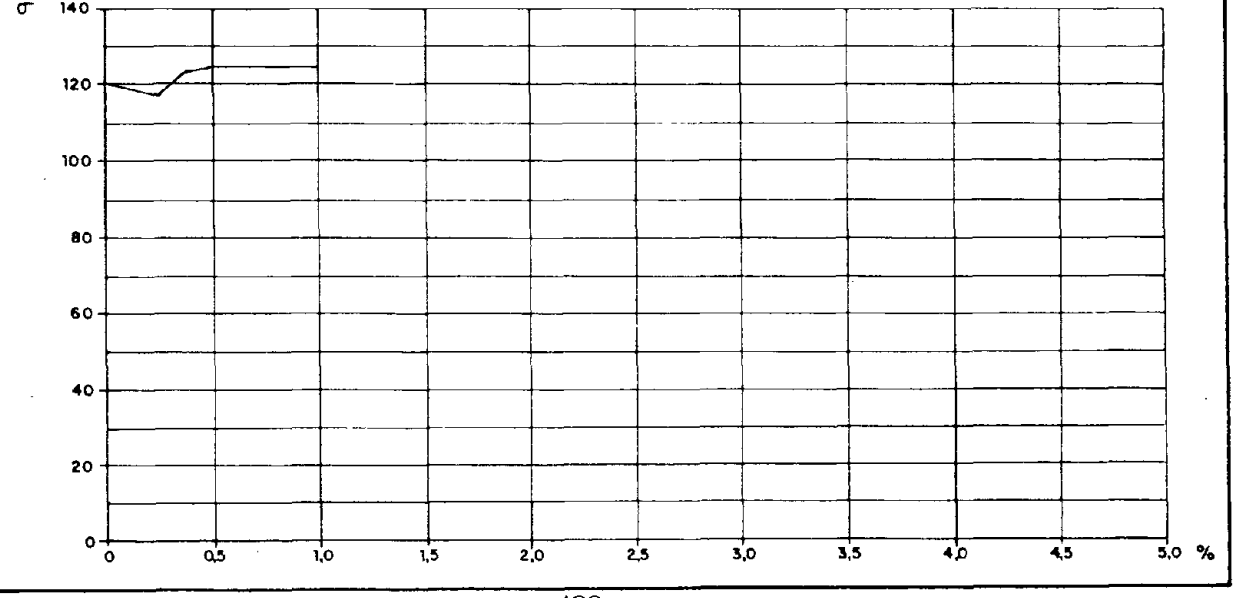
RESUMEN DE RESULTADOS

% ADICION	VALOR MEDIO FLEXION Kg/cm²	VALOR MEDIO COMPRESION Kg/cm²
0	40,91	120,0
0,25	48,25	117,02
0,375	46,91	122,52
0,5	49,41	125
0,625	53,08	125
0,75	46,50	125
0,875	45,83	125
1,0	51,75	125

RELACION TENSION DE ROTURA A FLEXION Y % DE ADICION



RELACION TENSION DE ROTURA A COMPRESION Y % DE ADICION



- Acido acrílico.

Analizando las gráficas de tensión-deformación en los ensayos de flexión y compresión correspondientes a los diversos porcentajes ensayados, no se observan diferencias importantes en la variación de las pendientes de las gráficas, permaneciendo inalterable por tanto el módulo de elásticidad.

En el ensayo de flexión los valores de resistencia mecánica correspondientes a los distintos porcentajes de adición son superiores a los de la escayola no aditivada. No se aprecia relación entre las cantidades de adición y las tensiones obtenidas, únicamente puede establecerse un promedio genérico de incremento de un 12,5% del valor de la resistencia.

En el ensayo de compresión los valores de resistencia mecánica presentan una homogeneidad de resultados, con tensiones superiores a las de la escayola no aditivada a partir del 0,375% de adición.

Se obtiene como conclusión un comportamiento diferenciado con respecto a la escayola sin aditivar que puede resumirse en los siguientes aspectos:

- Efecto fluidificante.
- Aumento de los valores de resistencia mecánica ante tensiones de flexotracción y compresión.

COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

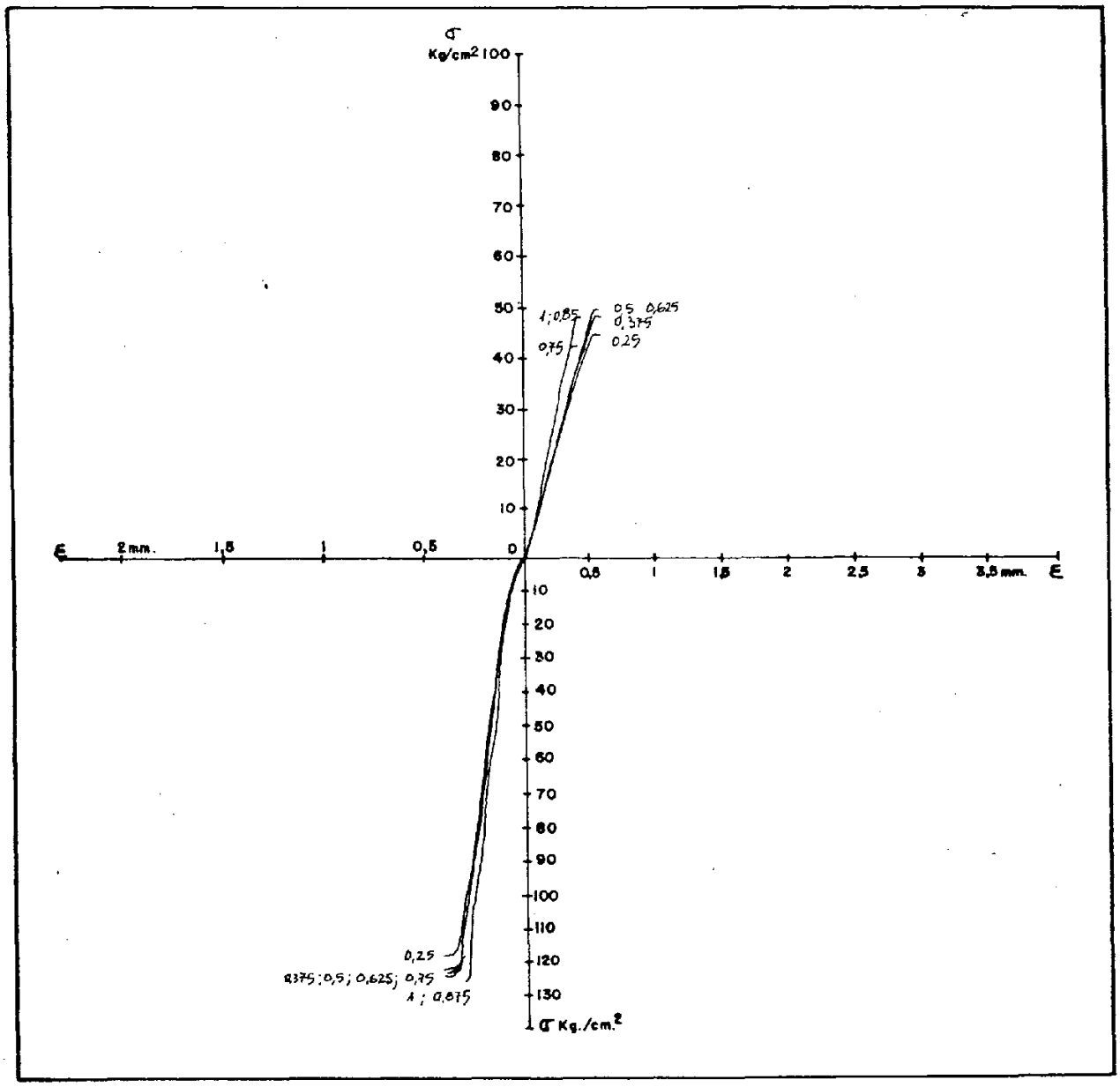
ADICION: DISPERSION COPOLIMERA A BASE DE ESTERES DE ACIDO ACRILICO (MOWITON M-300)

CONCLUSIONES

Efecto fluidificante

Aumento de los valores de resistencia mecánica ante tensiones de flexotracción y compresión.

GRAFICAS TENSION DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

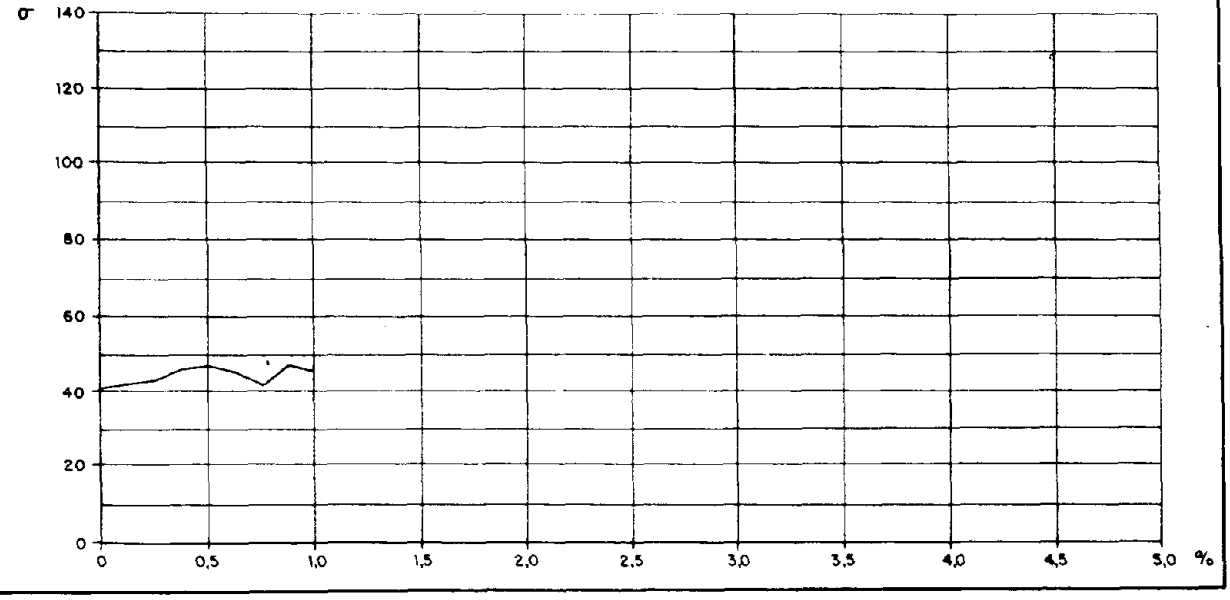
MATRIZ : E - 35 - L

ADICION: DISPERSION COPOLIMERA A BASE DE ESTERES DE ACIDO ACRILICO (MOWITON M-300)

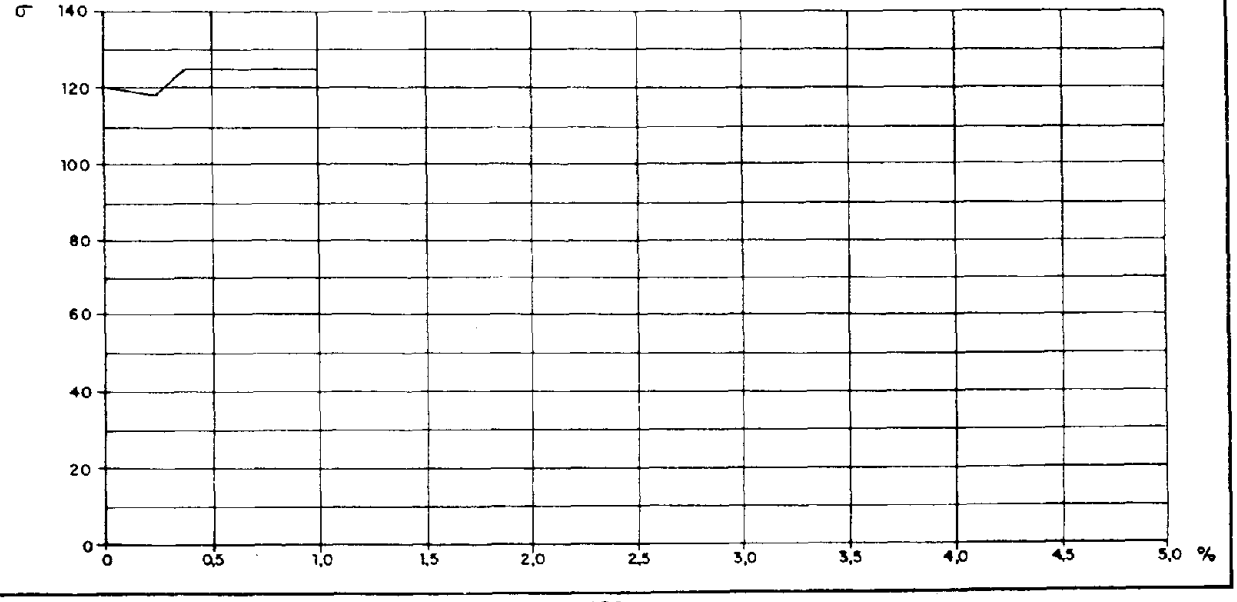
RESUMEN DE RESULTADOS

% ADICION	VALOR MEDIO FLEXION Kg/cm²	VALOR MEDIO COMPRESION Kg/cm²
0	40,91	120,0
0,25	43,75	118,15
0,375	46,25	> 125,0
0,5	47,16	> 125,0
0,625	45,83	> 125,0
0,75	41,41	> 125,0
0,875	47,16	> 125,0
1,0	45,91	> 125,0

RELACION TENSION DE ROTURA A FLEXION Y % DE ADICION



RELACION TENSION DE ROTURA A COMPRESION Y % DE ADICION



9.2.0. Análisis del comportamiento mecánico de mezclas binarias.

Se analizan los resultados obtenidos en el epígrafe 8.3.4., comprobando la acción combinada que las fibras mezcladas con las dispersiones ejercen sobre el comportamiento mecánico del conjunto.

Para poder comparar el efecto de refuerzo que ejercen las mezclas binarias (fibra + dispersión), se utilizan los mismos porcentajes de adición para cada mezcla de ellas, manteniendo fija la cantidad de fibra y comprobando la influencia de la variación de la dispersión y viceversa.

9.2.1. Mezclas binarias con fibra acrílica.

- **Fibra acrílica con dispersión de melamina-formaldehido.**

Analizando las gráficas de tensión deformación en los ensayos de flexión y compresión correspondientes a los diversos porcentajes ensayados, no se observan diferencias importantes en la variación de las pendientes de las gráficas, permaneciendo inalterable el módulo de elasticidad.

El efecto de los porcentajes de dispersión añadidos evitan la modificación del módulo de elasticidad que se observaba en la mezcla entre fibra acrílica y escayola a partir del 2% de adición.

En el ensayo de flexión las gráficas adquieren una forma específica que se mantiene para todas las mezclas binarias ensayadas a base de fibra acrílica, y se diferencian de las obtenidas adicionando la fibra sin dispersión. Esta gráfica consta de un período elástico cuyo valor máximo coincide con el de rotura de la escayola sin aditivar, a partir del cual la gráfica se curva ligeramente hasta alcanzar el máximo valor resistente. Posteriormente disminuye de modo constante la tensión que el material es capaz de absorber ante incrementos de deformación, hasta alcanzar la rotura.

Los valores de resistencia mecánica que se obtienen son análogos a los conseguidos con la adición de fibra sin la dispersión, tanto para el ensayo de flexión como de compresión, como se observa en el resumen de resultados.

- **Fibra acrílica con dispersión de acetato de polivinilo**

El efecto que consigue la dispersión, sobre la mezcla de fibra acrílica y escayola, es análogo al que produce la dispersión anterior pudiendo resumirse en los siguientes aspectos:

- Variación del módulo de elasticidad.
- Forma de las gráficas tensión-deformación.
- Aumento de los valores de resistencia mecánica.

- Fibra acrílica con dispersión de ácido acrílico.

El efecto que consigue la dispersión sobre la mezcla de fibra acrílica y escayola es análogo al descrito para las dispersiones anteriores, excepto en los valores de resistencia mecánica conseguidos, que son ligeramente inferiores a los que se obtienen con la adición de fibra sin dispersión.

E. T. S. A. de M.
BIBLIOTECA

COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA ACRILICA (DOLANIT)

POLICONDENSADO DE MELAMINA FORMALDEHIDO (MELMENT F-10)

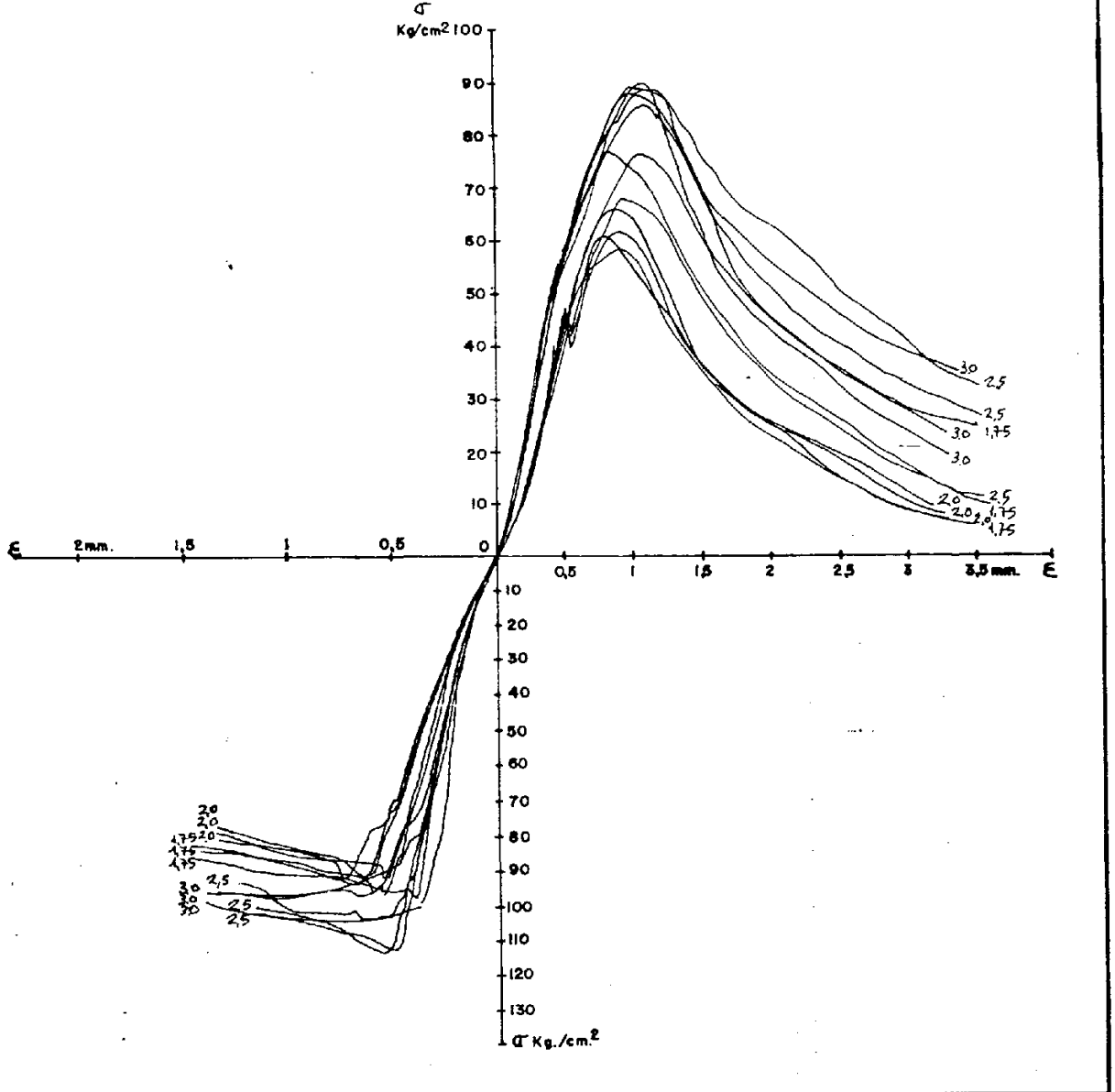
CONCLUSIONES

Gran aumento de la capacidad de deformación.

Ligero aumento de los valores de resistencia mecánica ante tensiones de flexotracción y compresión comparado con los obtenidos con la adición de fibras sin dispersión.

Ausencia de rotura frágil, manteniéndose unidos los extremos de las probetas ensayadas.

GRAFICAS TENSION DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

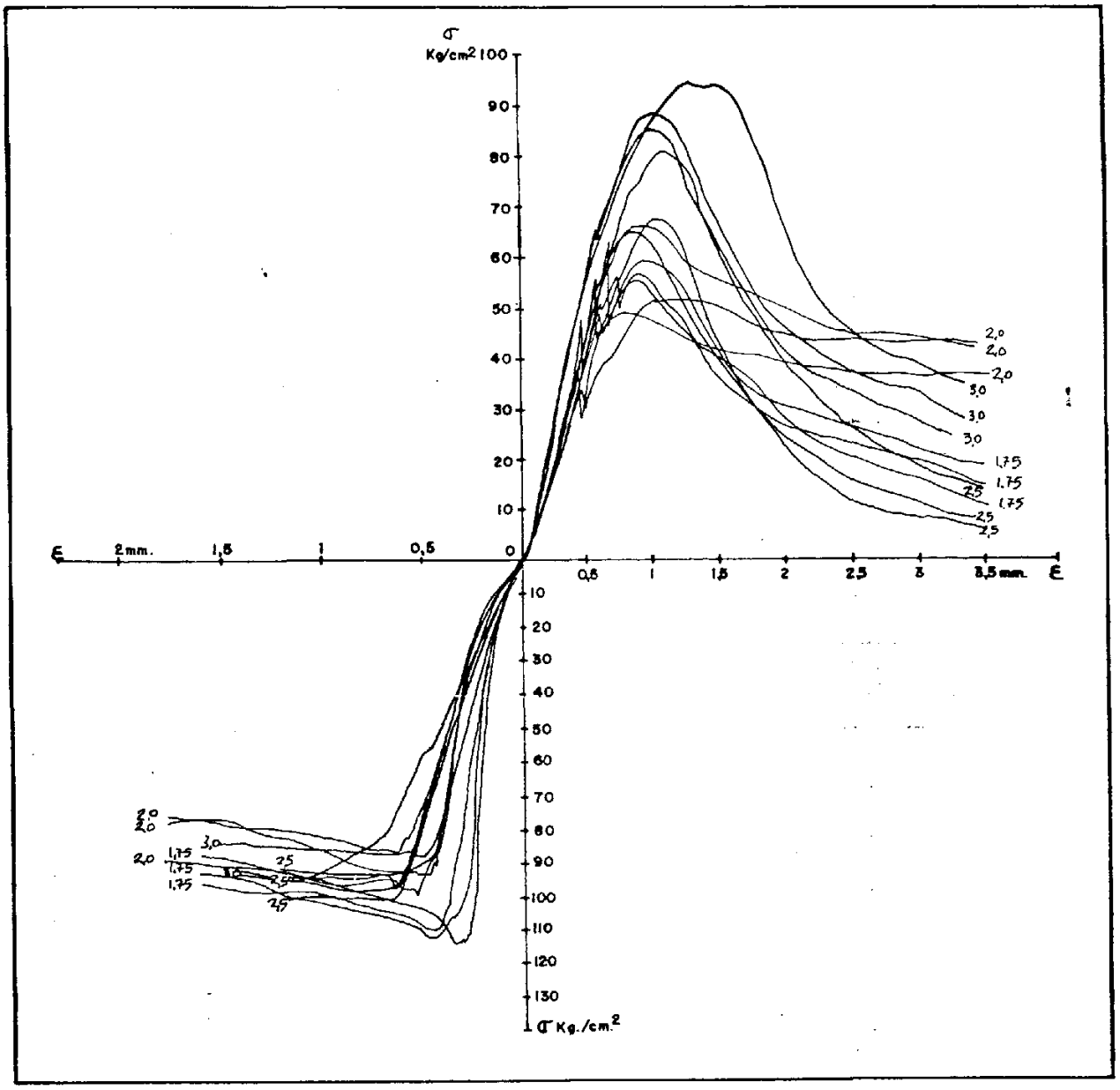
COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L
ADICION: FIBRA ACRILICA (DOLANIT)
DISPERSION DE ACETATO DE P.V. (MOWILIT DS PULVER)

CONCLUSIONES

Gran aumento de la capacidad de deformación
Ligero aumento de los valores de resistencia mecánica ante tensiones de flexotracción y compresión comparados con los obtenidos con la adición de fibra sin dispersión.
Ausencia de rotura frágil, manteniéndose unidos los extremos de las probetas ensayadas.

GRAFICAS TENSION DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA ACRILICA (DOLANIT)

DISPERSION CCP. ESTERES ACIDO ACRILICO (MOWITON M-300)

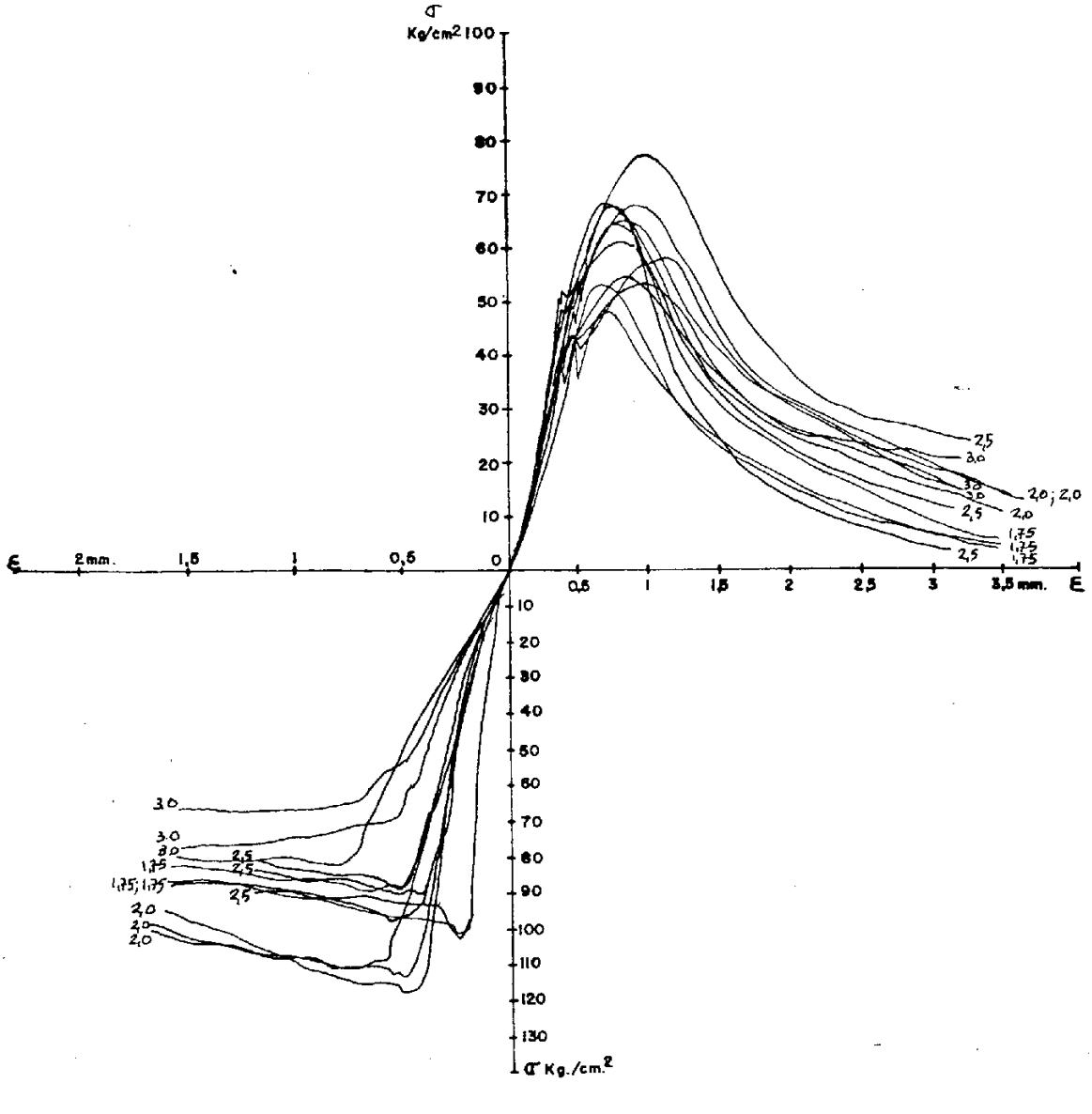
CONCLUSIONES

Gran aumento de la capacidad de deformación

Ligero aumento de los valores de resistencia mecánica ante tensiones de flexotracción y compresión, comparados con los obtenidos con la adición de fibra sin dispersión.

Ausencia de rotura frágil, manteniéndose unidos los extremos de las probetas ensayadas.

GRAFICAS TENSION DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

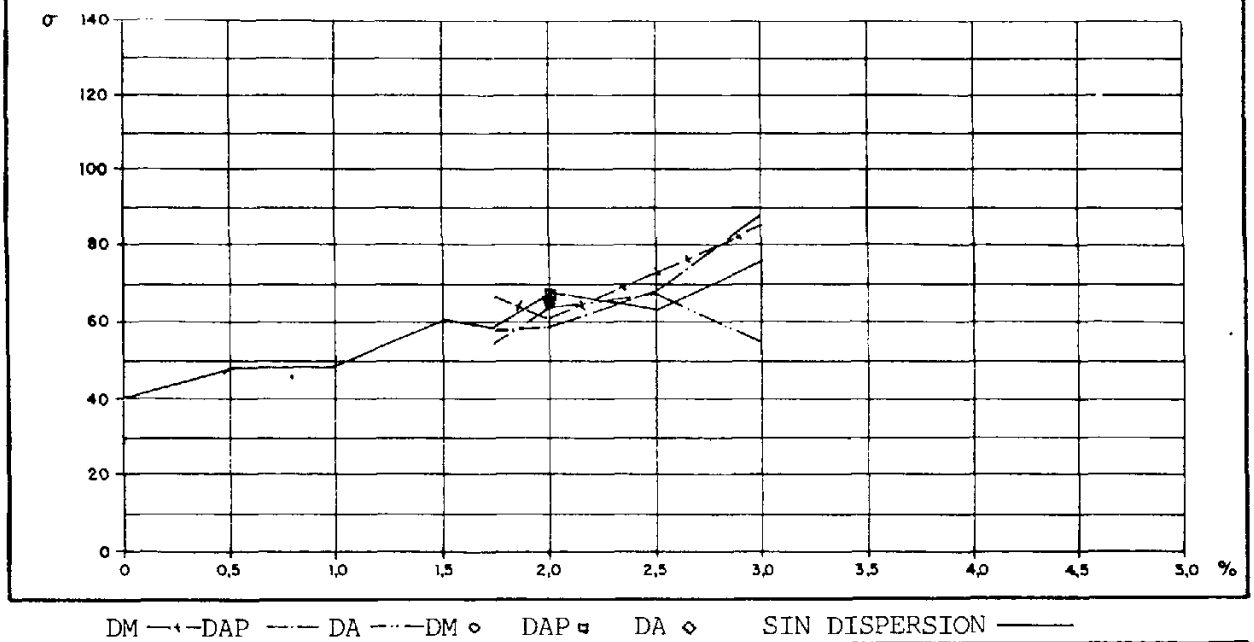
MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA ACRILICA (DOLANIT) CON DISPERSIONES
DM (MELMENT F-10); DAP (MOWILITH DS PULVER), DA (MOWITON M-300)

RESUMEN DE RESULTADOS

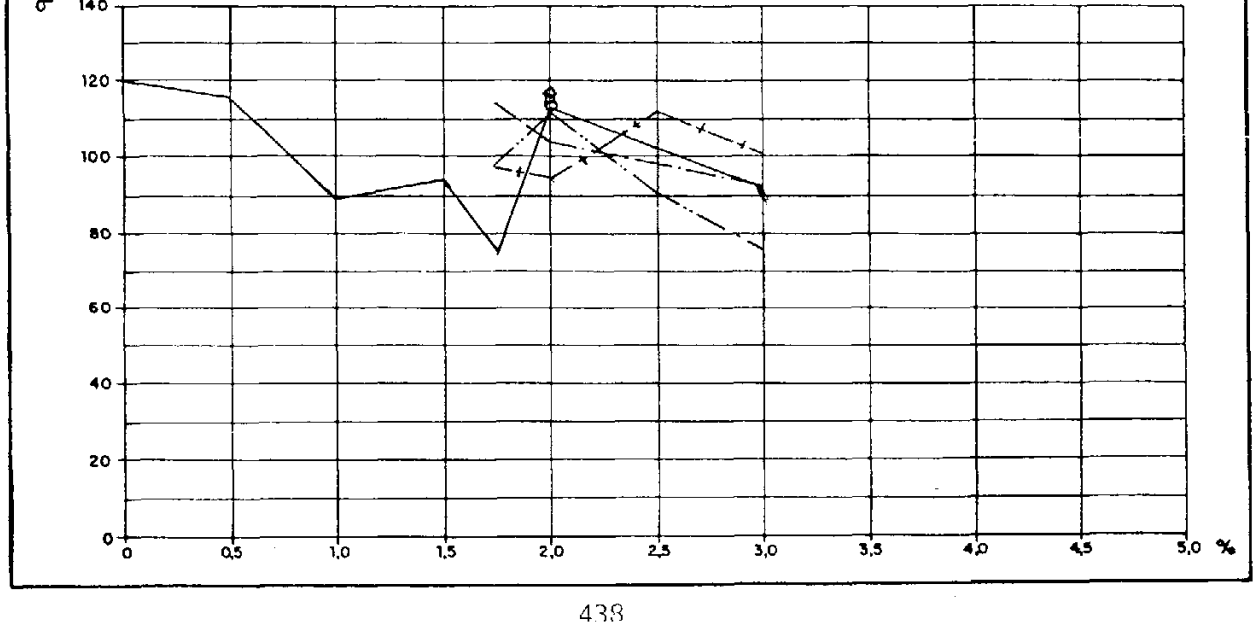
% ADICION		VALOR MEDIO FLEXION Kg/cm²			VALOR MEDIO COMPRESION Kg/cm²		
FIBRA	DISPERSION	TIPO DE DISPERSION			TIPO DE DISPERSION		
–		43,62			>125		
		DM	DAP	DA	DM	DAP	DA
2,0	1,0	65,0	69,16	66,16	111,12	113,29	116,37
1,75	0,5	67,33	58,0	55,58	97,27	114,56	98,54
2,0	0,5	61,75	59,33	65,17	94,89	104,20	114,29
2,5	0,5	82,92	69,83	68,58	112,62	99,66	91,29
3,0	0,5	86,25	88,41	54,83	101,75	93,58	74,81

RELACION TENSION DE ROTURA A FLEXION Y % DE ADICION



DM —‹—DAP —·— DA —··—DM ○ DAP □ DA ◇ SIN DISPERSION ———

RELACION TENSION DE ROTURA A COMPRESION Y % DE ADICION



9.2.2. Mezclas binarias con fibra de poliéster.

- Fibra de poliéster con dispersión de melamina-formaldehido.

Analizando las gráficas de tensión-deformación en los ensayos de flexión y compresión correspondientes a los diversos porcentajes ensayados, no se observan diferencias importantes en la variación de las pendientes de las gráficas, permaneciendo inalterable el módulo de elasticidad.

La forma de las gráficas, tanto en el ensayo de flexión como en el de compresión, es análoga a la obtenida por la mezcla de la escayola con la fibra de poliéster sin la adición de dispersiones.

Los valores de resistencia mecánica que se obtienen en el ensayo de flexión son inferiores a los conseguidos únicamente con la adición de fibra de poliéster, como se observa en el resumen de resultados.

En el ensayo de compresión, los valores de resistencia mecánica que se obtienen son superiores a los conseguidos únicamente con la adición de fibra de poliéster, mejorando su comportamiento, como se observa en el resumen de resultados.

La adición de la dispersión de melamina-formaldehido mejora las características de trabajabilidad, posibilitando mezclas con porcentajes de fibra superiores al 2% que no se habían podido alcanzar en los ensayos realizados para analizar el comportamiento individual de cada agregado.

- **Fibra de poliéster con dispersión de acetato de polivinilo.**

El efecto que consigue la dispersión sobre la mezcla de fibra de poliéster y escayola es análogo al que produce la dispersión anterior en cuanto a la variación del módulo de elasticidad y la forma de las gráficas tensión-deformación.

En el ensayo de flexión los valores de resistencia mecánica conseguidos son inferiores a los obtenidos con la dispersión de melamina-formaldehido, e inferior por tanto a los obtenidos adicionando únicamente fibra.

En el ensayo de compresión los valores de resistencia mecánica conseguidos son superiores a los obtenidos adicionando fibra únicamente. Se producen aumentos de los valores de resistencia hasta el 2,5% de adición, porcentaje límite a partir del cual se produce una reducción de los valores obtenidos.

- Fibra de poliéster con dispersión de ácido acrílico.

El efecto que consigue la dispersión sobre la mezcla de fibra de poliéster y escayola es análogo al conseguido por las dispersiones anteriores, excepto en los valores de resistencia mecánica conseguidos que son inferiores, como se observa en el resumen de resultados.

COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION : FIBRA DE POLIESTER (NUREL)

POLICONDENSADO DE MELAMINA FORMALDEHIDO (MELMENT F-10)

CONCLUSIONES

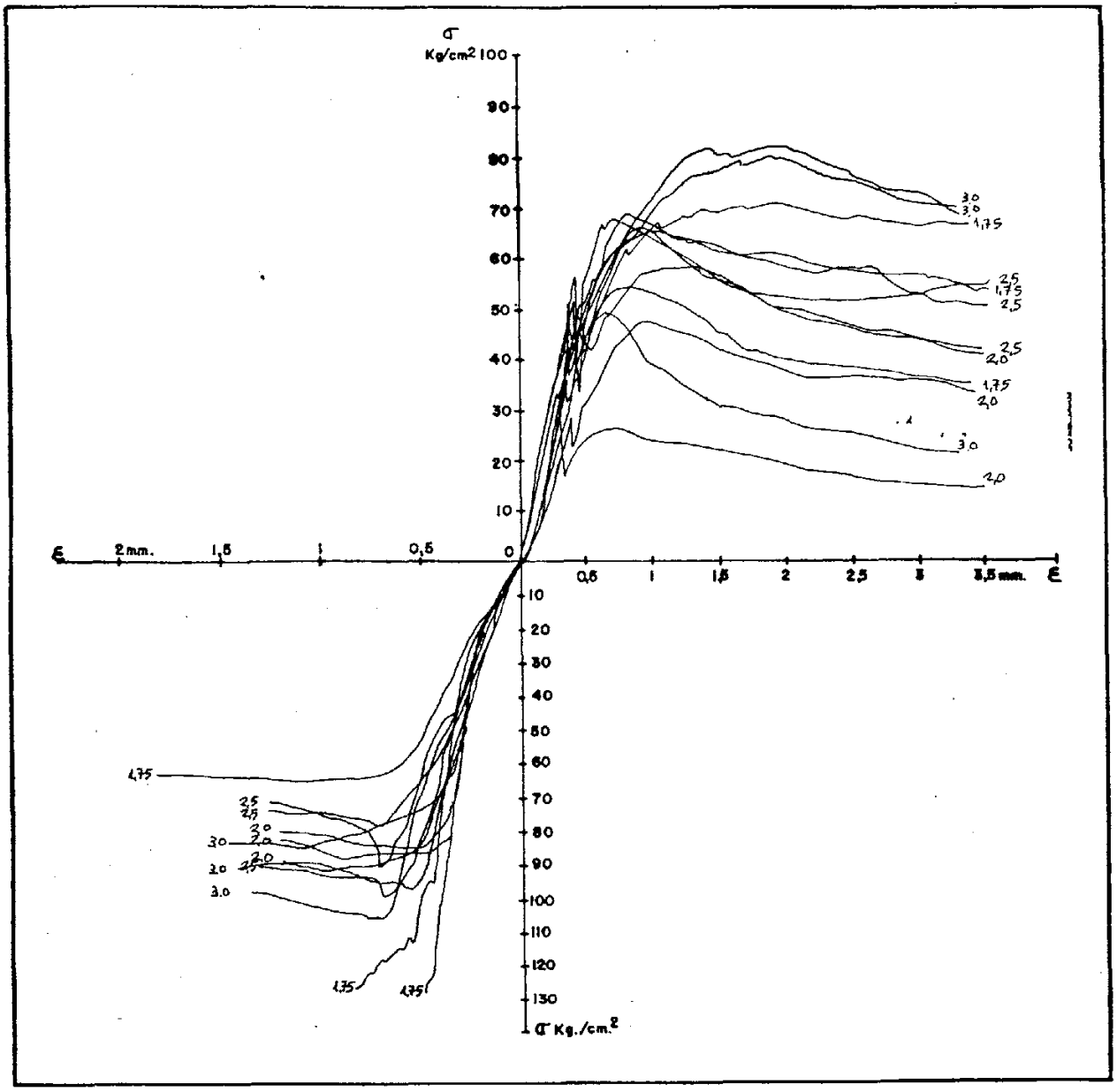
Gran aumento de la capacidad de deformación.

Aumento de los valores de resistencia mecánica ante tensiones de compresión comparados con los obtenidos con la adición de fibra sin dispersión.

Disminución de los valores de resistencia mecánica ante tensión de flexotracción comparados con los obtenidos con la adición de fibra sin dispersión.

Ausencia de rotura frágil, mateniéndose unidos los extremos de las probetas ensayadas.

GRAFICAS TENSION DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

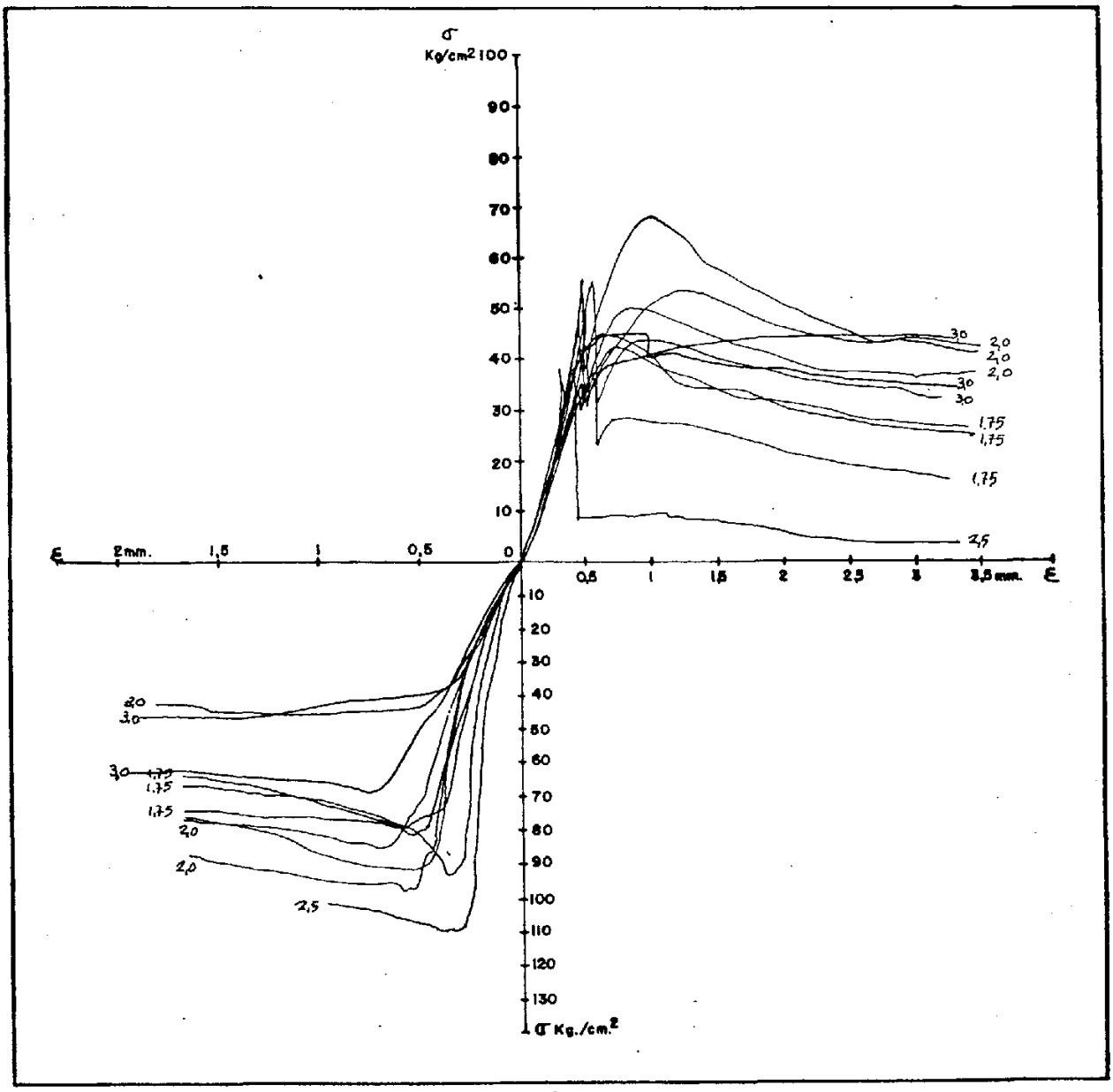
COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L
ADICION: FIBRA DE POLIESTER (NUREL)
DISPERSION DE ACETATO DE P.V. (MOWILITH DS PULVER)

CONCLUSIONES

- Gran aumento de la capacidad de deformación.
  Aumento de los valores de resistencia mecánica ante tensiones de compresión comparados con los obtenidos con la adición de fibra sin dispersión.
  Disminución de los valores de resistencia mecánica ante tensión de flexotracción comparados con los obtenidos con la adición de fibra sin dispersión.
  Ausencia de rotura frágil, manteniéndose unidos los extremos de las probetas ensayadas.

GRAFICAS TENSION DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIESTER (NUREL)
DISPERSION CCP. ESTERES ACIDO ACRILICO (MOWITON M-300)

CONCLUSIONES

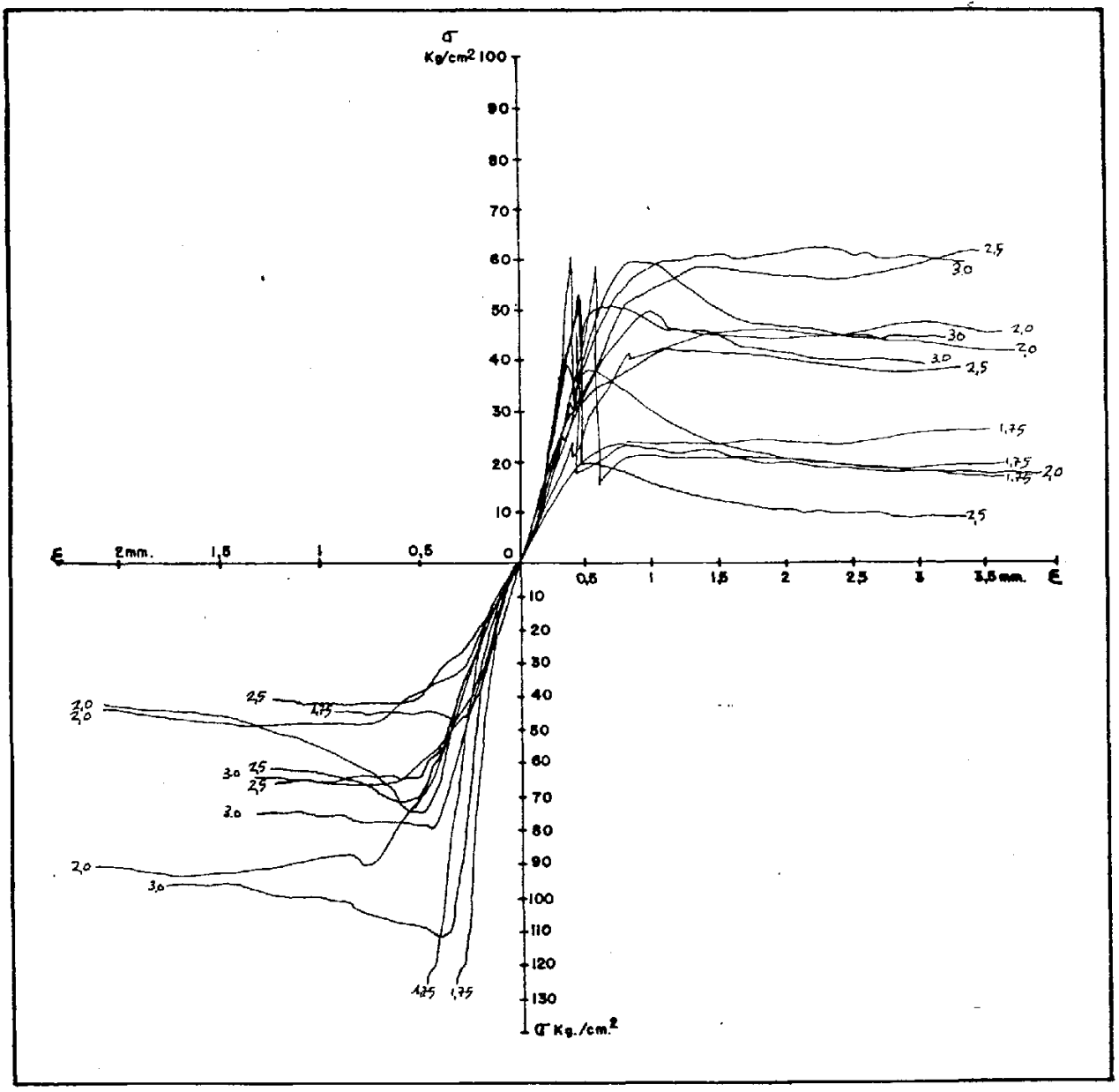
Gran aumento de la capacidad de deformación.

Aumento de los valores de resistencia mecánica ante tensiones de compresión comparados con los obtenidos con la adición de fibra sin dispersión.

Disminución de los valores de resistencia mecánica ante tensión de flexotracción comparados con los obtenidos con la adición de fibra sin dispersión.

Ausencia de rotura frágil, manteniéndose unidos los extremos de las probetas ensayadas.

GRAFICAS TENSION DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

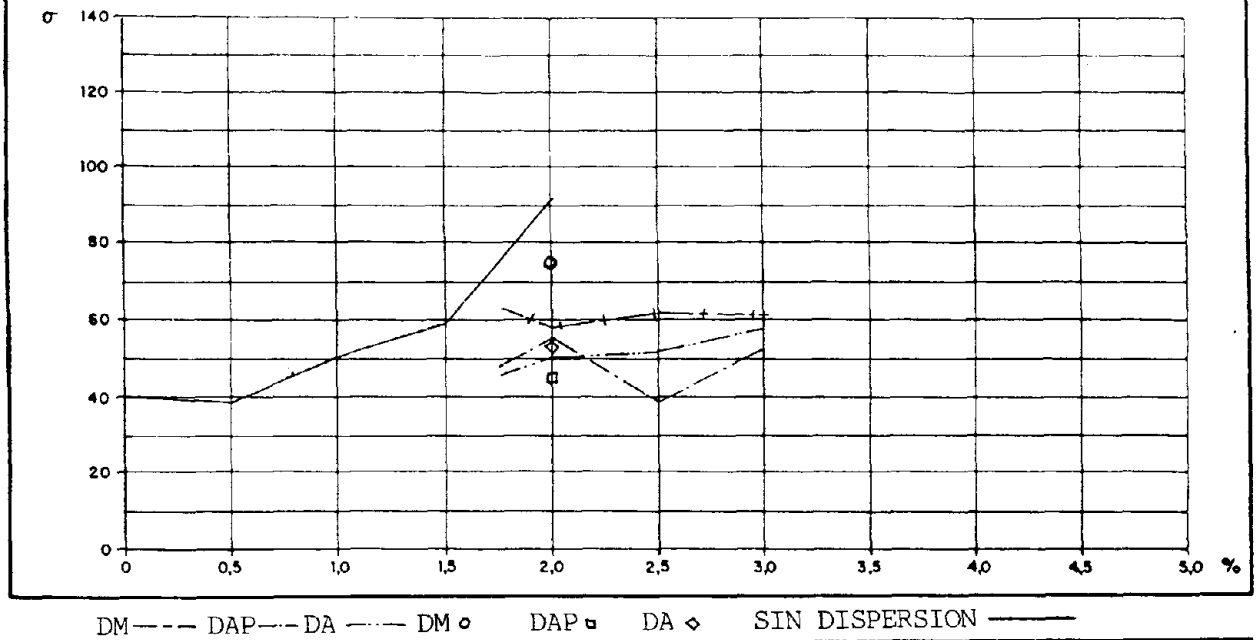
MATRIZ: E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIESTER (NUREL) CON DISPERSIONES DM (MELMENT F-10); DAP (MOWILITH DS PULVER), DA (MOWITON M-300)

RESUMEN DE RESULTADOS

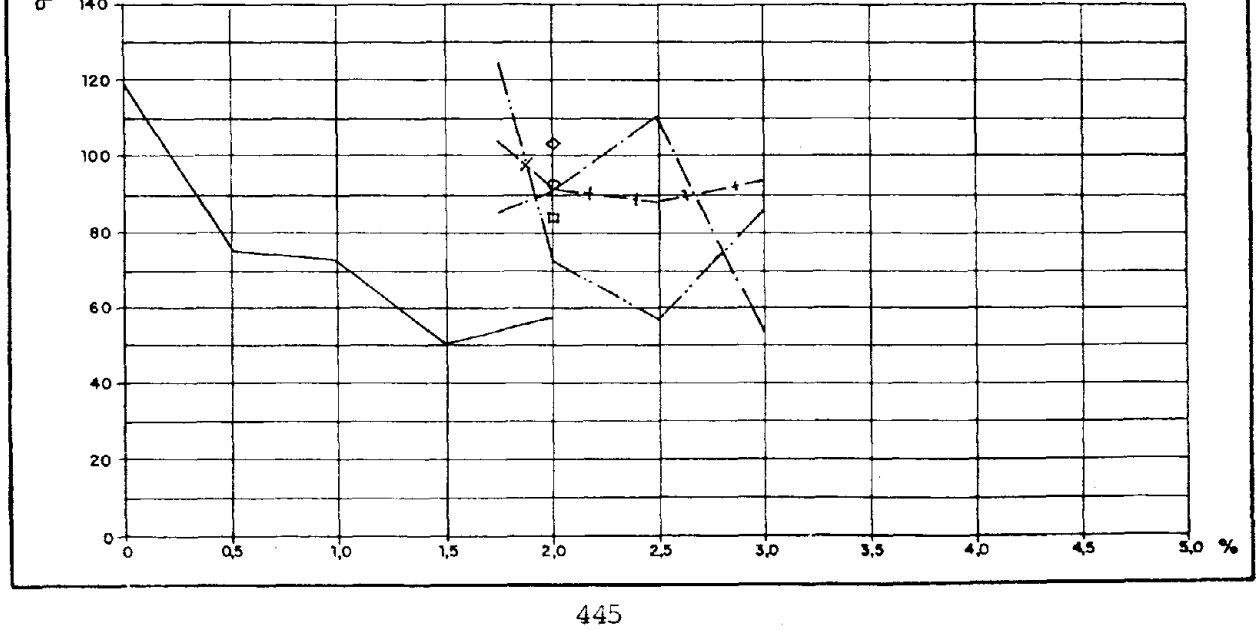
% ADICION		VALOR MEDIO FLEXION Kg/cm²			VALOR MEDIO COMPRESION Kg/cm²		
FIBRA	DISPERSION	TIPO DE DISPERSION			TIPO DE DISPERSION		
–		43,62			>125		
		DM	DAP	DA	DM	DAP	DA
2,0	1,0	75,0	45,66	53,75	93,29	84,21	103,31
1,75	0,5	62,42	48,83	46,87	104,93	86,50	>125
2,0	0,5	57,12	54,83	50,33	92,39	93,56	73,0
2,5	0,5	62,42	38,50	52,66	89,93	117,37	58,43
3,0	0,5	70,50	52,16	57,66	94,37	55,43	87,0

RELACION TENSION DE ROTURA A FLEXION Y % DE ADICION



DM – – – DAP – · – DA ——— DM ○ DAP □ DA ◇ SIN DISPERSION ———

RELACION TENSION DE ROTURA A COMPRESION Y % DE ADICION



9.2.3. Mezclas binarias con fibras de polipropileno.

- **Fibra de polipropileno con dispersión de melamina-formaldehido.**

Analizando las gráficas de tensión-deformación en los ensayos de flexión y compresión correspondientes a los diversos porcentajes ensayados, se observan variaciones en la pendiente de la gráfica en las zonas correspondientes al período elástico, en comparación con las pendientes obtenidas en las gráficas de las probetas que únicamente tienen adición de fibra existiendo un aumento de módulo elástico de la mezcla binaria con respecto a la mezcla unitaria, y también en comparación con la escayola sin aditivar.

Los valores de resistencia mecánica que se obtienen en los ensayos de flexión y compresión son superiores a los obtenidos con la adición de fibra sin dispersión, como se observa en el resumen de resultados.

Las gráficas adquieren formas quebradas con saltos de carga, correspondientes a la aparición de grietas en las probetas.

De la forma quebrada de la gráfica se deduce que ante una tensión determinada la matriz agota su capacidad mecánica, traspasando la tensión a las fibras que logran absorber las tensiones existentes. Este fenómeno se va

E. T. S. A. de M.
BIBLIOTECA

sucediendo paulatinamente en la zona existente entre los apoyos de la probeta, aumentando constantemente la resistencia del conjunto ante incrementos de la deformación.

- **Fibra de polipropileno con dispersión de acetato de polivinilo.**

En esta mezcla no se observan diferencias tan importantes en la variación de las pendientes de las gráficas como en la dispersión anterior, siendo el módulo elástico menor que en auqélla.

En el ensayo de flexión los valores de resistencia mecánica conseguidos son análogos a los obtenidos con la dispersión anterior excepto para el porcentaje de adición de fibra de 2,5%, donde se obtiene un 20% menos de resistencia.

En el ensayo de compresión los valores de resistencia mecánica conseguidos son análogos a los obtenidos con la dispersión anterior, como se observa en el resumen de resultados.

Las gráficas siguen presentando una forma quebrada debida a las mismas causas.

- **Fibra de polipropileno con dispersión de ácido acrílico.**

El efecto que consigue la dispersión sobre la mezcla de fibra de polipropileno y escayola es análogo al conseguido por la dispersión de acetato de polivinilo, excepto en los menores valores de resistencia mecánica conseguidos, como se observa en el resumen de resultados.

COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)
POLICONDENSADO DE MELAMINA FORMALDEHIDO (MELMENT F-10)

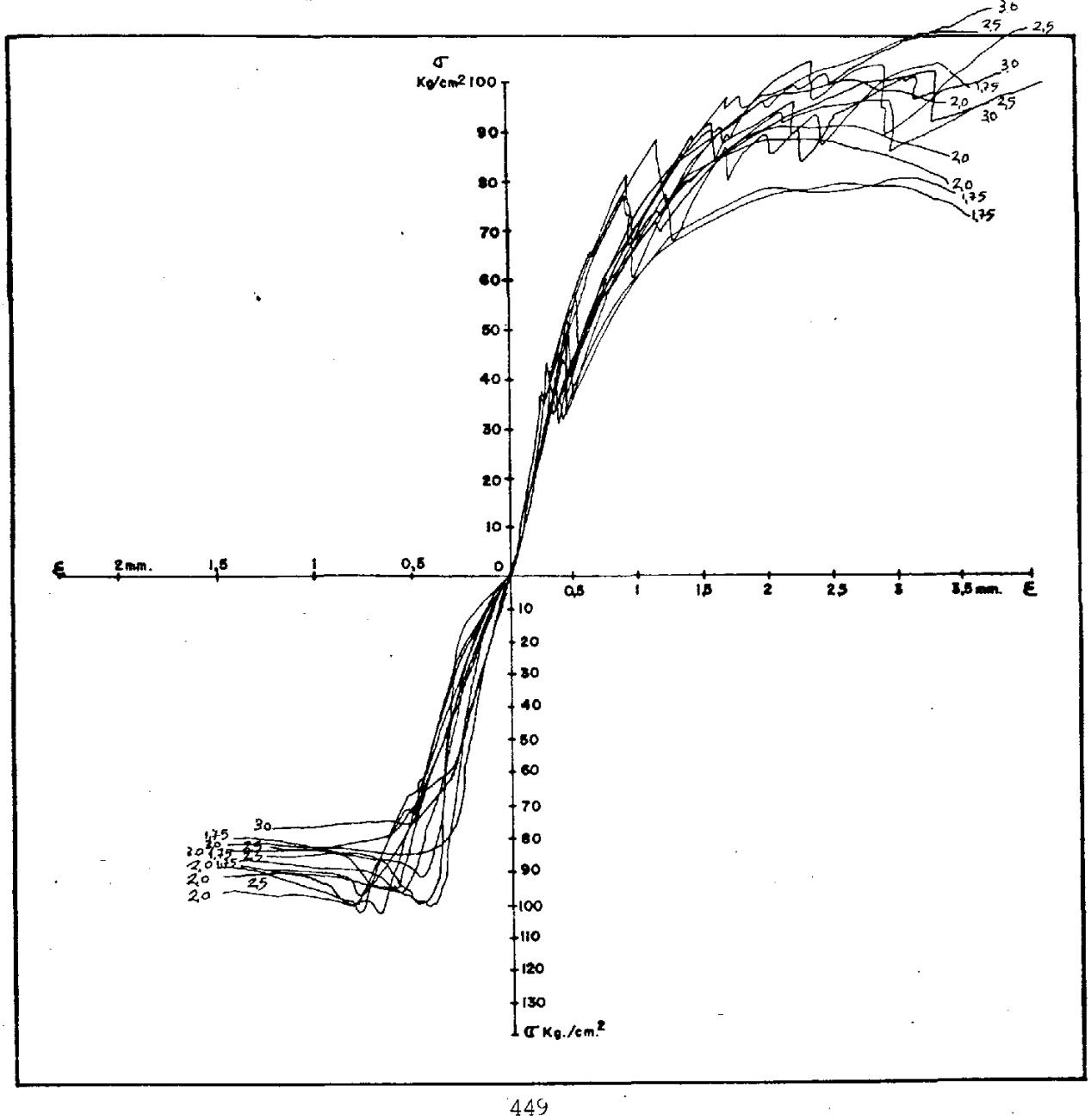
CONCLUSIONES

Gran aumento de la capacidad de deformación.

Gran aumento de los valores de resistencia mecánica ante tensiones de flexotracción y compresión comparados con los obtenidos con la adición de fibra sin dispersión.

Ausencia de rotura frágil manteniéndose unidos los extremos de las probetas ensayadas.

GRAFICAS TENSION DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION : FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)
DISPERSION DE ACETATO DE P.V. (MOWILITH DS PULVER)

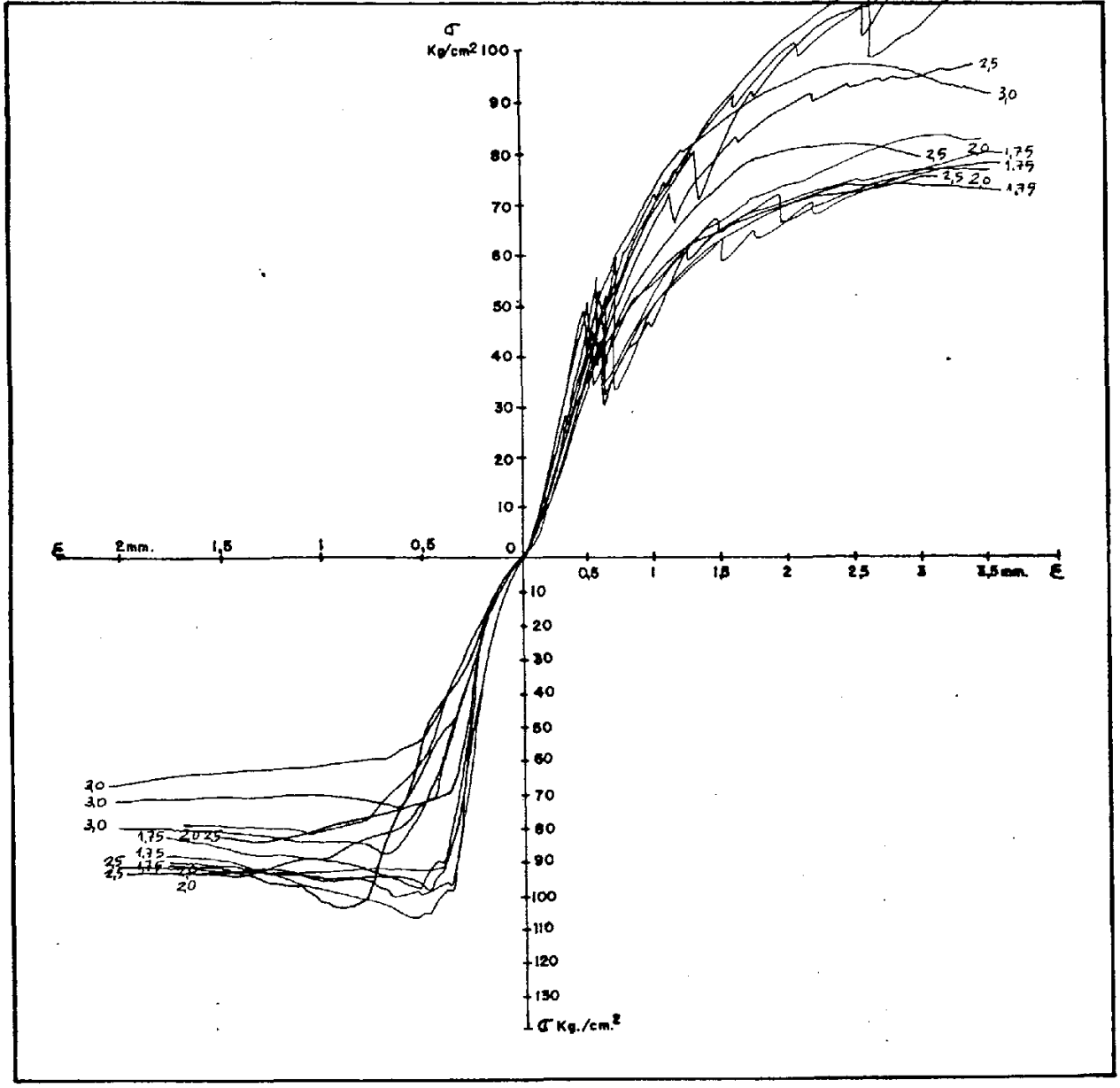
CONCLUSIONES

Gran aumento de la capacidad de deformación.

Gran aumento de los valores de resistencia mecánica ante tensiones de flexotracción y compresión comparados con los obtenidos con la adición de fibra sin dispersión.

Ausencia de rotura frágil manteniéndose unidos los extremos de las probetas ensayadas.

GRAFICAS TENSION DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN)
DISPERSION COP. ESTERES ACIDO ACRILICO (MOWITON M-300)

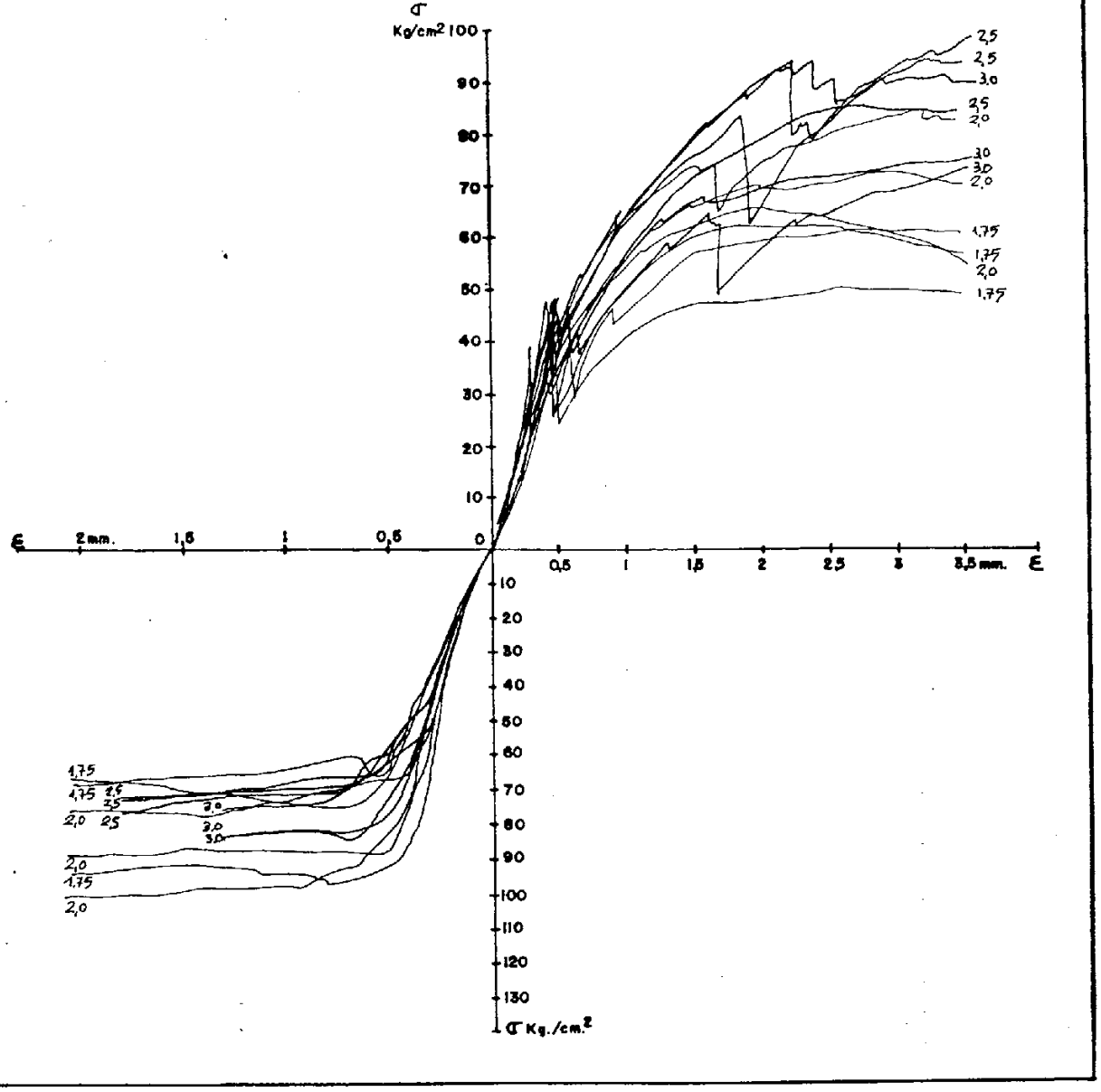
CONCLUSIONES

Gran aumento de la capacidad de deformación.

Gran aumento de los valores de resistencia mecánica ante tensiones de flexotracción y compresión comparados con los obtenidos con la adición de fibra sin dispersión.

Ausencia de rotura frágil manteniéndose unidos los extremos de las probetas ensayadas.

GRAFICAS TENSION DEFORMACION



COMPUESTO DE YESO CON POLIMEROS SINTETICOS

COMPONENTES

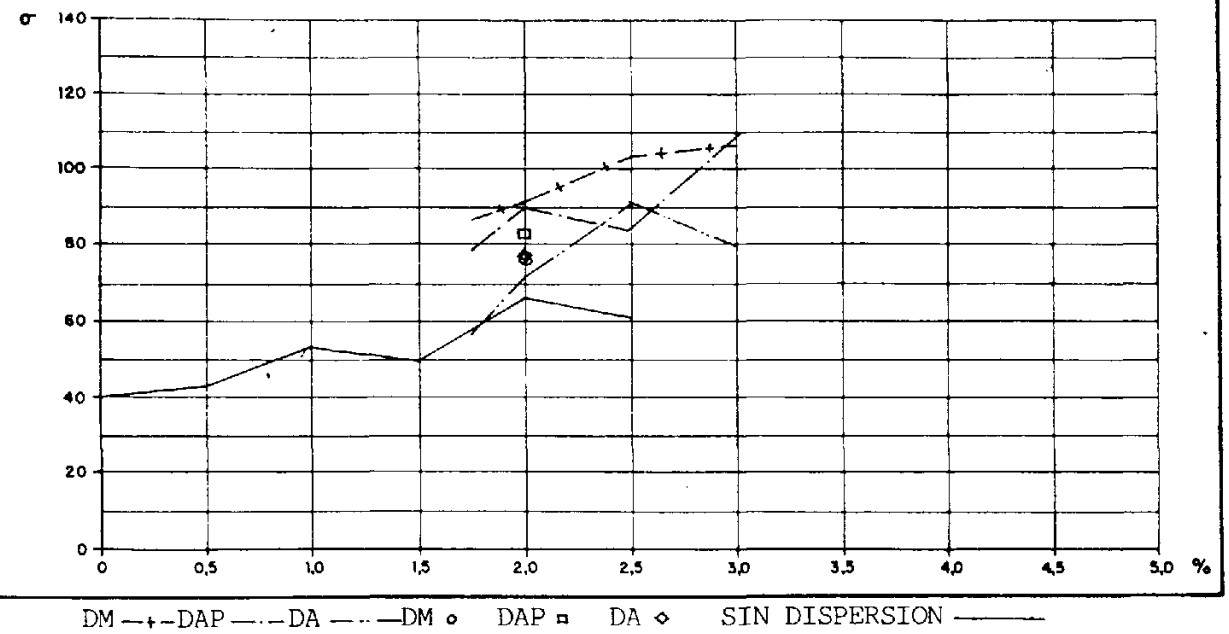
MATRIZ : E-35-L

ADICION: FIBRA DE POLIPROPILENO (PROPILAN) CON DISPERSIONES DM (MELMENT F-10); DAP (MOWILITH DS PULVER); DA (MOWITON M-300)

RESUMEN DE RESULTADOS

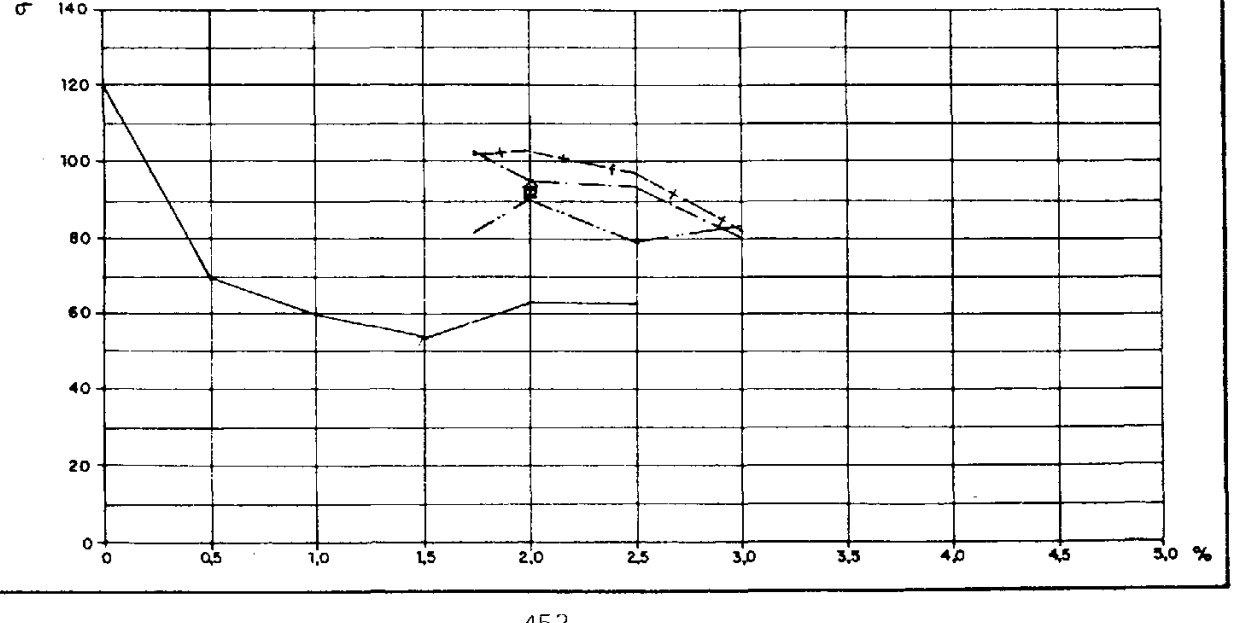
% ADICION		VALOR MEDIO FLEXION Kg/cm²			VALOR MEDIO COMPRESION Kg/cm²		
FIBRA	DISPERSION	TIPO DE DISPERSION			TIPO DE DISPERSION		
–		43,62			125		
		DM	DAP	DA	DM	DAP	DA
2,0	1,0	76,16	83,25	77,66	91,93	93,33	93,95
1,75	0,5	86,08	78,17	57,25	100,69	102,35	81,47
2,0	0,5	91,33	90,50	72,66	103,25	94,33	90,31
2,5	0,5	104,0	84,0	92,58	97,35	93,75	79,52
3,0	0,5	107,25	109,58	79,33	82,39	79,56	81,40

RELACION TENSION DE ROTURA A FLEXION Y % DE ADICION



DM —+—DAP —·—DA —··—DM ○ DAP □ DA ◇ SIN DISPERSION ———

RELACION TENSION DE ROTURA A COMPRESION Y % DE ADICION



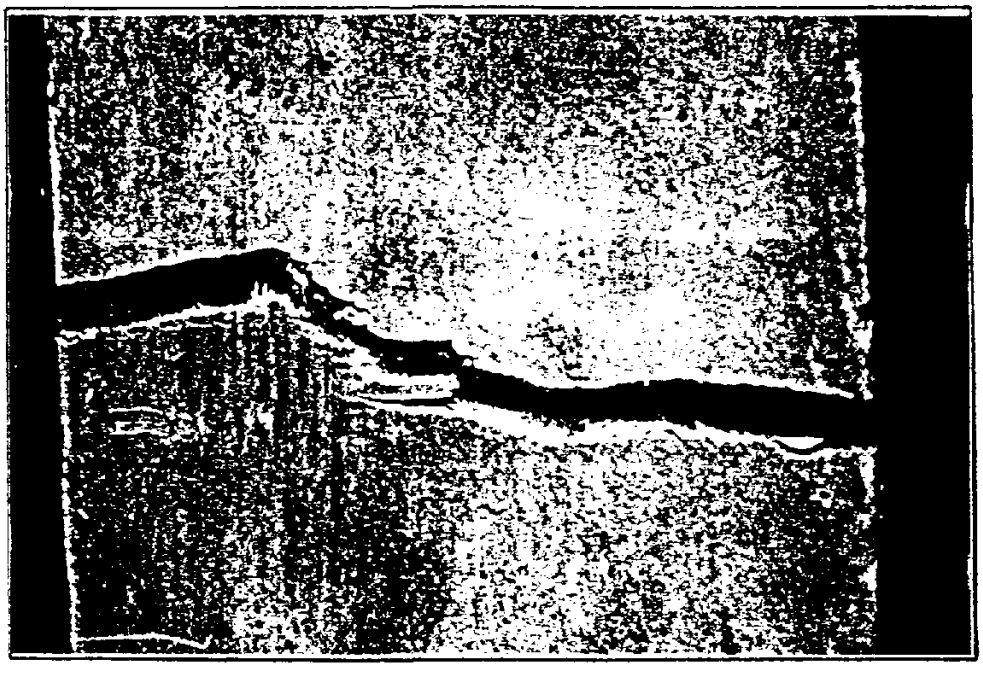
9.3.0. Análisis de las líneas de fractura.

Se analizan el estado que presentan las probetas una vez ensayadas a flexión, correspondientes a las mezclas binarias estudiadas en el capítulo anterior.

Se analizan: la cantidad, forma y distribución de las líneas de rotura en la cara inferior de las probetas ensayadas. En función de ellas, en las mezclas que se considere necesario se analizarán las líneas de fractura por las caras laterales de las probetas.

9.3.1. Mezclas binarias con fibras acrílicas.

- **Fibra acrílica con dispersión de melamina-formaldehido.**



Vista inferior de la probeta

Se observa una única línea de rotura situada en la zona central de la probeta, formada por tres zonas diferenciadas, dos laterales de características análogas, y una central de características diferentes.

La rotura se inicia desde las aristas inferiores de la probeta hacia la zona central, en donde se produce un cambio en la dirección de las líneas de rotura iniciadas hasta lograr la continuidad necesaria en la fractura.

En el aspecto que presenta la fractura, también se observa una diferencia entre la zona central y las laterales. En las zonas laterales existe una perfecta definición de los bordes y la presencia de líneas de fractura iniciadas que no han tenido continuidad, mientras que en la zona central aparece una indefinición de bordes.

Del estudio de la forma y el aspecto de la rotura, se deduce que ésta se inicia por rotura frágil de la matriz de escayola, sin que exista prácticamente contribución de la adición de fibra, hasta la zona central en donde la contribución de ésta provoca la acumulación de tensiones, frenando la rotura frágil de la matriz.

Por tanto puede afirmarse que no existe una eficaz adherencia entre fibra y matriz, ya que contribuyen independientemente en la absorción de las tensiones interiores generadas en el ensayo.

- **Fibra acrílica con dispersión de acetato de polivinilo.**

Vista inferior de la probeta

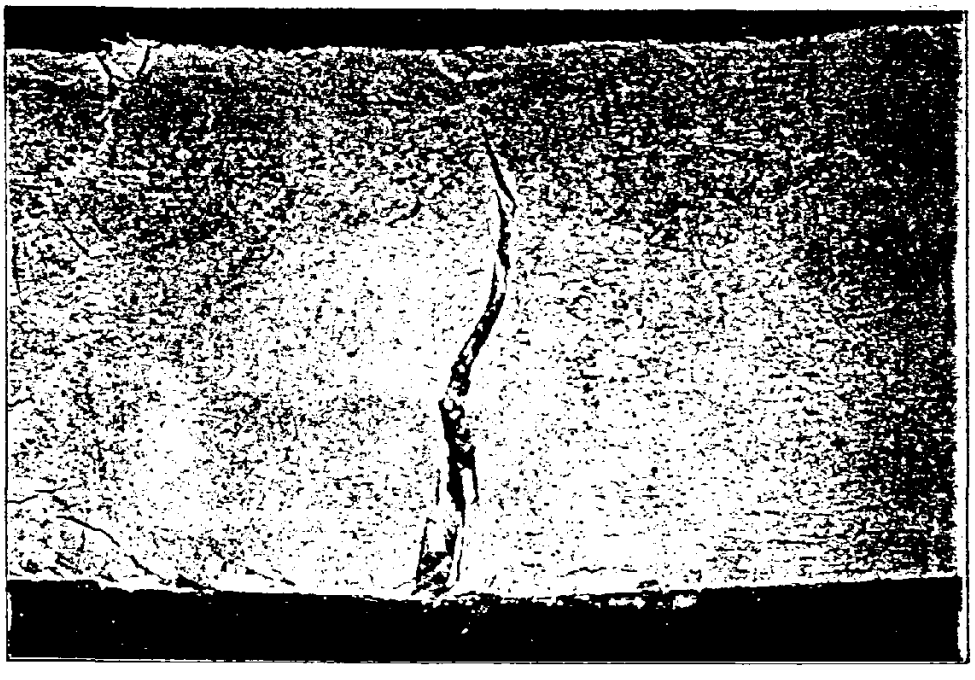
Se observa una única línea de rotura situada en la zona central de la probeta, en la que la diferenciación de zonas descrita en la mezcla anterior queda reducida a los extremos de la línea de fractura y que por su tamaño puede considerarse despreciable.

La fractura presenta una forma quebrada con indefinición de los bordes de ésta en su mitad izquierda, lo que implica que en esta zona ha existido una mayor adherencia entre fibra y matriz, por lo que la fractura ha ido prolongándose de modo no continuo por las zonas donde la contribución de fibra-dispersión-matriz era menor. Prueba de

ello es la aparición de pequeñas microgrietas en la zona izquierda de la probeta.

La contribución a la absorción de tensiones se realiza de modo más homogéneo que en la mezcla anterior, aunque la adherencia entre fibra y matriz no es idónea, como lo prueba la existencia de una única línea de fractura.

- Fibra acrílica con dispersión de ácido acrílico.



Vista lateral de la probeta

Vista inferior de la probeta

E. T. S. A. de M.
BIBLIOTECA

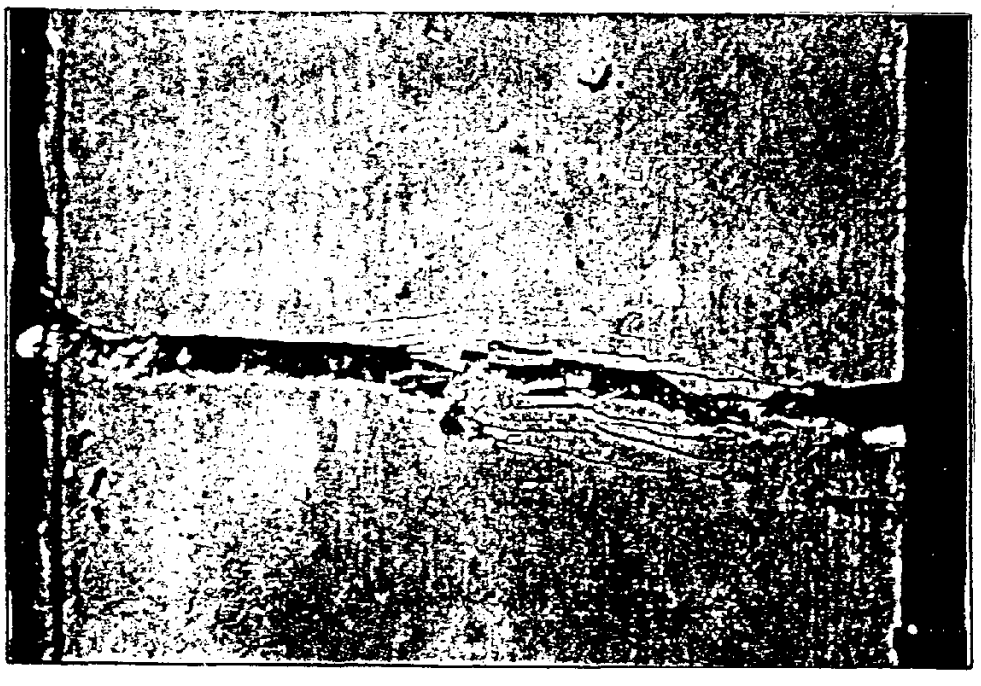
Se observa una única línea de rotura situada en la zona central de la probeta, formada por tres zonas diferenciadas, dos laterales de características análogas y una central de características distintas.

La rotura, análogamente a las mezclas anteriores, se inicia en las aristas inferiores de la probeta, discurriendo hacia la zona central. Las zonas laterales presentan una directriz bastante rectilínea, de mayor tamaño en el lado derecho que en el izquierdo. En la zona central aparece una indefinición de bordes y la presencia de líneas de fractura con diferente inclinación que en las zonas laterales.

La contribución a la absorción de tensiones se realiza de igual modo que en la mezcla anterior, aunque la adherencia entre fibra y matriz no es idónea, como lo prueba la existencia de una línea única de fractura.

9.3.2. Mezclas binarias con fibras de poliéster.

- Fibra de poliéster con dispersión de melamina-formaldehido.



Vista inferior de la probeta

Se observa una única línea de rotura situada en la zona central de la probeta, formada por tres zonas diferenciadas, dos laterales de características análogas y una central de características distintas.

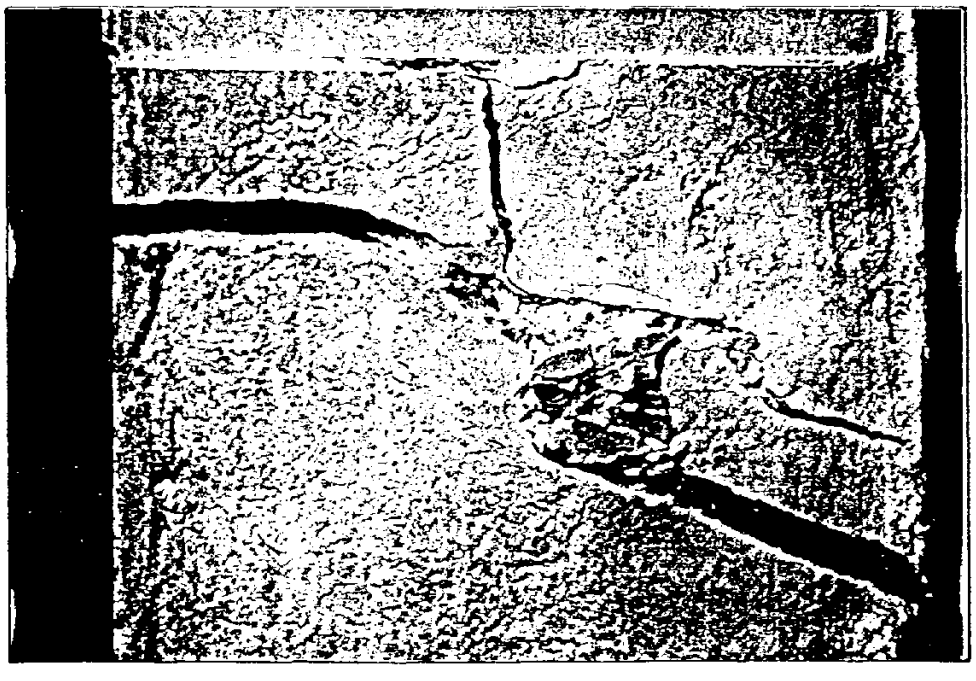
Las zonas laterales de la línea de rotura presentan una directriz rectilínea, una mayor longitud en el lado izquierdo que en el derecho, y una perfecta definición de los bordes de la fractura.

La zona central de la línea de rotura presenta la aparición de numerosas líneas de fractura de pequeño tamaño que se inician en los extremos interiores de las líneas de rotura laterales, conectándolas con las iniciadas en el extremo contrario.

Del estudio de la forma y el aspecto de la rotura, se deduce que ésta se inicia por rotura frágil de la matriz de escayola, sin que exista prácticamente contribución de la adición de fibra, hasta la zona central en donde la contribución de ésta provoca la acumulación de tensiones, frenando la rotura frágil de la matriz.

Se deduce por tanto que no existe una eficaz adherencia entre fibra y matriz, ya que contribuyen independientemente en la absorción de las tensiones interiores generadas en el ensayo.

- Fibra de poliéster con dispersión de acetato de polivinilo.



Vista inferior de la probeta

Se observa una línea de rotura principal de mayor tamaño, en la que se distinguen tres zonas diferenciadas, una central y dos laterales.

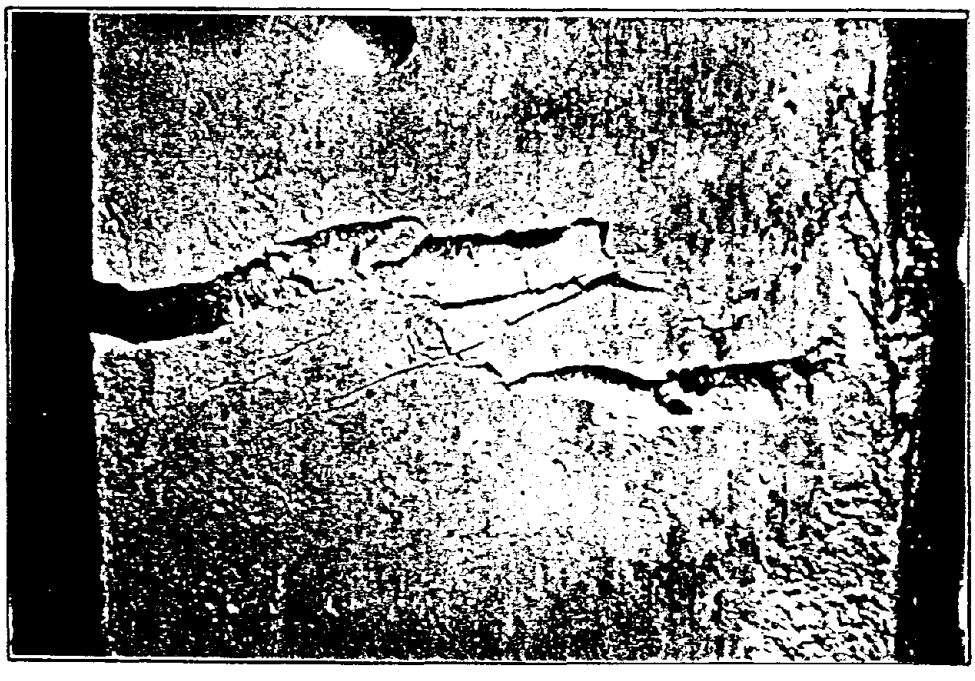
El aspecto y la forma de la fractura revela la existencia de una deficiente distribución de la fibra en la matriz, con una acumulación de ésta en la zona central.

La rotura se inicia por fractura frágil en las zonas laterales, correspondiéndose con la rotura de la matriz. Estas líneas de rotura poseen directriz rectilínea y perfecta definición de sus bordes. En la zona central la

gran acumulación de fibra produce una indefinición de líneas de rotura y de bordes.

La contribución a la absorción de tensiones se realiza de igual modo que en la mezcla anterior, aunque con menor adherencia entre fibra y matriz, que implica un menor trabajo conjunto.

- Fibra de poliéster con dispersión de ácido acrílico.



Vista inferior de la probeta

Se observa una única línea de rotura situada en la zona central de la probeta formada por tres zonas diferenciadas: dos laterales de pequeño tamaño y una central.

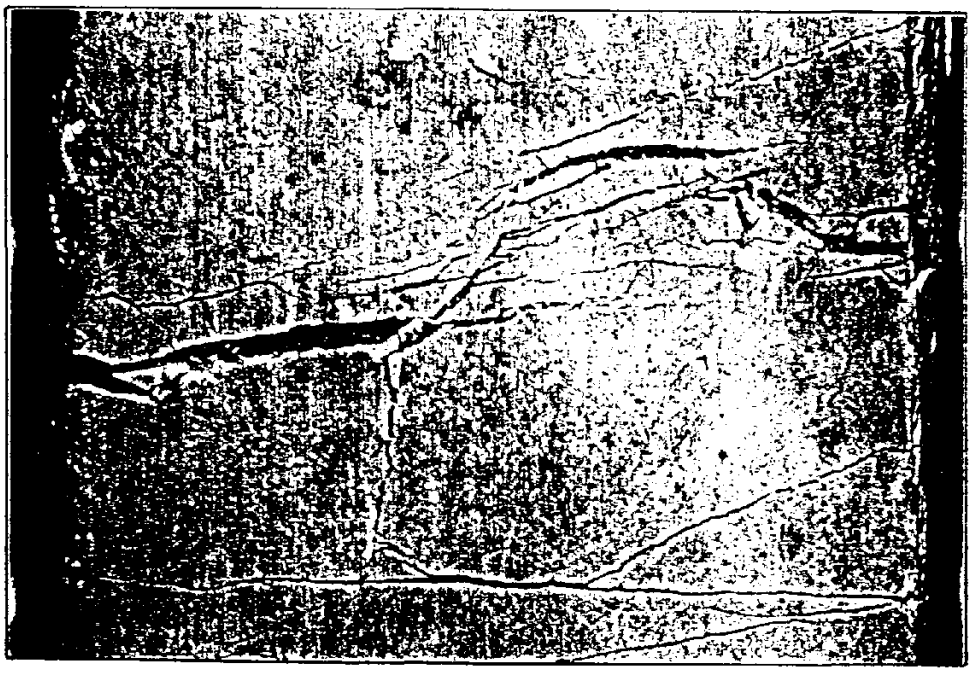
La zona central presenta numerosas líneas de fractura de bordes irregulares que conectan entre sí a las grietas de mayor tamaño iniciadas en las aristas inferiores de la probeta.

Existe una excesiva acumulación de fibra en la zona inferior de la probeta, produciendo la apariencia de una mejor adherencia entre fibra y matriz de la realmente existente. Esta adherencia es mejor que la que se produce en la mezcla anterior, como lo comprueban los resultados mecánicos conseguidos en los ensayos de flexión y compresión.

9.3.3. Mezclas binarias con fibras de polipropileno.

- Fibra de polipropileno con dispersión de melamina-formaldehido.

Vista lateral de la probeta



Vista inferior de la probeta

Se observa gran cantidad de líneas de fractura situadas entre las zonas donde se aplicaron los apoyos inferiores de la capilla del ensayo de flexión.

La rotura se inicia en las aristas inferiores de la probeta, discurriendo hacia la zona central de la cara inferior y ascendiendo por los laterales de ésta, como se observa en las fotografías.

En la fotografía del lateral de la probeta se observa una zona de agotamiento ante tensiones de compresión en la zona de entallamiento de los apoyos, y la aparición de unas líneas de rotura con disposición radial, con foco en el apoyo superior central, que no han sido observados en las mezclas binarias anteriormente analizadas en los epígrafes 9.3.1. y 9.3.2.

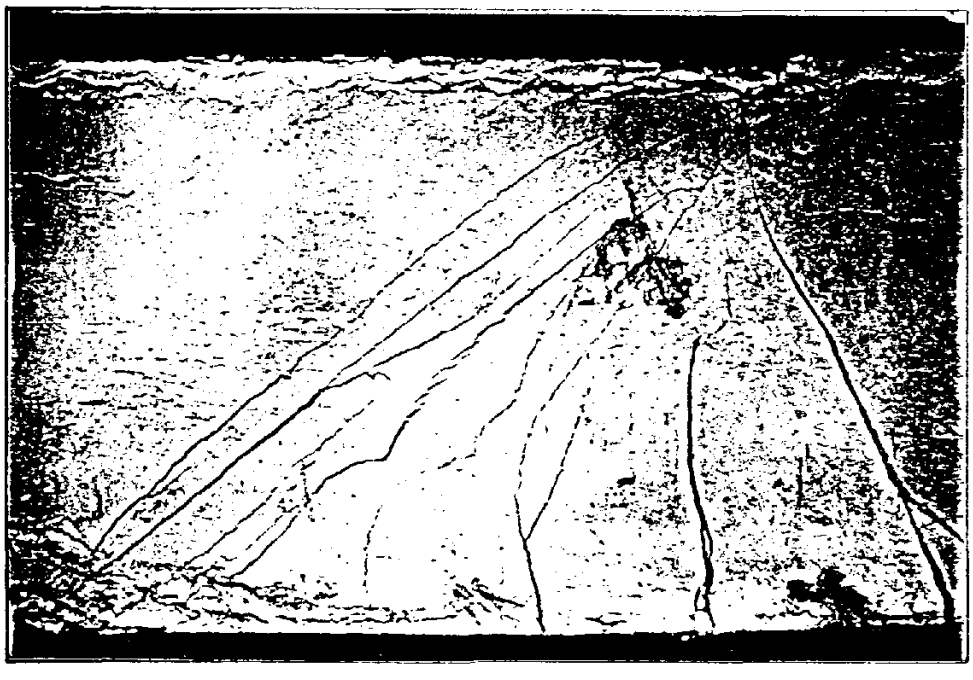
En la fotografía de la cara inferior de la probeta las líneas de rotura constan de tres zonas diferenciadas: dos laterales y una central. Las zonas laterales presentan una mayor definición de bordes con una directriz rectilínea. La zona central está formada por una multiplicidad de microlíneas de fractura en las que se observa la presencia de una tendencia de directrices curvas, no apreciada en las mezclas binarias analizadas en los epígrafes 9.3.1. y 9.3.2.

La aparición de líneas de rotura con disposición radial en la cara lateral, cuya máxima amplitud conecta los apoyos inferiores con el superior, y la disposición curvada de éstas en la zona central de la cara inferior son debidas

a la acción de tensiones de esfuerzo cortante en el interior de la probeta.

Dada la aparición de líneas de rotura debidas a la acción de esfuerzos cortantes y la aparición de zonas de agotamiento por compresión en el entorno de los apoyos, se demuestra la existencia de una gran adherencia entre la matriz y las adiciones de fibra y dispersión utilizadas, aunque esta adherencia no es la ideal, ya que las zonas laterales de las líneas de rotura de la cara inferior demuestran que sigue existiendo un inicio de rotura frágil de la matriz en las aristas de la probeta.

- Fibra de polipropileno y dispersión de acetato de polivinilo.



Vista lateral de la probeta

Vista inferior de la probeta

Análogamente a la mezcla anterior, se observan varias líneas, aunque el tamaño de una de ellas es superior al de las demás.

La rotura sigue iniciándose en las aristas inferiores de la probeta.

En la fotografía del lateral de la probeta no se observa el agotamiento y cedimiento causado por tensiones de compresión, y sí la aparición de líneas de rotura con disposición radial y centro en el apoyo central superior.

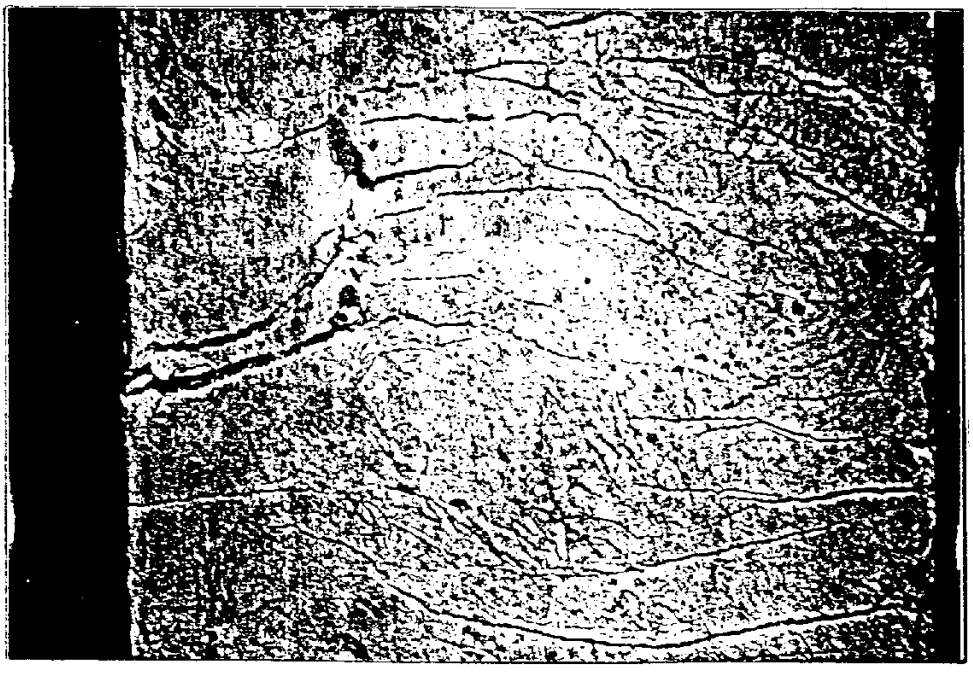
En la fotografía de la cara inferior de la probeta, las líneas de rotura siguen constando de tres zonas diferenciadas y se sigue observando la tendencia a curvarse en las directrices de la zona central.

Análogamente a la mezcla anterior, estos efectos son debidos a la acción de esfuerzos cortantes y demuestran la existencia de una buena adherencia entre las adiciones y la matriz.

La existencia de zonas laterales en las líneas de fractura de la cara inferior demuestra que sigue existiendo un inicio de rotura frágil de la matriz en las aristas de la probeta.

- Fibra de polipropileno con dispersión de ácido acrílico.

Vista lateral de la probeta



Vista inferior de la probeta

Análogamente a las mezclas anteriores con fibra de polipropileno, se observa gran cantidad de líneas de fractura, iniciándose la rotura también en las aristas inferiores de la probeta.

En la fotografía del lateral de la probeta se observa un gran agotamiento ante tensiones de compresión, con un cedimiento que supera a la mitad de ésta, y la existencia de líneas de rotura con disposición radial con centro en el apoyo superior central.

En la fotografía de la cara inferior de la probeta, las líneas de rotura siguen constando de tres zonas diferenciadas, aunque en un lateral son menos observables. La zona central presenta unas líneas de rotura con análoga tendencia a curvarse que en las mezclas binarias con fibras de polipropileno antes descritas.

Estos efectos son debidos a la acción de esfuerzos cortantes y demuestran la existencia de una buena adherencia entre las adiciones y la matriz.

El gran cedimiento que aparece en la zona superior de la fotografía de la vista lateral de la probeta es consecuencia de la existencia de la obtención de valores mecánicos de compresión de menor cuantía que los de flexión, como se observa en el resumen de resultados del epígrafe 9.2.3.

9.4.0. Elección justificada del tipo y porcentaje idóneo de adición.

De los análisis efectuados en los epígrafes anteriores sobre el comportamiento mecánico y las líneas de fractura de las probetas de escayola aditivadas, se puede deducir cuál de las adiciones presenta una mejor adherencia y con qué porcentaje se consiguen los valores de resistencia idóneos.

De la totalidad de adiciones agregadas a la escayola se observa que las mezclas binarias de fibras y dispersiones consiguen efectos sinergéticos sobre los valores mecánicos obtenidos con las adiciones individuales de fibras y dispersiones. Entre las mezclas binarias destacan las realizadas a base de fibra de polipropileno.

Del análisis de las líneas de fractura también se observa que las mezclas binarias a base de fibra de polipropileno presentan una adherencia mayor con la matriz.

Los análisis de la forma de las gráficas de tensión-deformación y de las líneas de rotura de las mezclas binarias a base de fibras de polipropileno no nos permiten seleccionar de un modo objetivo con cuál de las dispersiones se consigue un mejor comportamiento conjunto.

La selección del tipo y porcentaje idóneo se obtiene observando los resultados mecánicos obtenidos en los ensayos de flexión y compresión, cuyos valores se encuentran en el epífrage 8.3.5. (Resumen de resultados).

La mezcla binaria de fibra de polipropileno con dispersión de melamina-formaldehido consigue mejores resultados para todos los porcentajes añadidos de fibra con un 0,5% de dispersión, a excepción del 3% de adición de fibra, en donde la dispersión de acetato de polivinilo alcanza un incremento del valor de la tensión del 2,1% para el ensayo de flexión.

Para los porcentajes de fibra agregados con el 0,5% de dispersión, se consiguen los siguientes incrementos porcentuales.

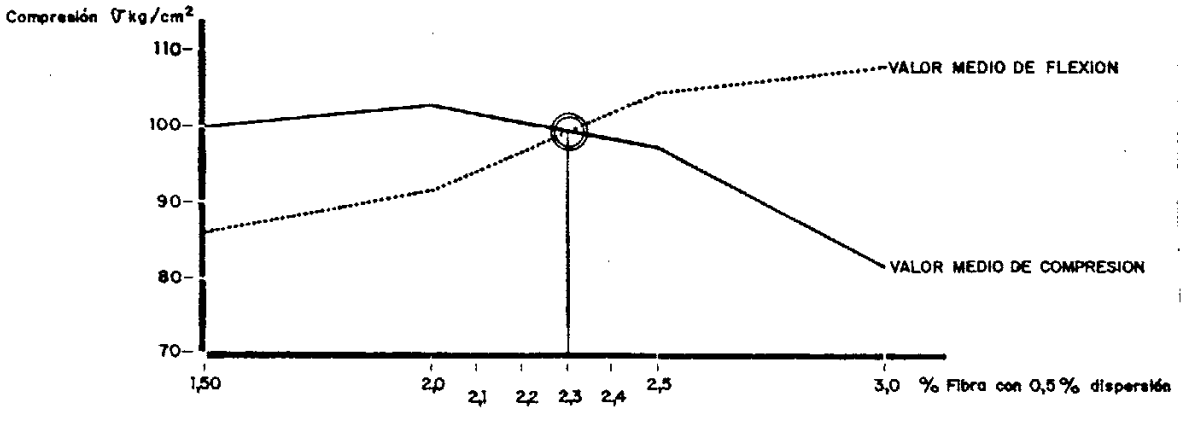
ENSAYO DE FLEXION

Tipo de adición	Porcentajes			
	1,75	2,0	2,5	3,0
FPP.DM	110,4	123,3	154,2	162,2
FPP.DAP	91,0	121,2	105,4	167,9
FPP.DA	40,0	77,6	126,3	86,6

ENSAYO DE COMPRESION

Tipo de adición	Porcentajes			
	1,75	2,0	2,5	3,0
FPP.DM	-16,0	-14,0	-18,9	-31,4
FPP.DAP	-14,7	-21,4	-19,4	-32,7
FPP.DA	-32,1	-24,7	-33,7	-32,2

Una vez seleccionda la mezcla de fibra de polipropileno con dispersión de melamina-formaldehido, el porcentaje idóneo de adición será aquel en el que queden igualados los valores mecánicos de flexión y compresión.



Este valor del porcentaje idóneo de adición de fibra se encuentra entre el 2,0% y el 2,5%, y suponiendo una interpolación lineal constante entre estos valores, correspondería al 2,3% de adición.

9.5.0. Análisis en los ensayos de comprobación.

De los ensayos de flexotracción e impacto sobre placas y de tracción pura se deducen las siguientes conclusiones.

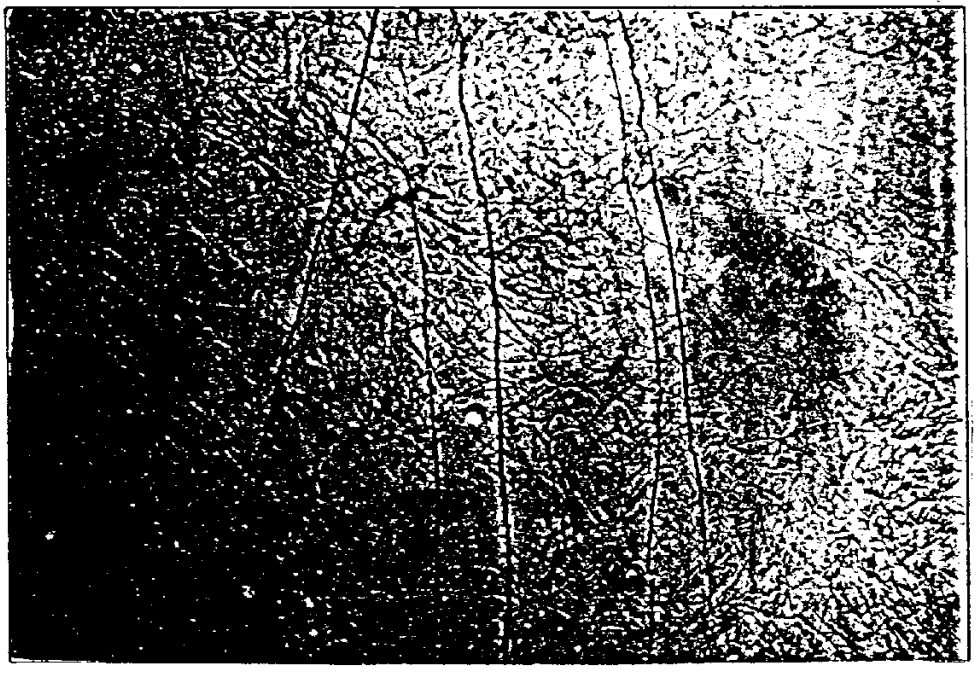
- Flexotracción de placas.

Analizando las gráficas de tensión-deformación correspondietes al ensayo realizado con placas de escayola sin aditivar y con placas de escayola aditivada con un 2% de fibra de polipropileno y con un 0,5% de dispersión de melamina-formaldehido, se observan efectos análogos a los detallados con las probetas prismáticas analizados en el epígrafe 9.2.3. (mezclas binarias con fibras de

polipropileno), si bien los valores de resistencia mecánica no alcanzan los incrementos porcentuales conseguidos con probetas prismáticas.

ENSAYO DE FLEXION

	Tipo de adición	Incremento porcentual de resistencia con relación a la escayola sin aditivar.
Probetas prismáticas	FPP.DM	123,3%
Placas	FPP.DM	42,05%



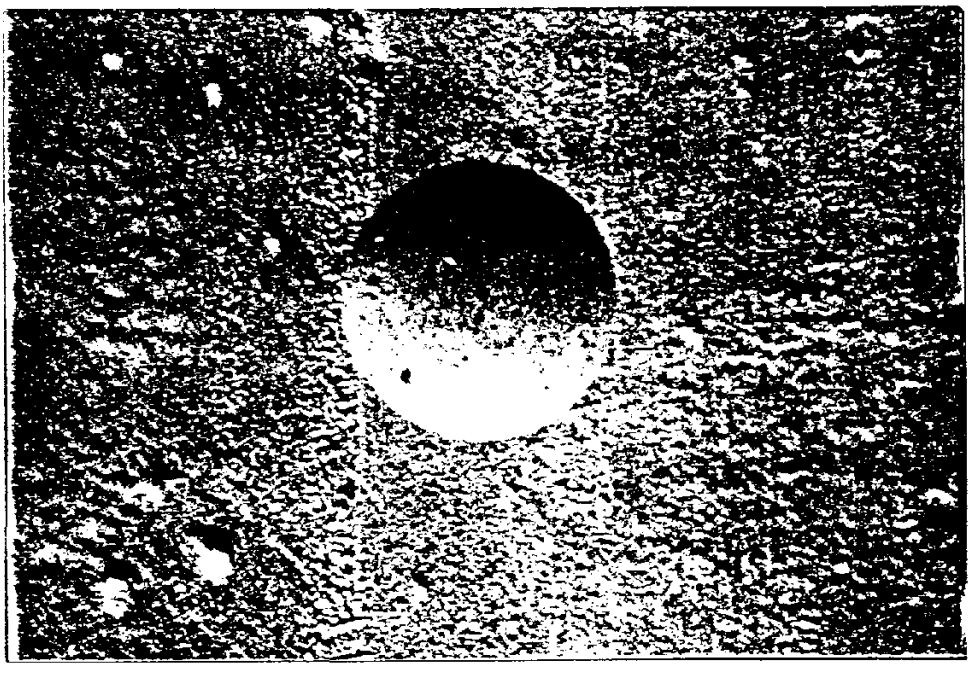
Vista inferior de la probeta

Las líneas de fractura presentan formaciones análogas a las observadas en las probetas prismáticas, analizadas en el epígrafe 9.3.3. mezclas binarias con fibras de polipropileno, a excepción de las observadas en el lateral de los prismas, dadas las diferencias dimensionales que existen entre el espesor de las placas y el de las probetas prismáticas.

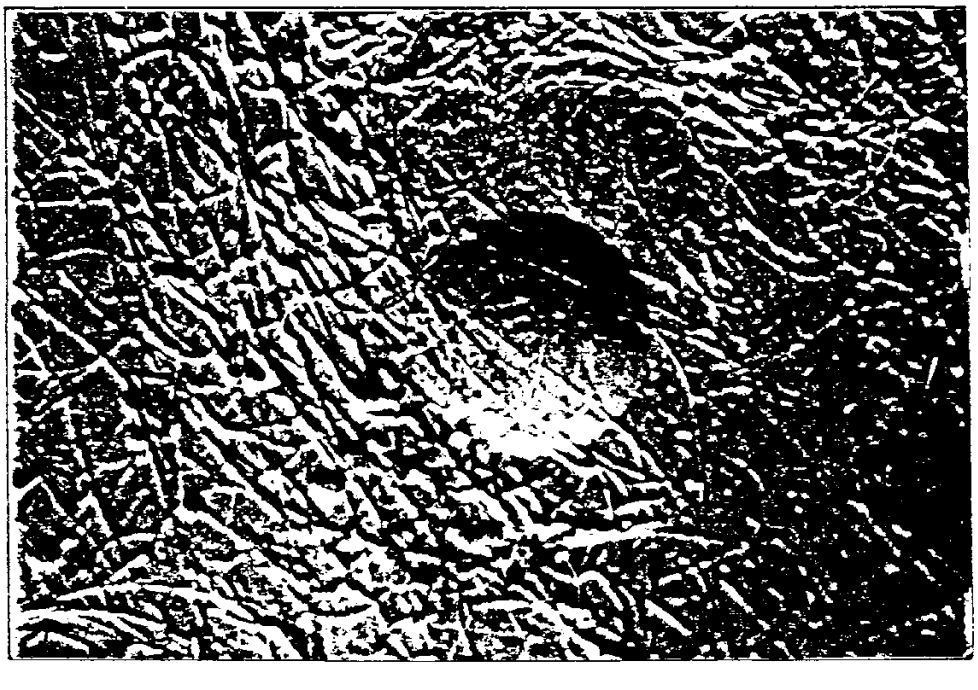
- **Impacto.**

Analizando los resultados obtenidos en el ensayo, en donde las placas de escayola sin aditivar se fragmentan con rotura frágil con alturas de caida libre de la bola de acero de 0,6 m, mientras que la placa aditivada soporta impactos de la bola de acero desde alturas superiores a los 6 m, a partir de los cuales se empiezan a observar fisuraciones en los bordes de los casquetes esféricos de las huellas, se puede afirmar que las adiciones realizadas contribuyen eficazmente absorbiendo las tensiones internas que se generan en los impactos.

El incremento de absorción de tensiones que proporciona las adiciones realizadas con respecto a la rotura por impacto de la placa de escayola hasta la aparición de fisuras en las placas aditivadas es del 900%.



Escayola sin adición



Escayola con adición

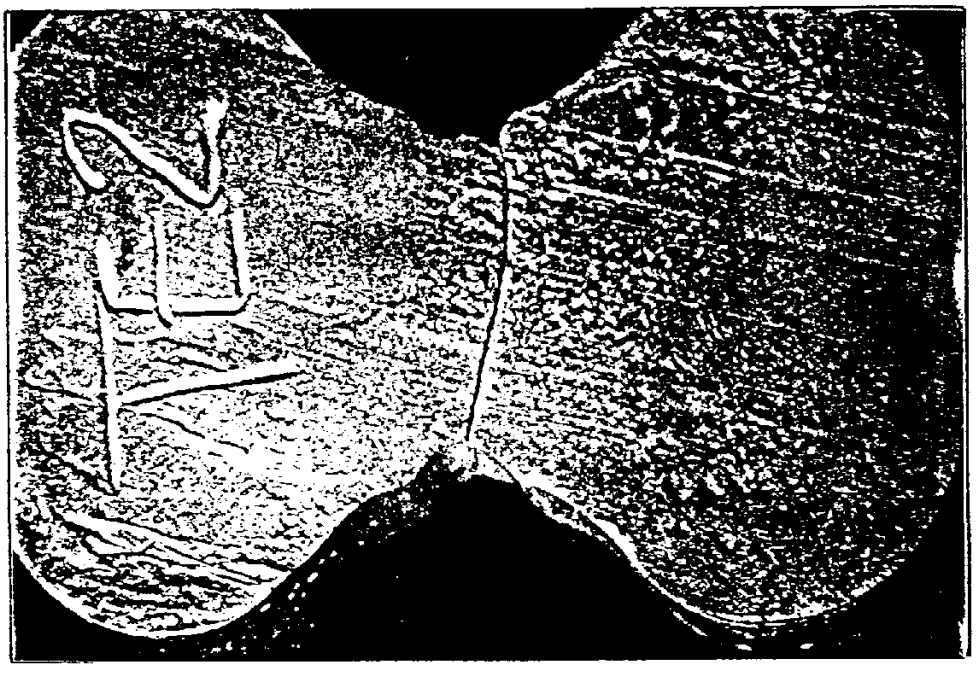
- **Tracción pura.**

Analizando comparativamente las gráficas de tensión-deformación de las probetas sin aditivar y aditivadas se observan los siguientes efectos:

a) La escayola sin aditivar presenta una gráfica rectilínea correspondiente al período elástico, tras el cual sucede la rotura frágil.

b) La escayola aditivada presenta una gráfica curvada contínua (en la que no se observa una zona rectilínea correspondiente al período elástico), con aparición de fisuraciones a partir del máximo valor de tensión conseguido, a partir del cual ante incrementos de la deformación aparecen nuevas fisuraciones y se produce una disminución de la resistencia.

El incremento de la absorción de tensiones, que proporciona las adiciones realizadas con respecto a los valores de rotura de la escayola sin aditivar, es del 1,03%.

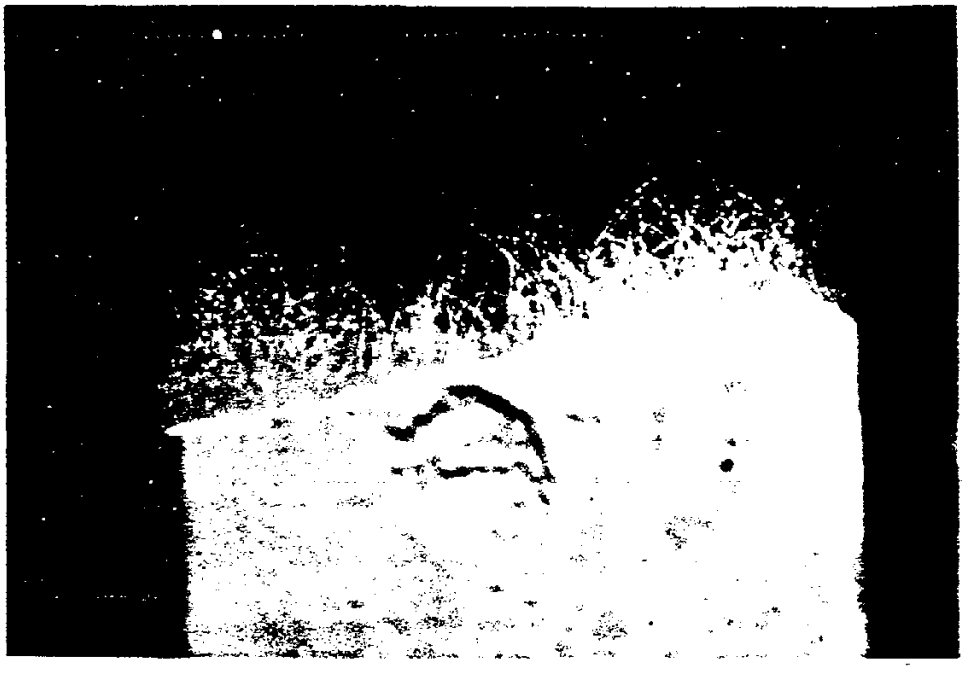


Escayola sin adición

Escayola con adición

9.6.0. Análisis de la adherencia entre matriz y agregados.

De los análisis efectuados de las líneas de fractura y de los resultados mecánicos obtenidos por la adición seleccionada con el porcentaje optimizado se deduce la existencia de una buena adherencia entre la matriz y las adiciones. La adherencia existente entre las fibras y los cristales de dihidrato responsable del comportamiento del material híbrido, puede comprobarse a simple vista, como se observa en la fotografía de la superficie fracturada de la probeta, en donde se aprecian cristales de dihidrato adheridos a las fibras.



De la proporción de cristalizaciones adheridas a las superficies de las fibras no puede deducirse la cuantía de la adherencia mútua, ya que las fibras que se observan en la superficie de rotura han tenido que desligarse del interior de la otra parte de la probeta, quedando finalmente adheridas aquellas cristalizaciones que estuvieran menos imbricadas con el resto de las cristalizaciones de la matriz ya que durante la rotura de la probeta se habrán soltado aquellas cristalizaciones adheridas a la superficie de la fibra que estuvieran perfectamente imbricadas con la estructura de la matriz.

Micrografías realizadas con microscopio electrónico de barrido

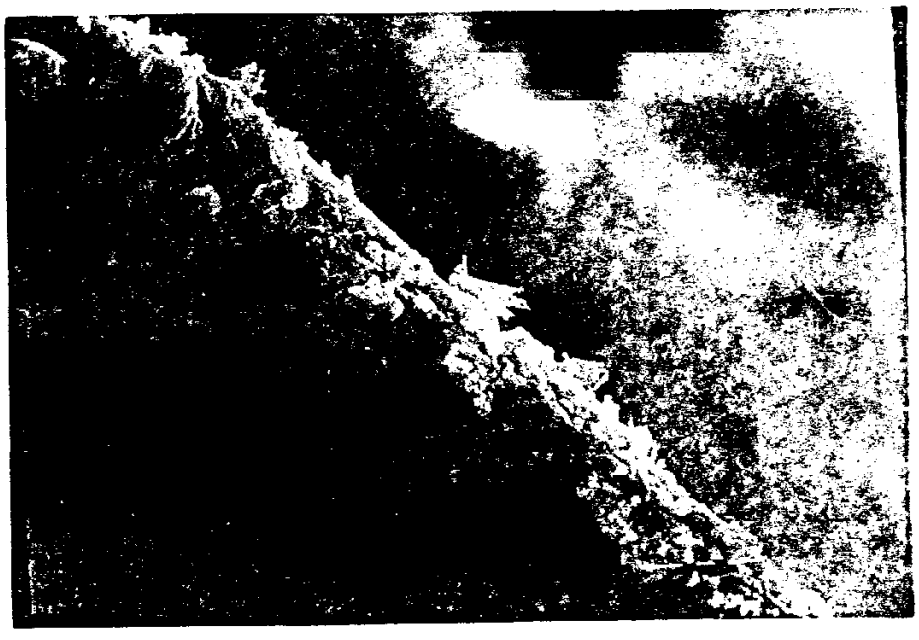
Fibra de polipropileno

Fibra de polipropileno con algún depósito cristalino en su superficie

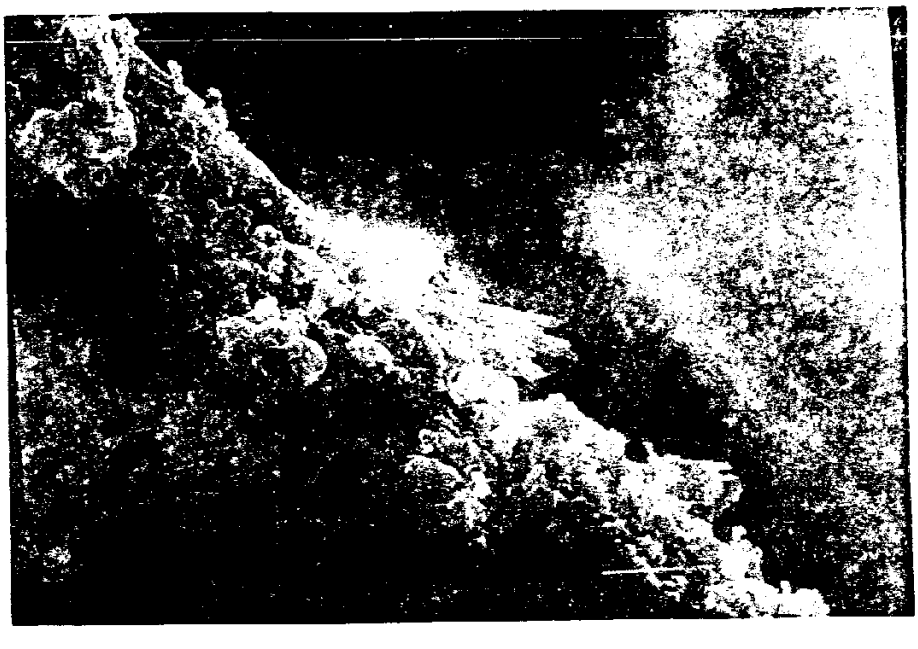
Detalle de la superficie de la fibra de polipropileno

Microestructura de la superficie de la escayola

Detalle de la fibra de polipropileno saliendo de la superficie de rotura de la escayola



Fibra de polipropileno con abundantes cristalizaciones de dihidrato en su superficie



Detalle de la fibra anterior donde se aprecia la generación en la superficie de la fibra de maclas cristalinas de dihidrato

9.7.0. Interpretación de resultados.

La adición de fibras cortadas de polipropileno, combinadas con dispersiones de melamina-formaldehido, produce un aumento de las propiedades mecánicas con respecto a las que posee la escayola sin adiciones.

9.7.1. Propiedades mecánicas.

Estos incrementos de resistencia son debidos a la acción sinergética de las fibras y la disposición sobre la matriz de escayola durante la absorción de tensiones.

El efecto sinergético es debido a la interacción producida por la dispersión, que actúa como agente de acoplamiento entre las cristalizaciones de dihidrado que se van generando en el fraguado y la superficie de las fibras. Además de este efecto combinado, cada una de las adiciones produce efectos que conllevan la aparición de aumentos de resistencia.

- Influencia de las fibras.

Las fibras, debido a la polaridad que el grupo metilo les confiere, (cuyo efecto puede ser observado en función de su resistencia dieléctrica, cargándose electrostáticamente en su superficie y atrayendo el polvo ambiental), actúan en su superficie como elementos generadores de núcleos de

E. T. S. A. de M.
BIBLIOTECA

dihidrato. La carga polar que las fibras presenten en superficie atrae a las moléculas de agua que previamente han disuelto el semihidrato añadido. Se produce unos arracimamientos iónicos en la superficie de las fibras, que provocan la formación de una solución sobresaturada, en la cual el dihidrato neutraliza su carga iónica, pierde solubilidad y precipita en un estado sólido que denominamos núcleos de dihidrato, quedando adheridos a la superficie de éstas.

- **Influencia de la dispersión.**

La dispersión debido a su naturaleza polimérica reduce la tensión superficial de la probeta, emigrando hacia el exterior y produciendo una concentración de las fases disueltas de semihidrato hacia el interior de ésta, en función del efecto Gibbs. Esta tendencia puede en parte contrarrestarse mediante una agitación mecánica, que produce un contacto íntimo con la disolución de dihidrato, desarrollándose el mismo proceso a menor escala. En estas pequeñas agrupaciones, la dispersión tenderá a concentrar las fases de semihidrato en el interior, sobresaturando la disolución y provocando la precipitación del dihidrato. La dispersión forma una película interfacial en estas cristalizaciones, produciendo un efecto fluidificante durante el proceso de fraguado, y una interrelación entre las interfases de las cristalizaciones de dihidrato una vez finalizado el fraguado.

- Influencia conjunta.

Al mezclar entre sí las fibras de polipropileno con la dispersión de melamina-formaldehido en la matriz de escayola, aparecen unos efectos combinados además de los producidos individualmente. Estos efectos combinados son los responsables del comportamiento sinergético del conjunto.

La dispersión modifica la relación que se establece entre la superficie de la fibra y los núcleos de dihidrato que sobre ella se desarrollan. Debido a la existencia de una macroestructura análoga en las fibras y en la dispersión, ambas presentan una tensión superficial semejante, por lo que no se establecen entre ellas relaciones de adherencia, quedando la dispersión relacionada únicamente con la disolución de semihidrato.

En los arracimamientos iónicos que se producen en la superficie de la fibra, la dispersión tenderá con centrar las fases de semihidrato hacia la superficie de la fibra, con la que no ha establecido relaciones de adherencia. Esta concentración sobresatura la disolución y provoca la precipitación del dihidrato que cristaliza sobre la superficie de la fibra. La disolución forma una película interfacial de las cristalizaciones, produciendo el endurecimiento de la fase acuosa intersticial, produciendo una conexión con el resto de las zonas cristalizadas próximas a las generadas en la superficie de la fibra.

En el caso de la adición combinada de fibra y dispersión, el efecto de conexión entre las zonas

cristlizadas se ve favorecido debido al efecto fluidificante que produce la dispersión, que permite reducir el agua de amasado, disminuyendo la porosidad y dando lugar a una estructura más compacta.

Las propiedades mecánicas del material híbrido son el resultado de: la complementariedad de funciones entre las fibras y la matriz; y de las relaciones que se establecen entre ellas, permitiendo un trabajo conjunto.

Las fibras absorben las tensiones de tracción que se generan en el interior del material, siempre que exista una buena adherencia entre ellas y la matriz.

La matriz absorbe las tensiones de compresión que se generan en el interior del material, siempre que exista un buen anclaje global de la estructura cristalina.

Las relaciones que se producen entre fibras y matriz son las que permiten la distribución de tensiones y la especialización de funciones. Estas relaciones producen la trabazón de la estructura cristalina del yeso con las fibras poliméricas según los mecanismos descritos que pueden resumirse en:

- Formación de una película interfacial en las cristalizaciones de yeso que posibilita: la aparición del entramado cristalino responsable de la adherencia mecánica entre cristales, y la aparición de una película interfacial en las cristalizaciones que favorece la adherencia específica entre cristales.

Esta película interfacial puede dar lugar a un mecanismo puente, por medio del cual algunas moléculas de polímero son incorporadas en más de un cristal pequeño.

- Formación de cristalizaciones en la superficie de las fibras por medio de enlaces secundarios (dipolares y Van der Waals), que se entremezclan con el resto del entramado cristalino del resto del material, con el que establecen una interrelación por medio de una película interfacial.

9.7.2. Dureza superficial.

Las adiciones producen un aumento de la dureza superficial debido a la concentración en la superficie de la dispersión de melamina-formaldehido. Esta concentración se produce por la acción del efecto Gibbs. Esta concentración superficial es la responsable del inicio de rotura frágil en los extremos de las líneas de rotura observadas en las probetas ensayadas. En combinación con la acción de los mecanismos de refuerzo del interior del material, logra absorber las tensiones generadas en el ensayo de impacto, donde se consiguen factores de variación de 10, equivalentes a un incremento del 900% de resistencia con respecto a la escayola sin aditivos.

9.7.3. Tiempos de fraguado.

Las adiciones modifican los tiempos de fraguado al incidir sobre los mecanismos de hidratación del semihidrato. En el ensayo correspondiente se obtiene una reducción del 50% en el inicio y en el final de fraguado.

	Comienzo de fraguado min.	final de fraguado min.
Escayola sin adición	11,5	24
Escayola con fibra de polipropileno 2% y dispersión de melamina-formaldehido 0,5%.	6	12

La presencia de fibras de polipropileno debido a la carga polar de su superficie produce aumentos en la velocidad de hidratación del semihidrato.

Sin embargo la presencia de la dispersión de melamina-formaldehido, debido a la película intersticial reduce el índice de difusión interno, incrementa el número de nucleaciones en las fases iniciales de la precipitación, y evita la creación de cristales de gran tamaño. Estos fenómenos traen como consecuencia un efecto fluidificante que reduce la velocidad de hidratación del semihidrato.

Como la cantidad de fibras (2%) es superior a la cantidad de dispersión (0,5%), prevalece el efecto de aquéllas, y se observa en la escayola aditivada un aumento de la velocidad de hidratación, con disminución de los tiempos de comienzo y fin de fraguado.

10. CONCLUSIONES.

10. CONCLUSIONES.

Del análisis e interpretación de resultados de los ensayos realizados con el material híbrido a base de yeso y adiciones poliméricas, que se ha obtenido a partir de un análisis teórico fundamentado en el comportamiento individual y conjunto de sus agregados, y del que posteriormente se ha comprobado de modo experimental su comportamiento mecánico, se pueden obtener las siguientes conclusiones:

1) Es posible modificar las características mecánicas del yeso mediante la adición de fibras y dispersiones poliméricas.

2) La adición de fibras poliméricas con porcentajes iguales o superiores al 2% de adición cambia la rotura frágil del material híbrido, dotándole de características dúctiles.

3) La adición combinada de dispersión de policondensado de melamina-formaldehido, de dispersión a base de acetato de polivinilo, o de dispersión copolímera a base de ésteres de ácido acrílico:

   a) con fibra acrílica no produce aumentos en los valores mecánicos en comparación, con los obtenidos sólo con la adición de ésta.

b) con fibra de poliéster produce minoraciones en los valores mecánicos en comparación con los obtenidos sólo con la adición de ésta.

c) con fibra de polipropileno produce una acción sinergética, con aumentos en los valores mecánicos en comparación con los obtenidos sólo con la adición de ésta.

4) La adición combinada de fibra de polipropileno con dispersión de policondensado de melamina-formaldehido se considera la más idónea para reforzar al yeso, así como especialmente indicada para absorber las tensiones internas generadas por choques o impactos producidos en su superficie.

5) Los incrementos de valores de resistencia mecánica que produce esta adición combinada están relacionados con la forma de la probeta, consiguiéndose menores incrementos con placas que con probetas prismáticas.

6) Existe una buena adherencia entre el yeso y las adiciones de fibra de polipropileno y dispersión de policondensado de melamina-formaldehido.

11. BIBLIOGRAFIA.

1.-ABRAHMS, I.M. y McBAIN, J.W.
J. Applied Phys. 15, (1.944), p. 607.
2.-ADAMS, M., BROWNE, R.D. et FRENCH, E.L.
Utilisatión des bétons de polymère.
Bâtiment international, (Jul. 1.975), p. 213-231.
3.-AHMED, M.
Polipropylene Fibres-science and technology.
Elsevier. Amsterdam (1.982).
4.-ALBON, N., y DUNNING, W.J.
Acta Crystallogr. 15, (1.962), p. 474.
5.-ALEMAN VEGA, J.
Ingeniería de la producción y transformación de polímeros.
C.S.I.C. Madrid (1.975).
6.-ALFREY, T.
Mechanical Behavior of High Polymers.
Interscience Publishers. New York (1.948).
7.-AMELINA,E.A.,KONTOROVICH,S.I.,SHCHUKIN,E.D.,R.A
Rev.Mat.Constr.Fr. nº 673, (1.971), p. 278-281.
8.-ANDERSON
Ciencia de los materiales.
Limusa (1.978).
9.-ARRANZ, F.
Poliacrilonitrilo.
Anuario Rev. Plas. Mod. (1.972).
10.-ARREDONDO, F.
Estudio de materiales.
Ed. IETCC, Madrid (1.959).
11.-ARREDONDO, F.
Estudio del yeso; modificadores de la velocidad de fraguado.
Informes de la construcción (I.T.C.C.), nº43 (1.952), p. 1-4.
12.-ARROYO RAMOS, M. y ACOSTA LUQUE, J.L.
Minerales y vidrios como cargas y refuerzos de los materiales plásticos.
Revista de Plásticos Modernos, nº 295, (1.981).
13.-ATEDY
Yeso especial para proyectar. Tomos I y II.
Trabajo encargado a ATEDY por la Don. Gral. de Arq. y Tec. de la Edif. del Mº de la Viv. (sin fecha)
14.-ATKINSON, G.
The Chemical Phisycs of Ionic Solutions.
Wiley, New York, (1.966).
15.-AUBERT, J.H.; KRAYNIK, A.M. y RAND, P.B.
Espumas acuosas.
Investigacion y ciencia nº118, (Julio 1.986), p. 38-47.
16.-BAER, E.
Nuevos Polimeros.
Investigación y ciencia nº123; (Dic. 1.986), p. 146-158.
17.-BAIJAL, M.D.
Plastics polymers science and technology.
John wiley and Sons. New York (1.982).
18.-BAMFORD, C.H. y EASTMOND, G.C.
Acrylonitrile Polymers (Encyclop. of Pol. Sc. and Techn. Ed. H.F. Mark, N.G. Gaylord y N.M. Bikales).
Interscience Publishers. New York (1.964).

19.-BAOUMANN, A.
Contribution à l'etude du platre dit «anhydride soluble».
Revue des Matériaux de Construction, (1.948).
20.-BAOUMANN, A.
Etude thermodynamique du plâtre.
Revue des Matériaux de Construction, (1.947).
21.-BAOUMANN, A.
Le plâtre de Paris, ses précurseurs, ses fabricatión, ses propietés.
Revue des Matériaux de Construction, (1.947).
22.-BAOUMAN, A.
Mécanisme de retardament et de l'accélération de la prise du plâtre.
Revue des Materiaux de Construction, nº 479, p. 42-51.
23.-BARDIN BALOSSO, FRANÇOISE
Le Plâtre: Sa production et son utilisation dans l'habitat.
Ministère de la Coopération et du Développement. Paris (1.982).
24.-BARRON, H.
Plásticos Modernos.
G.G. Barcelona (1.952).
25.-BAYER, E.M.
Quimica de las materias plásticas.
Hoegli. Barcelona (1.965).
26.-BAYKOV, M.
Compt. rend., 182, (1.926), p. 129.
27.-BENNETT, H.
Practical Emulsions.
Chemical Publ. New York (1.947).
28.-BILLMEYER, FRED W., Jr.
Ciencia de los Polimeros.
Ed. Reverté, S.A.
29.-BILLMEYER, F.W.
Textbook of polymer Science.
Wiley-Interscience, New York (1.971).
30.-BILLMEYER, F.W.
Ciencia de los polimeros.
Reverté. Barcelona (1.978).
31.-BOUTIN, LUCIEN VICTOR
Manuel de Technologie du Plâtriere.
J.B. Baillière & Fils. Paris (1.967).
32.-BROWN, N.J.
Fabric Reinforced Plastics.
Ed. Cleaver. London (1.947).
33.-BROWN, R.P.
Handbook of plastics test methods.
Gadwin Ltd. London (1.981).
34.-BRYDSON, J.A.
Plastics Materials.
Newness-Butterwoths, London (1.975), (1.982).
35.-BUECHE, F.
Physical Properties of Polymers.
Interscience publishers.
36.-BUILDER, A.
Travall du plâtre.
Ch. Bèranger. Paris (1.956).

37.-BURGH HOHN, JOHN; et al.
El yeso en España y sus aplicaciones en la construcción.
Ed. ASIC-El Castillo. Madrid (1.976).
38.-BURTON, W.K., CABRERA, N. y FRANK, F.C.
Phil Trans. A, (1.951), p. 243-299.
39.-BUSSE, W.F., LAMBERT, J.M. and VEDERY, R.B.
High polimers physics.
New York (1.948), p. 294.
40.-CABRERA, N. y VERMYLYEA, D.A.
Growth and Perfection of Crystals.
Wyley, New York, (1.958), p. 393-408.
41.-CALDELUS CAMERA, M.
Plásticos Sintéticos.
Ed. G.G. Barcelona (1.953).
42.-CAMUÑAS Y PAREDES
Materiales de Construcción.
Ed. Guadiana de Publicaciones S.A. Madrid (1.955).
43.-CARDON, A.H. y VERCHERY, G.
Mechanical y Characterisation of Load Bearing Fibre Composite Laminates.
Elsevir Applied Sc. publ. England (1.985).
44.-CAVAZZI, A.
Kolloid-Z., 12, (1.913), p. 196.
45.-CIRCULO DE LECTORES S.A.
Estudio de la polaridad de las familias de polimeros y estado de utilización.
Enciclopedia Lexis 22/Vox. Valencia.
46.-COBBS, W.H. y BURTON, R.L.
Crystallization of Polyethylene Terephthalate.
J. Polymer Sci. 10, (1.953), p. 275-289.
47.-COLAGNE y MANLAY,S
Recherches sur le plâtre.
Revue des Matériaux de Construction (1.946).
48.-COLUSSI, I. y LONGO, V.
Applications of gypsum in builuing.
Il cemento 4 - (1.973).
49.-COLUSSI, I. y LONGO, V.
Rassegna sugli impieghi del gesso nel sectore delle contruzioni.
Studio sui Gessi della Regione. Friuli-Venezia Giulia (1.973).
50.-COOK, JOHN P.
Selladores adhesivos para construcción.
Limusa (1.978).
51.-COSTES, JEAN
Manual del Yesero y del Estucador.
Ed. Técnicos Asociados. Barcelona (1.966).
52.-COSTES, JEAN
Le Plâtre. Traditionel et moderne.
Ed. Eyrolles. Paris (1.978).
53.-COWIE, J.M.G.
Polymers: Chemistry e physics of modern materials.
Intertex Books, (1.973).
54.-CUNNINGHAM, W.A., DUNHAM, R.M. y ANTES, L.L.
Hydration of Gypsum Plaster.
Industrial and Engineering Chemistry, vol. 44, nº10, p. 2.402-2.408

55.-CHASSEVENT, L.
Etude des Variations de Volume des plâtres, pendand et aprés leur prise.
Revue des Matériaux. (1.949).
56.-DABUISSON, A.
Etudes sur les plâtres.
Revue des Matériaux. (1.950).
57.-DALIGAND, DANIEL y GIBARU, J.
Le Plâtre. Encyclopédie du Batiment.
Ed. Eyrolles. Paris. (Trad. Esp. E.T.A. Barcelona (1.979). Vol. II "Técnicas de Construcción").
58.-DAVIS, C.W. y SHAPIRO. P
Acrylic Fibers (Encyclop. of Pol. Sc. and Techn. Ed. H.F. Mark, N.G. Gaylord y N.M. Bikales).
Interscience Publishers. New York (1.964).
59.-DE BRUYNE and HOUWINK
Adhesión y adhesivos.
Ed. Publishing Company, (1.951), p. 237-239.
60.-DE VEKEY, R.C. y MAJUMDAR, A.J.
Durability of cement paster modified of polymer dispersions.
Mat. et Const. Vol. nº 46, p. 315-321.
61.-DELAY, T.M.
Rheometers for molten plastics. A practical guide to testing and property measurement.
Reinhold Comp. (1.982).
62.-DELORME, J.
Clasificación de los ensayos de envejecimiento: Ensayos de resistencia de polimeros en inmersión marina.
Revista de Plásticos Modernos, nº 289, (1.980), p. 98-100.
63.-DENTRY, L.
Le comportement au feu des materiaux plastiques.
Tribune de cebedeau Bel. (1.965).
64.-DERYAGIN,B.V., SOVOKIN,S.M. y PORETSKAYO,A.P.
Physico-chemical fundamentals of the printing process.
Moscow (1.937).
65.-DESCH, C.H.
Trans. Eng. Ceram. Soc. 18, (1.918), p. 15.
66.-DIETZ
Plásticos para arquitectos y constructores.
Reverté (1.973).
67.-DOHERTY, R.D.
Co-polymer impregnation of gypsum casts.
Journal of Materials Science, (1.979).
68.-DRIVER, W.E.
Quimica y tecnología de los plásticos.
Ed. Continental. Méjico (1.982).
69.-DUBOIS, T.
Plastics.
Reinhold Pub. Co. (1.974).
70.-DUEDAL, D. y GEIER, M.
Guide practique des Materiaux Composites en resines thermodurcissables reinforcees.
Tec y Doc (1.983).
71.-EDGAR, O.B. y HILL, R.
J. Polymer. Sci. 8 (1.952), p. 1.
72.-EGLI, P.H. y JOHNSON, L.R.
The Art and Science of Growing Crystals.
J.J. Gilman, Ed., Wyley, New York (1.963), p. 194.

73.-FERNANDEZ PARIS, J.M. y CARRASCOSA LOPEZ, F.
"Yeso Duro" su obtención, control y cualidades.
Ion, Revista Española de Quimica Aplicada, (1.965).
74.-FLECK, RONALD
Plásticos: su estudio cientifico y tecnológico.
Ed. Gustavo Gili S.A. Barcelona.
75.-FLINN y TROJAN
Materiales de ingenieria y sus propiedades.
McGraw-Hill (1.979).
76.-FOUCAULT, MARCEL
Le Plâtre. En "Techniques de L'Ingenieur".
Paris (1.976).
77.-FRED W. BILLMEYER, Jr.
Ciencia de los polimeros.
Editorial Reverté S.A.
78.-GARDNER, H.A. and SWARD, G.G
Physical and chemical examination of paints, varnishes, lacquers and colors.
Washington, D.c. (1.946).
79.-GASPAR TEBAR, D. y Varios Autores
Aditivos para hormigones, morteros y pastas.
IX Curso de estudios mayores de la construcción. Instituto Eduardo Torroja. Madrid (1.982).
80.-GLAVERBEL
Microesferas de vidrio para materias plásticas.
Bulletin Technique, Rev. (1.985).
81.-GORDON, M.
High polymers.
Iliffe. London (1.963).
82.-GORTON, A.T.D. y PENDLE, T.D.
Yesos flexibles.
Rev. Mat. Mod. nº 114, (Dic. 1.965), p. 975-978.
83.-GRIEHL, W. y HOFFMEISTER, R.
Über die Fasereigenschaften modifizierter Polyester.
Fasertorsch u Textiltechn 6, (1.954), p. 504-508; 554-562.
84.-GRÜN, W. y FEDER, A.
Haftung von Gipsputz an Beton.
Stuckgewerbe (1.973). 11, p. 6-9.
85.-GUNN, D.J.
Mechanism for the Formation and Growth of Ionic Precipitates from Aqueons Solution.
(1.976), p. 133-140.
86.-GURNEY, R.W.
Ionic. processes in solution.
McGraw-Hill, New York (1.953).
87.-GUY
Fundamentos de ciencia de materiales.
McGraw Hill (1.980).
88.-GUZMAN, J. y DE ABAJO, J.
Polimeros de condensación.
Anuario de la Revista de Plásticos Modernos (1.985).
89.-HAAGEN, H.
Industriell Konfektionerte einlagige Putze unol Gipsbaustoffe als Anstrichgrund.
Faube und Lack 82 (1.976). p. 46-47.

90.-HADDON, C.L.
Trans. Faraday Soc. 20, (1.924), p. 337.
91.-HAERTER, M. y LUCAS, G.
Untersuchungen der Grenzflächenvorgänge zwischen Gipsputzen und verschiedenen Unt. mil dem Rasterelektr.
Tonind,-Ztg. 98 (1.974), p. 13-15.
92.-HAHNE, H. y SCHUSTER, U.
Fibrocemento sin Abesto. Fibras acrílicas de alta densidad.
Revista Hoechst High Chem. Magazine 1 (1.986), p. 62-70.
93.-HALESA
Fibras propilénicas fibriladas para refuerzo del hormigón.
(Catálogo de información técnica).
94.-HELLER, W.
Pure Appl. Chem. 12, (1.966), p. 249.
95.-HENCH, LARRY y ULRICH, DONALD R.
Ultrastructure processing of ceramics, glasses and composites.
Wiley interscience (1.984).
96.-HESS, M.
Defectos en las capas de pinturas.
Ed. Blume.
97.-HOECHST
Catálogo Hoechst.
Hostalen P.P.
98.-HONK, J.F.G.
Thermosetting plastics, practical moulding thecnology.
Godwin Ltd. and The Plastics and Ruder Inst., (1.981).
99.-HOUWINK, R.
Technology of sinthetic polymers: in its chemical and physical aspects.
Elsevier. New York (1.974).
100.-HOUWINK, R. y SALOMON, G.
Adherencia y adhesivos, volumen I y II.
Ed. Urmo T3.
101.-HOWARD, A.J.
New Inorganic Materials.
Imperial Chemical Industries PLC. New Science Group. (Mayo 1.985), p. 1-8.
102.-HOWE, R.T.
Polyvinyl acetate and potland cement mortars. Trabajo técnico nº2. 358.
Journal of the construction division, Proccedings of the american society of civil engineers(1.960).
103.-HURBANIC, M. RUF, H. STRUTZ, J. und SHOLZE, H.
Leichte Gipsbaustoffe mit festigkeitserhöhenden Zusätzen.
Ed. Bauverlag, Wiesbaden (1.984).
104.-HURBANIC, M., SCHICHT, R. y SCHOLZE, H.
Hafftung von Gips.
Tonind.-Ztg. 101 (1.977), p. 232-235.
105.-JEANDOT, G. y MURAT, M.
Rev. Mar. Constr., Fr. nº 674-675, (1.971), p. 313-317.
106.-KANTZ, H. and MILEWSKI, J. VAN WOSTAND
Handbook of fillers and reinforcements for plastics.
Reinhold. New York (1.978).
107.-KARNI, JOSEPH
Fibre Reinforced Polimer-Modified Plaster of Paris.
Building Reseaich Station. Techuion-Israel, Institute of Technology. Haifa (1.977).

108.-KEATING, J.Z., GROVET, S.A., REA, J. y COOK, T.
Cargas.
Revista de Plásticos Modernos, nº 296, (1.981).
109.-KELLEHER, P.G. y BOYLE, D.J.
Medida de la permeabilidad al vapor de agua de compuestos plásticos moldeados.
Revista de Plásticos Modernos, nº 289, (1.980), p. 82-89.
110.-KELLY, A.
Strong Solids.
Oxford University Press. Londres (1.966).
111.-KEYSER, C.A.
Ciencia de los materiales para ingeniería.
(Limusa). Ind. Prentile Hall (1.964).
112.-KNAB, L.I.
Polyester concrete, load reste variance, Highway research record..
Highway research record, nº 287. H.R. B (1.969).
113.-KOLB, H.J. y IZARD, E.F.
Dilatometric Studies of High Polymers.
J. appl. Phys. 20, (1.949), p. 564-571.
114.-KRENCHEL, H.
Fibre reinforcement.
AKademisK Forlag, Copenhagen (1.964), p. 159.
115.-KUNTZE, R.A.
Retardation of the Crystallization of Calcium Sulphate Dihydrate.
Nature, nº5.047, vol.211, (1.966), p. 406-407.
116.-LA MER, V.K. y HEALY, T.W.
Rev. Pure Appl. Chem. 13, (1.963), p. 112.
117.-LADE, KARL y WINKLER, ADOLF
Yesería y Estuco. Revoques, Enlucidos, Molduras y Rabitz.
Gustavo Gili. Barcelona (1.960).
118.-LAGUNA CASTELLANOS, O.
Poliésteres insaturados reforzados y su aplicación en la industria de la construcción.
Conferencia pronunciada en la E.T.S.A.S. (Mayo 1.969).
119.-LAVERY, J.H. and SOUTHWELL, R.V.
New methods of testing by impact.
London (1.934).
120.-LAWRENCE, J.R.
Polyester resins.
Reinhold. New York (1.960).
121.-LE CHATELIER, H.L.
Recherches expérimentales sur la constitution des mortiers hydrauliques.
Dunod, Paris (1.887).
122.-LE CHATELIER, H.L.
Compt. rend. 96, 1.668 (1.893); Ann. mines, 1.887.
123.-LEA, F.M.
El uso del yeso en la construcción. Monografía nº 82.
IETCC/CSIC. Madrid (1.949).
124.-LEDESMA RODRIGUEZ, L.
Control de calidad de productos plásticos.
Seminario organizado por el A.E.C.C., IRANOR, (1.985).
125.-LEVINE, IRA N.
Fisico-Quimica.
Mac Graw-Hill S.A.-Mexico.

126.-LOPEZ MADRUGA, E. y MILLAN, J.
Polimetacrilato de metilo.
Anuario Rev. Plas. Mod. (1.972).
127.-LUDEWIG, H.
Poliester fibres.
Chemistry and Technology, (1.971).
128.-LUDWING, U. y KUHMANN, J.
Untersuchungen an Putzgipsen.
Tonind.-Ztg, 98, (1.974), p. 1-4 .
129.-LUDWING, U. y SINGH, N.B.
Effect of temperature and methyl cellulose on the hydration of gypsum β-hemihydrate.
Il Cemento 76 (1.979), N.1, p. 39-50.
130.-LUSKIN, L.S. y MYERS, R.J.
Acrylic Ester Polymers (Encyclop. of Pol. Sc. and Tecn. Ed. H, F. Mark, N.G. Gaylord y N.M. Bikales).
Interscience Publishers. New York (1.964).
131.-MADRUGA, E.L. y SAN ROMAN, J.
Polimeros acrilicos. Anuario revista plásticos modernos.
Ed. C.S.I.C. Madrid (1.976), p. 226-239.
132.-MARK, H.
Einflub der Molekularstruktur auf. Eigenschaften. Ind. Engng.
Chem. 44, (1.952), p. 2.110-2.124.
133.-MARTINEZ DE LAS MARIAS, P.
Quimica y Fisica de los altos Polimeros y Materiales Plásticos.
Ed. Alhambra.
134.-MARTINEZ JIMENEZ, ALICIA
Los Tensoactivos en el campo del yeso.
Hoecht Ibérica S.A.
135.-MEARES, PATRICK
Polymers. Structure and bulk properties.
Reinhold Publishing Corporation. New York.
136.-MELTZER, Y.L.
Water-Soluble Resins and Polymers, Technology and Apolications.
Chemical Tchnology Review nº 57. Noyes Data corporation. London (1.976).
137.-MILLAN, J.
Polímeros derivados del ácido acrílico y metacrilico.
Anuario Rev. Plas. Mod. (1.972)
138.-MILLER, M.L.
The Structure of Polymers.
D. Van Nostrand Company LTD.-Londres.
139.-MILLER, M.L.
Acrylic Acid Polymers (Encyclop. of Pol. Sc. and Techn. Ed. H. F Mark, N.G. Gaylord y N.M. Bikales).
Interscience Publishers. New York (1.964).
140.-MITCHELL, JOHN y BILLMERYER, FRED W.
Analysis and Fractionation of Polymers.
Hanser. Munich (1.987).
141.-MOILLET, J.L., COLLIE, B. y BLACK, W.
Surface Activity.
Spon, London (1.961).
142.-MONTEFIBRE
Fibras acrílicas.
Catálogo editado por Montefibre.

143.-MOORE, G.R. y KLINE, D.E.
Properties and procesing of polimers for engineers.
Society of plastics Engineers Inc. (1.984).
144.-MORI, T. and EARNSHAW, R.
Improvement in the impact resistance of cast Gymsum by polyester impregnation.
University of Sydney. Facult. Dentistry (Ag. 1.980).
145.-MURAT PUSZTASZERI y GREMION
Correlacción entre textura cristalina y propiedades mecánicas de los yesos endurecidos.
Rilem, Budapest (1.974), p. 377-385.
146.-MURAT, M.
Quelques donnes utiles concernant les sulfates de calcium (Coloquio Internacional Rilem, Francia, My.77).
Ed. por Murat y Foucault. Insa. Lyon (1.977). p. 535-546.
147.-MURAT, M. y FOUCALT
Calcium Sulfates and Derived Materials R.I.L.E.M. international aymporia.
Congreso (informe sobre yeso con fibras) (1.977).
148.-Mc CARTNEY, E.R. y ALEXANDER, A.E.
J. Colloid Sci. 13, (1.958), p. 383.
149.-NANCOLLAS, G.H. y PURDIE, N.
Trans. Faraday Soc. 59, (1.963), p. 735.
150.-NESTLER, C.H.
J. Collid Interface Sci. 26, (1.958), p. 10.
151.-NEVILLE, H.A.
J. Phys. Chem. 30, (1.926), p. 1.037.
152.-NOVO DE MIGUEL, LUCIANO
El yeso en la construcción.
Ed. Ceac. Barcelona (1.958).
153.-OGORKIEWICCZ
Termoplásticos; Influencia de los Procesos de Transformación en sus propiedades..
Trad. Laguna, O. I.P. Caucho.
154.-OHNEMüLLER, W.
Reaktionen zwisehen Steinolerfläche und Mörtel.
Forschungsbericht Nr.1.759 des Landes Nordrheinwestfaler,Westdeutscher Verlag,Köln und Oplad.(1.966)
155.-OLABSI, O. y ROBESON, L.M.
Polymer - Polymer miscibility.
Academia Press, (1.979).
156.-OLEESKY y MOHR, G.
Tratado de plásticos reforzados.
Instituto de Plásticos y Caucho, (1.975).
157.-ORúS ASSó, FELIX
Materiales de construcción.
Ed. Dossat. Madrid (1.964).
158.-OSTWALD, W. y WOTSKI, P.
Kollid-Z. 27, (1.920), p. 78.
159.-PACKTER, A.
J. Phys. Chem. 59, ibid. 52, (1.955), p. 1.140.
160.-PAPADAKIS, M. y VENUAT, M.
Industrie de la chaux, du ciment et du plâtre.
Ed. Dunod. Paris (1.970).
161.-PATRONATO JUAN DE LA CIERVA
Los Plásticos en la construcción.
Opto. de plásticos (1.966).

162.-PAULING
Química general.
Aguilar (1.958).
163.-PEARCE-WHITTAKER, J.
Co-polymer impregnation of gypsum casts.
Journal of material science, 14, (1.979), p. 2.274-2.276.
164.-PETRI, ROLF and TEICHMAN
Aditivos para morteros de cemento y hormigón a base de materias plásticas.
Traducción artículo (Betonwerk+Fertigteil-Technik). Bau Verlag, Wiesbaden, Berlin, (1.973).
165.-POCH, W.
Gipse zum Verputzen von Beton.
Tonind.-Ztg 98 (1.974), p. 7-10.
166.-POCH, W.
Gipsbaustoffe als Untergrund für die Beschichtungen.
Tonind.-Ztg. 99 (1.975), p. 188-189.
167.-QUARMBY, ARTHUR
Materiales plásticos y arquitectura experimental.
Gustavo Gili S.A. Barcelona, (1.974).
168.-RAMOS CARPIO, M.A.
Tecnología de los Polímeros industriales.
E.T.S.I.I. Madrid, (1.981).
169.-REINHOLD
Plastics in Building.
Ed. Skeist.
170.-ROBINSON, T.S.
Fiber forhing polymers.
Noyes Data. New Jersey, (1.980).
171.-ROCKEY,K.C.,COX,H.L.,HUGHES,B.P.,B.R.E. y L.H.
Fibre reinforced Materials: design of engineering applications.
Procedings of the conference held in London 23-24. (March 1.977).
172.-RODRIGUEZ, F.
Principes of polymer systems.
McGraw-Hill, (1.971).
173.-ROHLAND, P.
Z. anorg. Chem. 89, (1.914), p. 352.
174.-ROMUALDI, J.P. y BATSON, G.B.
Mechanics of crack arrest in concrete. J.Engin Mech. Proc. Amer Soc. of Civil.
Engin, Vol. 89, EM 3, (June 1.963), p. 147-168.
175.-ROMUALDI, J.P. y MANDELL, J.A.
Tensile strength of concrete affected by uniform. distrib. closely spaced short lengths of wire reinforc.
J.Amer, Cons. Inst., Proc. Vol.61 nº6, (June 1964), p. 657-671.
176.-RYBNIKAR, F.
Sympoziu makromol chem. Praga (1.957).
177.-SAECHTLING, H.
Los plásticos en la construcción.
Colección "Tecnología de plásticos", G.G. (1.978).
178.-SAN ROMAN, J., LOPEZ MADRUGA, E. y FONTAN, J.
Rev. Plás. Mod. 30 (233), (1.975), p. 674.
179.-SANDERS, B.A.
Short fiber reinforced composite materials.
ASTM, (1.982).

180.-SCOTT BADER of CO.
Poliester Handbook.
Ltd. (1.961).
181.-SCHEICHENBAUER, M.
Le materie plastiche in edilizia.
Poliplasti, (Marzo 1.981), p. 66-68.
182.-SCHOLZE, H.
Comportamiento de mojado y adherencia del yeso.
Eurogypsum Würzburg (1.982).
183.-SCHOLZE, H.
La estructura de la zona de contacto y de la superficie en los enlucidos de yeso.
Eurogypsum Munich (1.980).
184.-SCHWABE, A.
Los materiales plásticos en la construcción.
Plásticos Universales 1, (1.983), p. 29-34.
185.-SCHWARTZ
Composite materials Handbook.
McGraw Hill (1.984).
186.-SIMONDS, H.R., WEITH, A.J. y BIGELOW, M.H.
Tratado general de plásticos.
Ed. Reverté S.A. (1.953).
187.-SIMON, B. y BIENFAIT, M.
Acta Cryst. vol. 19, (1.965), p. 750-756.
188.-SLIWINSKI, J.
Influence du rapport E/C sur les prop. phys. et de res. des pâtes de ciment impr. por le méthac. de meth.
Mat. et Const. Vol. 13 nº73, (1.980), p. 47-50.
189.-SMITH DEREK, A.
Adition Polymer: formation and characterization.
Butterworths. London (1.978).
190.-SMITH, B.R. y ALEXANDER, A.E.
The Effect of Additives on the Proces of Crystallization, II". Further studies on Calcium Sulphate.
Journal of Colloid and Interface Science. vol.34, (Sep.1.976), p. 81-90.
191.-SONTAG, L.A. and BORRO, E.F.
Modern Plastics, 23, (1.946), p. 200.
192.-STROEVEN, P.
The Analysis of Fibre distribution in Fibre Reinforced Cementitious Materials.
Micro 76, Londres (1.976).
193.-STROEVEN, P.
Morphometry of fibre reinforced cementitivus materials.
Materiaux et constructions, Vol. 11 nº61, p. 31-37.
194.-SWAMY, R.N.
Testing and Test Metods of Fibre Cement Composites.
The construccion press, (1.978).
195.-SWAMY, R.N.
Fibre reinforcement of cement and concrete.
Materiaux et const. Vol. 8 nº45, p. 235-254.
196.-SYNDICAT NATIONAL DEL INDUSTRIES DU PLÄTRE
Le plâtre. Physico-Chimie. Fabrications. Emplois.
Ed. Eyrolles. Paris (1.982).
197.-SZYMANSK, J.M.
Das Problem der Härtemessung an Gipsabgüssen.
Tonind.-Ztg. 103, (1.979), p. 207-210.

198.-TAVASCI, B.
Chimica e industria (Milan), 24, (1.942), p. 309.
199.-TONUS, S.
Geotextiles.
Revista de Obras Públicas, (Nov. 1.984), p. 873-879.
200.-TRAUBE, J.
Kolloid-Z. 25, (1.919), p. 62.
201.-TSAI, S.W. y HAHN, H.T.
Introduction to composite materials.
Tec. Publ. Comp. Westport. Connecticut (1.980).
202.-TSU-WEI CHOU; McCULLOUGH, R.L. y BYRON PIPES, R.
Materiales híbridos.
Investigación y ciencia nº123, (Dic. 1.986), p. 158-169.
203.-TURCO, T.
Il gesso. Lavorazione, impieghi.
Ed. Ulrico Hoepli. Milano (1.961). 538 p. (IETCC).
204.-TYLER, H.A.
Science and materials.
Berkshire, England (1.978).
205.-VENUAT, M.
Ciment et Béton renforcés de fibres.
Revue des materiaux de construction, (1.976), nº698, p. 52-56.
206.-VILLANUEVA DOMINGUEZ, L.
Influencia de los movimientos diferenciales y del módulo de elasticidad en el comportamiento del yeso.
Artículos técnicos, (1.985), p. 2-8.
207.-VILLANUEVA DOMINGUEZ, L.
Documentación técnica de las propiedades del yeso en la construcción.
Congreso EUROGYPSUM, Cannes (1.975). El yeso B. I. Ince/Atedy'75(19,ST)5-34.
208.-VILLANUEVA DOMINGUEZ, L.
Estudio básico sobre el yeso.
(1.979).
209.-VILLANUEVA DOMINGUEZ, L.
Anuario del Yeso 1.986.
Ed. A.T.E.D.Y., Madrid (1.986).
210.-VOLKART, KARLKEINZ
Gips-Wörterbuch.
Bauverlag GmBH. Berlin (1.971).
211.-WAKE, WILLIAM C.
Adhesion and the formulation of adhesives.
Ed. Applied Science Publishers, p. 186-190.
212.-WARSON, H.
The applications of synthetic resin emulsions.
Ed. Ernes Benn Limited. London (1.972), p. 215-221.
213.-WEISER, H.B. y MORELAND, F.B.
J. Phys. Chem. 36, (1.932), p. 1.
214.-WEISER, H.B., MILLIGAN, W.O. y EKHOLM, W.C.
J. Am. Chem. Soc. 58, (1.936), p. 1.261.
215.-WEISS, J. y BORD, C.
Les materiaux composites.
L'usine. Paris (1.983).
216.-WESTWATER, J.W.
Flexure testing of plastic materials.
A.S.T.M. Preprint 87 (1.949).

217.-WHESTONE, J.
Trans. Faraday Soc. 51, (1.955), p. 973.
218.-WHITNEY, J.M., DANIEL, I.M. y BYRON PIPES, R.
Experimental mechanics of fiber reinforced composited materials.
S.E.S.A. (1.982).
219.-WILLIAMS, F.V. y RUEHRWEIN, R.A.
J. Amer. Chem. Soc. 79, (1.957), p. 4.898.
220.-YOUNG, R.J.
Introduction to polymers.
Chapaman and Hall. London (1.981).