

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



UNNSA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

**“OBTENCIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CELULAR PARA
SU APLICACIÓN EN EL ANÁLISIS SÍSMICO DE EDIFICIOS DE MUROS DE
DUCTILIDAD LIMITADA”**

TESIS PRESENTADA POR LOS BACHILLERES:

**ERICK ANGEL HUAMAN FLORES
JORGE SERGIO SANCHEZ MEDINA**

**PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL**

ASESOR:

ING. JORGE ALBERTO IRURI PEREZ

**AREQUIPA - PERÚ
2020**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



Título de la tesis:

“OBTENCIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CELULAR PARA SU
APLICACIÓN EN EL ANÁLISIS SÍSMICO DE EDIFICIOS DE MUROS DE DUCTILIDAD
LIMITADA”

Nombre de los Tesisistas:

Bach. Erick Angel Huaman Flores
Bach. Jorge Sergio Sanchez Medina

Aprobado por:

Miembros del Jurado de Tesis

Nombres y Apellidos

Firma

Mg. Guillermo Percy Herrera Alarcon

Ing. Jorge Alberto Iruri Perez

Ing. Fidel Daniel Copa Pineda

Mg. John Percy Aragon Brousset

**AREQUIPA - PERÚ
2020**

DEDICATORIA

A mis padres, Jorge y Lourdes, por su apoyo y enseñanzas durante esta etapa, a mi hermana Renata por su ayuda y entusiasmo. A mis amigos y compañeros de la universidad por su apoyo a lo largo de este camino. Muchas gracias.

Jorge Sergio Sanchez Medina

Dedico esta tesis especialmente a mis padres, Mario y Gregoria, por haberme forjado como la persona que soy actualmente; siendo responsables de muchos de mis logros incluyendo este.

Al resto de mi familia por su apoyo y motivación constante para la realización de mis metas.

Erick Angel Huaman Flores

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecemos a nuestra querida Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, y a la Facultad de Ingeniería Civil por sembrar en nosotros la semilla del conocimiento orientado a los temas de nuestra carrera.

A los catedráticos de la Facultad de Ingeniería Civil, en especial, a nuestro director de tesis Ing. Jorge Alberto Iruri Perez por su apoyo, tiempo y dedicación para el desarrollo de nuestra investigación.

Al ing. Elio Sandoval, representante de Aditivos Sika Perú en Arequipa, por su asesoría en el uso del aditivo y porque nos proporcionó directamente el aditivo Sika Lightcrete.

Al personal técnico del Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto – Techlab, por su buena predisposición para la coordinación y desarrollo del trabajo realizado en su laboratorio.

Erick Angel Huaman Flores y Jorge Sergio Sanchez Medina

RESUMEN

El objeto de estudio de la presente investigación es el concreto celular, el cual viene siendo cada vez más investigado a nivel nacional. Dadas las ventajas que otorga sus propiedades térmicas y acústicas se pretende dar como alternativa al concreto convencional usado en la construcción de edificios con Muros de Ductilidad Limitada.

Para el desarrollo de la siguiente investigación primero se realizará un diseño de mezclas del concreto celular que cumpla los requerimientos necesarios señalados en las normas ACI 211 y ACI 253.

La obtención de los valores de las propiedades mecánicas reales del concreto se obtuvo mediante ensayos de laboratorio, estos ensayos se realizarán cumpliendo los requerimientos de las siguientes normas:

- NTP 339.034 Resistencia a la compresión del concreto, $f'c=15.27$ Mpa
- ASTM C469 Módulo de elasticidad del concreto, $E =16834.7$ Mpa
- ASTM C469M-14 Coeficiente de Poisson, $\nu = 0.2631$
- AASHTO T-336 Obtención del coeficiente de expansión térmica del concreto $CTE = 9.23$ $\mu/^{\circ}C$
- NTP 339.078 Resistencia a la flexión del concreto, $Mr = 3.088$ Mpa

Luego de la obtención de los resultados de los ensayos estos se usarán como datos de entrada para hacer el análisis sísmico de un edificio con muros de ductilidad limitada con el objetivo que cumpla los requerimientos de la norma sismo resistente peruana E-030 2018 la cual indica que las derivas máximas para edificios con muros de ductilidad limitada es 0.5%.

PALABRAS CLAVE: Concreto Celular, Resistencia a la Compresión, Módulo de Elasticidad, Coeficiente de Poisson, Coeficiente de Expansión Térmica, Resistencia a la Flexión, Análisis Sísmico, Ductilidad Limitada.

ABSTRACT

The object of study of this research is cellular concrete, which has been increasingly investigated nationwide. Given the advantages granted by its thermal and acoustic properties, it is intended as an alternative to conventional concrete used in the construction of buildings with Limited Ductility Walls.

For the development of the following investigation, a design of mixtures of cellular concrete will be carried out that meets the necessary requirements indicated in the ACI 211 and ACI 253 standards.

Obtaining the values of the real mechanical properties of the concrete was obtained through laboratory tests, these tests will be carried out in compliance with the requirements of the following standards:

- NTP 339.034 Compressive strength of concrete, $f'c = 15.27$ Mpa
- ASTM C469 Modulus of elasticity of concrete, $E = 16834.7$ Mpa
- ASTM C469M-14 Poisson coefficient, $\nu = 0.2631$
- AASHTO T-336 Obtaining the coefficient of thermal expansion of concrete, $CTE = 9.23$ $\mu/^\circ C$
- NTP 339.078 Concrete flexural strength, $Mr = 3.088$ Mpa

After obtaining the test results, these will be used as input data to make the seismic analysis of a building with limited ductility walls with the objective that meets the requirements of the Peruvian resistant earthquake standard E-030 2018 which indicates that The maximum drifts for buildings with limited ductility walls is 0.5%

KEY WORDS: Cellular Concrete, Compressive Strength, Modulus of Elasticity, Poisson Coefficient, Coefficient of Thermal Expansion, Flexural Strength, Seismic Analysis, Limited Ductility.

ÍNDICE

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTO	II
RESUMEN	III
ABSTRACT	IV
INTRODUCCION	XXX
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION EXPERIMENTAL.....	1
1.1 El problema	1
1.2 Objetivo de la Investigación.....	1
1.2.1 Objetivo general.....	1
1.2.2 Objetivos específicos	1
1.3 Hipótesis.....	2
1.4 Variables.....	2
1.5 Metodología de investigación experimental	2
1.5.1 Recopilación de información bibliográfica.....	2
1.5.2 Exploración y obtención de material	3
1.5.3 Propiedades físicas de los agregados	3
1.5.4 Diseño de mezclas de concreto	3
1.5.5 Realización de los ensayos.....	4
1.5.6 Interpretación de resultados	5
1.5.7 Análisis para el diseño en EMDL	5
CAPITULO II : MARCO TEORICO.....	6
2.1 El concreto celular.....	6
2.1.1 Definición	6
2.1.2 Clasificación	8

2.1.3	Materiales del Concreto Celular	14
2.1.4	Propiedades	17
2.2	Edificios con Sistemas de Muros de Ductilidad Limitada	22
2.2.1	Historia.....	22
2.2.2	Definición	24
2.2.3	Características arquitectónicas.....	25
2.2.4	Características estructurales.....	26
2.2.5	Alcances de la Norma Técnica Peruana E-030 para EMDL.....	26
2.2.6	Criterios de estructuración y diseño.....	27
2.2.7	Ventajas y desventajas del sistema de muros de ductilidad limitada.....	29
2.3	Marco Normativo	30
2.4	Diseño de Mezclas de Concreto	32
2.4.1	Generalidades.....	32
2.4.2	Metodología de Dosificación	32
2.4.3	Propiedades de los Agregados y Aditivos	38
2.4.4	Diseño de Mezcla.....	46
CAPITULO III: ENSAYOS AL CONCRETO CELULAR.....		54
3.1	Ensayos al Concreto en Estado Fresco.....	54
3.1.1	Control de Asentamiento	55
3.1.2	Contenido de Aire	56
3.1.3	Peso Unitario.....	58
3.2	Ensayos al Concreto en Estado Endurecido.....	59
3.2.1	Ensayo de Resistencia a la Compresión.....	60
3.2.2	Ensayo de Módulo de Elasticidad.....	64
3.2.3	Ensayo de Coeficiente de Poisson	71

3.2.4	Ensayo de Coeficiente de Expansión Térmica.....	78
3.2.5	Ensayo de Resistencia a la Flexión.....	84
CAPITULO IV: ANALISIS DE LOS RESULTADOS		87
4.1	Ensayos en Estado Fresco	87
4.1.1	Control de Asentamiento	87
4.1.2	Contenido de Aire.....	87
4.1.3	Peso Unitario.....	87
4.2	Ensayos en Estado Endurecido	88
4.2.1	Ensayo de Resistencia a la Compresión.....	88
4.2.2	Ensayo de Modulo de Elasticidad.....	89
4.2.3	Ensayo de Coeficiente de Poisson	91
4.2.4	Ensayo de Coeficiente de Expansión Térmica.....	92
4.2.5	Ensayo de Resistencia a la Flexión.....	93
CAPITULO V: APLICACIÓN DEL DISEÑO PROPUESTO EN EL ANÁLISIS SÍSMICO DE UN EDIFICIO CON MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA		94
5.1	Generalidades del Proyecto.....	94
5.2	Metrado de Cargas y Pre Dimensionamiento.....	95
5.2.1	Pre dimensionamiento de Losas.....	95
5.2.2	Pre dimensionamiento de Muros	96
5.2.3	Metrado de cargas	97
5.3	Análisis Sísmico.....	102
5.3.1	Modelo Estructural.....	102
5.3.2	Parámetros y Condiciones Generales.....	103
5.3.3	Análisis Estático.....	107
5.3.4	Análisis Dinámico.....	108

5.4	Diseño de Concreto Armado usando Concreto Celular en Edificios de Muros de ductilidad Limitada	115
5.4.1	Diseño de Losas Macizas.....	115
5.4.2	Diseño de muros de Ductilidad Limitada	119
	CONCLUSIONES	130
	RECOMENDACIONES.....	132
	BIBLIOGRAFIA	133
	ANEXOS	136
A.	PROPIEDADES FISICAS DE LOS AGREGADOS	137
A.1	GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO.....	138
A.2	PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO.....	141
A.3	CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO.....	141
A.4	ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO.....	141
A.5	PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO FINO	142
A.6	PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO.....	142
A.7	CONTENIDO DE VACIOS DEL AGREGADO FINO	142
B.	PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO	143
B.1	PESO UNITARIO DEL CONCRETO	144
B.2	ASENTAMIENTO DEL CONCRETO	144
C.	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	145
C.1	RESULTADOS Y PROCESAMIENTO DEL DATOS DE ENSAYO A COMPRESION	146
D.	MODULO DE ELASTICIDAD	148
E.	MODULO DE POISSON	189
F.	COEFICIENTE DE EXPANSIÓN TERMICA.....	250

F.1 RESULTADOS Y PROCESAMIENTO DE DATOS DEL ENSAYO DE OBTENCIÓN DEL FACTOR DE CORRECCIÓN.....	251
F.2 RESULTADOS Y PROCESAMIENTO DE DATOS DEL ENSAYO DE OBTENCIÓN DEL COEFICIENTE DE EXPANSIÓN TÉRMICA.....	257
G. RESISTENCIA A LA TENSIÓN POR FLEXIÓN.....	337
H. NORMAS UTILIZADAS PARA LOS ENSAYOS	339
I. PLANOS DE ARQUITECTURA DEL EDIFICIO USADO EN EL ANÁLISIS	384

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características técnicas del Cemento Tipo HE.....	15
Tabla 2: Normas de ensayos al agregado.....	16
Tabla 3: Características técnicas del Concreto Celular y otros Sistemas Constructivos	18
Tabla 4: Conductividad Térmica del Concreto.....	19
Tabla 5: Ensayo de Fluidez.....	34
Tabla 6: Granulometría del Agregado Fino Muestra A-1.....	38
Tabla 7: Ensayo de Peso Específico y Absorción del Agregado Fino.....	40
Tabla 8: Ensayo de Contenido de Humedad.....	41
Tabla 9: Ensayo de Peso Unitario Suelto.....	42
Tabla 10: Ensayo de Peso Unitario Compactado.....	42
Tabla 11: Ensayo de Contenido de Vacíos	43
Tabla 12: Datos para Dosificación.....	47
Tabla 13: Diseño Final.....	49
Tabla 14: Ensayo de Resistencia a la Compresión del Concreto.....	60
Tabla 15: Control de Asentamiento	87
Tabla 16: Peso Unitario del Concreto.....	87
Tabla 17: Ensayo de Resistencia a la Compresión	88
Tabla 18: Ensayo de Módulo de Elasticidad.....	89
Tabla 19: Ensayo de Coeficiente de Poisson	91
Tabla 20: Ensayo de Coeficiente de Expansión Térmica	92
Tabla 21: Ensayo de Resistencia a la Flexión.....	93
Tabla 22: Metrados de Carga Muerta para Losa Típica	98
Tabla 23: Metrados de Carga Muerta para la Azotea	98
Tabla 24: Metrados de Carga Viva para Losas.....	98
Tabla 25: Metrados de Carga Muerta para Muros de Ductilidad Limitada de la Primera Planta. 98	
Tabla 26: Metrados de Carga Muerta para Muros de Ductilidad Limitada de la Segunda, tercera, Cuarta, Quinta y Sexta Planta	99
Tabla 27: Metrados de Carga Total del Edificio.....	99
Tabla 28: Parámetros Utilizados para el Análisis Sísmico	100

Tabla 29: Longitud de Muros	101
Tabla 30: Factor de Irregularidad en Planta.....	105
Tabla 31: Irregularidades en Planta en Dirección X-X.....	106
Tabla 32: Factor de Irregularidad en Planta.....	106
Tabla 33: Parámetros Utilizados para el Análisis Sísmico	108
Tabla 34: Periodos y Masas Participativas por Grado de Libertad.....	109
Tabla 35: Periodos y Masas Participativas en la Dirección X-X.....	110
Tabla 36: Periodos y Masas Participativas en la Dirección Y-Y	110
Tabla 37: Valores de Sa en Función de los Valores del Periodo T.....	111
Tabla 38: Límites para la Distorsión del Entrepiso	112
Tabla 39: Máximas Derivas en la Dirección X-X	113
Tabla 40: Máximo Desplazamiento en la Dirección X-X	113
Tabla 41: Máximas Derivas y Desplazamientos en la Dirección Y-Y	114
Tabla 42: Máximo Desplazamiento en la Dirección Y-Y	114
Tabla 43: Cortantes Estáticos y Dinámicos, y Factor de Escala.....	115
Tabla 44: Acero Mínimo para Losas	116
Tabla 45: Momentos Últimos del Paño Representativo	118
Tabla 46: Verificación de Acero Requerido	118
Tabla 47: Verificación de Momentos	118
Tabla 48: Fuerzas Internas del Muro de Diseño	121
Tabla 49: Combinaciones de Carga	122
Tabla 50: Tabla de Combinación para Fuerza Axial y Momentos en la dirección X e Y	124
Tabla A.1: Granulometría del Agregado Fino - Muestra A-1	138
Tabla A.2: Granulometría del Agregado Fino - Muestra A-1	139
Tabla A.3: Granulometría del Agregado Fino – Muestra A-1	140
Tabla A.4: Ensayo del Peso Específico del Agregado Fino	141
Tabla A.5: Ensayo del Contenido de Humedad del Agregado Fino.....	141
Tabla A.6: Ensayo de Absorción del Agregado Fino	141
Tabla A.7: Ensayo de Peso Unitario Suelto del Agregado Fino.....	142
Tabla A.8: Ensayo de Peso Unitario Compactado del Agregado Fino.....	142
Tabla A.9: Ensayo de Contenido de Vacíos	142

Tabla B.1: Peso Unitario del Concreto	144
Tabla B.2: Control de Asentamiento	144
Tabla C.1: Resultados de Ensayo a la Compresión $f_c=175$ kg/cm ² a los 7 días.....	146
Tabla C.2: Resultados de Ensayo a la Compresión $f_c=175$ kg/cm ² a los 14 días.....	146
Tabla C.3: Resultados de Ensayo a la Compresión $f_c=175$ kg/cm ² a los 28 días.....	146
Tabla D.1: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 1 y la lectura promedio	149
Tabla D.2: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 1	149
Tabla D.3: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 1	149
Tabla D.4: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 2 y la lectura promedio	151
Tabla D.5: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 2	151
Tabla D.6: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 2	151
Tabla D.7: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 3 y la lectura promedio	153
Tabla D.8: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 3	153
Tabla D.9: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 3	153
Tabla D.10: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 4 y la lectura promedio	155
Tabla D.11: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 4	155
Tabla D.12: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 4	155
Tabla D.13: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 5 y la lectura promedio	157
Tabla D.14: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 5	157
Tabla D.15: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 5	157

Tabla D.16: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 6 y la lectura promedio	159
Tabla D.17: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 6	159
Tabla D.18: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 6	159
Tabla D.19: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 7 y la lectura promedio	161
Tabla D.20: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 7	161
Tabla D.21: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 7	161
Tabla D.22: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 8 y la lectura promedio	163
Tabla D.23: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 8	163
Tabla D.24: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 8	163
Tabla D.25: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 9 y la lectura promedio	165
Tabla D.26: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 9	165
Tabla D.27: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 9	165
Tabla D.28: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 10 y la lectura promedio	167
Tabla D.29: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 10	167
Tabla D.30: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 10	167
Tabla D.31: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 11 y la lectura promedio	169
Tabla D.32: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 11	169
Tabla D.33: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 11	169

Tabla D.34: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 12 y la lectura promedio	171
Tabla D.35: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 12	171
Tabla D.36: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 12	171
Tabla D.37: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 13 y la lectura promedio	173
Tabla D.38: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 13	173
Tabla D.39: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 13	173
Tabla D.40: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 14 y la lectura promedio	175
Tabla D.41: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 14	175
Tabla D.42: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 14	175
Tabla D.43: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 15 y la lectura promedio	177
Tabla D.44: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 15	177
Tabla D.45: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 15	177
Tabla D.46: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 16 y la lectura promedio	179
Tabla D.47: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 16	179
Tabla D.48: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 16	179
Tabla D.49: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 17 y la lectura promedio	181
Tabla D.50: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 17	181
Tabla D.51: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 17	181

Tabla D.52: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 18 y la lectura promedio	183
Tabla D.53: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 18	183
Tabla D.54: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 18	183
Tabla D.55: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 19 y la lectura promedio	185
Tabla D.56: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 19	185
Tabla D.57: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 19	185
Tabla D.58: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 20 y la lectura promedio	187
Tabla D.59: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 20	187
Tabla D.60: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 20	187
Tabla E.1: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 1	190
Tabla E.2: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 1	191
Tabla E.3: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 2	193
Tabla E.4: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 2	194
Tabla E.5: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 3	196
Tabla E.6: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 3	197
Tabla E.7: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 4	199
Tabla E.8: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 4	200

Tabla E.9: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 5	202
Tabla E.10: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 5	203
Tabla E.11: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 6	205
Tabla E.12: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 6	206
Tabla E.13: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 7	208
Tabla E.14: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 7	209
Tabla E.15: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 8	211
Tabla E.16: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 8	212
Tabla E.17: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 9	214
Tabla E.18: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 9	215
Tabla E.19: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 10	217
Tabla E.20: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 10	218
Tabla E.21: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 11	220
Tabla E.22: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 11	221
Tabla E.23: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 12	223

Tabla E.24: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 12	224
Tabla E.25: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 13	226
Tabla E.26: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 13	227
Tabla E.27: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 14	229
Tabla E.28: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 14	230
Tabla E.29: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 15	232
Tabla E.30: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 15	233
Tabla E.31: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 16	235
Tabla E.32: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 16	236
Tabla E.33: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 17	238
Tabla E.34: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 17	239
Tabla E.35: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 18	241
Tabla E.36: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 18	242
Tabla E. 37: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 19	244
Tabla E.38: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 19	245

Tabla E.39: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 20	247
Tabla E.40: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 20	248
Tabla F.1: Resultado del Ensayo 1 de Obtención del Factor de Corrección	251
Tabla F.2: Resultado del Ensayo 2 de Obtención del Factor de Corrección	253
Tabla F.3: Resultado del Ensayo 3 de Obtención del Factor de Corrección	255
Tabla F.4: Cálculo del Factor de Corrección	256
Tabla F.1: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-1 durante el Ascenso de la Temperatura	257
Tabla F.2: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-1 durante el Descenso de la Temperatura	258
Tabla F.3: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-1 en Temperatura Ascendente	260
Tabla F.4: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-1 en Temperatura Descendente	260
Tabla F.5: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-2 durante el Ascenso de la Temperatura	261
Tabla F.6: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-2 durante el Descenso de la Temperatura	262
Tabla F.7: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-2 en Temperatura Ascendente	264
Tabla F.8: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-2 en Temperatura Descendente	264
Tabla F.9: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-3 durante el Ascenso de la Temperatura	265
Tabla F.10: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-3 durante el Descenso de la Temperatura	266
Tabla F.11: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-3 en Temperatura Ascendente	268

Tabla F.12: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-3 en Temperatura Descendente	268
Tabla F.13: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-4 durante el Ascenso de la Temperatura	269
Tabla F.14: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-4 durante el Descenso de la Temperatura	270
Tabla F.15: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-4 en Temperatura Ascendente	272
Tabla F.16: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-4 en Temperatura Ascendente	272
Tabla F.17: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-5 durante el Ascenso de la Temperatura	273
Tabla F.18: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-5 durante el Descenso de la Temperatura	274
Tabla F.19: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-5 en Temperatura Ascendente	276
Tabla F.20: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-5 en Temperatura Descendente	276
Tabla F.21: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-6 durante el Ascenso de la Temperatura	277
Tabla F.22: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-6 durante el Descenso de la Temperatura	278
Tabla F.23: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-6 en Temperatura Ascendente	280
Tabla F.24: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-6 en Temperatura Descendente	280
Tabla F.25: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-7 durante el Ascenso de la Temperatura	281
Tabla F.26: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-7 durante el Descenso de la Temperatura	282

Tabla F.27: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-7 en Temperatura Ascendente	284
Tabla F.28: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-7 en Temperatura Descendente	284
Tabla F.29: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-8 durante el Ascenso de la Temperatura	285
Tabla F.30: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-8 durante el Descenso de la Temperatura	286
Tabla F.31: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-8 en Temperatura Ascendente	288
Tabla F.32: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-8 en Temperatura Ascendente	288
Tabla F.33: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-9 durante el Ascenso de la Temperatura	289
Tabla F.34: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-9 durante el Descenso de la Temperatura	290
Tabla F.35: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-9 en Temperatura Ascendente	292
Tabla F.36: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-9 en Temperatura Descendente	292
Tabla F.37: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-10 durante el Ascenso de la Temperatura	293
Tabla F.38: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-10 durante el Descenso de la Temperatura	294
Tabla F.39: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-10 en Temperatura Ascendente	296
Tabla F.40: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-10 en Temperatura Descendente	296
Tabla F.41: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-11 durante el Ascenso de la Temperatura	297

Tabla F.42: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-11 durante el Descenso de la Temperatura	298
Tabla F.43: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-11 en Temperatura Ascendente	300
Tabla F.44: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-11 en Temperatura Descendente	300
Tabla F.45: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-12 durante el Ascenso de la Temperatura	301
Tabla F.46: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-12 durante el Descenso de la Temperatura	302
Tabla F.47: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-12 en Temperatura Ascendente	304
Tabla F.48: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-12 en Temperatura Descendente	304
Tabla F.49: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-13 durante el Ascenso de la Temperatura	305
Tabla F.50: Resultado del Ensayo de Obtención de Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-13 durante el Descenso de la Temperatura	306
Tabla F.51: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-13 en Temperatura Ascendente	308
Tabla F.52: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-13 en Temperatura Descendente	308
Tabla F.53: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-14 durante el Ascenso de la Temperatura	309
Tabla F.54: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-14 durante el Descenso de la Temperatura	310
Tabla F.55: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-14 en Temperatura Ascendente	312
Tabla F.56: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-14 en Temperatura Ascendente	312

Tabla F.57: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-15 durante el Ascenso de la Temperatura	313
Tabla F.58: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-15 durante el Descenso de la Temperatura	314
Tabla F.59: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-15 en Temperatura Ascendente	316
Tabla F.60: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-15 en Temperatura Descendente	316
Tabla F.61: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-16 durante el Ascenso de la Temperatura	317
Tabla F.62: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-16 durante el Descenso de la Temperatura	318
Tabla F.63: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-16 en Temperatura Ascendente	320
Tabla F.64: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-16 en Temperatura Descendente	320
Tabla F.65: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-17 durante el Ascenso de la Temperatura	321
Tabla F.66: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-17 durante el Descenso de la Temperatura	322
Tabla F.67: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-17 en Temperatura Ascendente	324
Tabla F.68: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-17 en Temperatura Descendente	324
Tabla F.69: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-18 durante el Ascenso de la Temperatura	325
Tabla F.70: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-18 durante el Descenso de la Temperatura	326
Tabla F.71: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-18 en Temperatura Ascendente	328

Tabla F.72: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-18 en Temperatura Descendente	328
Tabla F.73: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-19 durante el Ascenso de la Temperatura	329
Tabla F.74: Resultado del Ensayo de Obtención de Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-19 durante el Descenso de la Temperatura	330
Tabla F.75: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-19 en Temperatura Ascendente	332
Tabla F.76: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-19 en Temperatura Descendente	332
Tabla F.77: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-20 durante el Ascenso de la Temperatura	333
Tabla F.78: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-20 durante el Descenso de la Temperatura	334
Tabla F.79: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-20 en Temperatura Ascendente	336
Tabla F.80: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-20 en Temperatura Descendente	336
Tabla G.1: Cálculo del Módulo de Rotura del Ensayo a Tensión por Flexión.....	338

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Composición del Concreto Tradicional.....	7
Figura 2: Composición General del Concreto Celular.....	7
Figura 3: Proceso de Fabricación de Concreto Celular	10
Figura 4: Edificaciones con muros de ductilidad limitada MDL en Chiclayo - Perú.....	23
Figura 5: Grafico de ensayo de tracción de una malla electrosoldada en comparación de acero convencional de 8mm	25
Figura 6: Resistencia - % de pasta	34
Figura 7: Resistencia a la compresión de concreto celular con varias densidades	36
Figura 8: Resistencia a la compresión de concreto celular con diferentes tiempos de mezclado.	37
Figura 9: Curva Granulometría Agregado Fino Muestra A-1	39
Figura 10: Materiales utilizados para la elaboración de Concreto Celular	50
Figura 11: Espuma Generada por el Aditivo Espumante.....	51
Figura 12: Añadido del cemento a la mezcla.....	51
Figura 13: Ensayo de Contenido de Aire.....	52
Figura 14: Ensayo de Consistencia	52
Figura 15: Vaciado de Muestras para los Ensayos	53
Figura 16: Muestras desmoldadas previa a su	54
Figura 17: Control de Asentamiento del Concreto	56
Figura 18: Ensayo de Contenido de Aire del Concreto	58
Figura 19: Ensayo de Peso Unitario del Concreto Fresco	59
Figura 20: Medición de Diámetro de Probeta.....	61
Figura 21: Probeta Lista para Ensayo de Resistencia a la Compresión	62
Figura 22: Fin de Ensayo de Resistencia a la Compresión.....	62
Figura 23: Probeta Armada con los Anillos para Ensayo de Modulo de Elasticidad	65
Figura 24: Lectura del Deformímetro durante el ensayo	66
Figura 25: Esquema de Ensayo de Modulo de Elasticidad.....	67
Figura 26: Probeta Armada con los Anillos para Ensayo de Modulo de Elasticidad y Coeficiente de Poisson	72
Figura 27: Ensayo de Coeficiente de Poisson.....	72

Figura 28: Esquema de Ensayo de Coeficiente de Poisson	73
Figura 29: Esquema para el cálculo del factor de reducción de la lectura obtenida en el deformímetro.....	74
Figura 30: Probeta Armada para el Ensayo de Obtención de Coeficiente de Expansión Térmica	79
Figura 31: Ensayo para la Obtención del Coeficiente de Expansión Térmico	80
Figura 32: Esquema de la Disposición de la Viga y Rodillos.....	85
Figura 33: Ensayo de Resistencia a la Flexión	86
Figura 34: Resistencia a la Compresión.....	88
Figura 35: Plano de espesores de losas	96
Figura 36: Distribución de muros	97
Figura 37: Vista en planta del modelo estructural	102
Figura 38: Vista tridimensional de modelo estructural.....	103
Figura 39: Espectro de Respuesta de Pseudo-Aceleraciones.....	111
Figura 40: Paño Representativo de la Losa.....	117
Figura 41: Muro de Diseño	121
Figura 42: Sección Transversal del Muro de Diseño.....	123
Figura 43: Diagrama de interacción en la dirección X	124
Figura 44: Diagrama de interacción en la dirección Y	125
Figura A.1: Curva Granulométrica del Agregado Fino - Muestra A-1.....	138
Figura A.2: Curva Granulométrica del Agregado Fino - Muestra A-2.....	139
Figura A.3: Curva Granulométrica del Agregado Fino - Muestra A-3.....	140
Figura C.1: Curva Esfuerzo – Edad de rotura Compresión $f_c=175 \text{ kg/cm}^2$	147
Figura D.1: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 1.....	150
Figura D.2: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 2.....	152
Figura D.3: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 3.....	154
Figura D.4: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 4.....	156

Figura D.5: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 5.....	158
Figura D.6: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 6.....	160
Figura D.7: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 7.....	162
Figura D.8: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 8.....	164
Figura D.9: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 9.....	166
Figura D.10: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 10.....	168
Figura D.11: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 11.....	170
Figura D.12: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 12.....	172
Figura D.13: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 13.....	174
Figura D.14: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 14.....	176
Figura D.15: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 15.....	178
Figura D.16: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 16.....	180
Figura D.17: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 17.....	182
Figura D.18: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 18.....	184
Figura D.19: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 19.....	186

Figura D.20: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 20.....	188
Figura E.1: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 1	191
Figura E.2: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 2.....	194
Figura E.3: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 3.....	197
Figura E.4: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 4.....	200
Figura E.5: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 5.....	203
Figura E.6: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 6.....	206
Figura E.7: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 7.....	209
Figura E.8: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 8.....	212
Figura E.9: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 9.....	215
Figura E.10: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 10.....	218
Figura E.11: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 11.....	221
Figura E.12: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 12.....	224
Figura E.13: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 13.....	227
Figura E.14: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 14.....	230

Figura E.15: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 15.....	233
Figura E.16: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 16.....	236
Figura E.17: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 17.....	239
Figura E.18: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 18.....	242
Figura E.19: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 19.....	245
Figura E.20: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 20.....	248
Figura F.1: Gráfico Temperatura – Deformación del Ensayo 1	252
Figura F.2: Gráfico Temperatura – Deformación del Ensayo 2	254
Figura F.3: Gráfico Temperatura – Deformación del Ensayo 2	256
Figura F.4: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-1	259
Figura F.5: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-2	263
Figura F.6: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-3	267
Figura F.7: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-4	271
Figura F.8: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-5	275
Figura F.9: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-6	279
Figura F.10: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-7	283
Figura F.11: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-8	287
Figura F.12: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-9	291
Figura F.13: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-10	295
Figura F.14: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-11	299
Figura F.15: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-12	303
Figura F.16: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-13	307
Figura F.17: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-14	311
Figura F.18: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-15	315
Figura F.19: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-16	319

Figura F.20: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-17	323
Figura F.21: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-18	327
Figura F.22: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-19	331
Figura F.23: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-20	335

INTRODUCCION

En la actualidad, producto del gran desarrollo que ha tenido la industria de la construcción, es necesario contar con una variedad de concretos que brinden una solución correcta de acuerdo a la necesidad de cada construcción, y que estén destinados a mejorar la calidad, la productividad y la economía. Por ello es que los materiales empleados en la elaboración de concreto están en constante evolución, buscando dar alternativas innovadoras que puedan ser empleadas en la elaboración de la mezcla de concreto con el fin de obtener características más provechosas según el tipo de obra a la que se destine, como puede ser una alta resistencia mecánica o baja densidad.

Entre estos materiales tenemos al concreto celular, elaborado mediante la combinación de agregados naturales y aditivos químicos que permiten diseñar y controlar su peso volumétrico de acuerdo a las necesidades de la obra. Con el concreto celular se reduce las cargas muertas de las estructuras lo cual se traduce en ahorros económicos mediante un diseño estructural adecuado, además sirve como un material aislante térmicamente para las estructuras lo cual es un ahorro de energía y por lo tanto un ahorro económico, Acústicamente también es aislante y debido a su alta trabajabilidad los tiempos de colocación son menores además de que se reduce el personal.

Son principalmente estas características de confortabilidad por las que se plantea su aplicación a edificaciones con un sistema de muros de ductilidad limitada.

Los muros de ductilidad limitada es un sistema impuesto en el Perú desde hace varios años, el cual involucra una homogeneidad en muros, de similar espesor y que a su vez cumple con los requisitos sismo resistente garantizando una estructura confiable.

Este sistema presenta desventajas como son la necesidad de mano de obra calificada, un mayor control de obras y problemas térmicos debidos a la poca capacidad térmica del concreto empleado usualmente.

Mediante la aplicación de concreto celular se pretende dar una alternativa para mejorar el confort térmico y acústico de los edificios que usen un sistema de muros de ductilidad limitada.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION EXPERIMENTAL

1.1 El problema

Aunque no es un material nuevo, el concreto celular es un material poco usado en las construcciones en nuestro país, uno de los motivos puede ser el desconocimiento de sus propiedades de diseño reales.

Además, en la actualidad cada vez son más los edificios que optan por el sistema de Muros de Ductilidad Limitada los cuales solo utilizan el concreto convencional, es por ello que se plantea como una alternativa el uso de concreto celular el cual se sabe tiene buenas propiedades físicas las cuales pueden brindar mejores condiciones de confortabilidad a las personas que adquieren departamentos en este tipo de edificios.

1.2 Objetivo de la Investigación

1.2.1 Objetivo general

- Conocer las propiedades del concreto celular necesarias para el análisis sísmico de EMDL.

1.2.2 Objetivos específicos

- Encontrar el diseño de mezcla en concreto celular que cumpla con la resistencia de diseño según norma vigente.
- Determinar la resistencia a la compresión del concreto celular del diseño propuesto.
- Determinar el módulo de elasticidad del concreto celular del diseño propuesto.
- Determinar el coeficiente de Poisson del concreto celular del diseño propuesto.
- Determinar el coeficiente de expansión térmica del concreto celular del diseño propuesto.
- Determinar la resistencia a la flexión del concreto celular del diseño propuesto.
- Interpretar los resultados del análisis sísmico en un EMDL con concreto celular.

1.3 Hipótesis

Es posible obtener un concreto celular cuyas propiedades mecánicas reales, obtenidas en laboratorio, al ser utilizadas para el análisis sísmico de un edificio con muros de ductilidad limitada ofrezca resultados que cumplan los requerimientos de la norma sismo resistente del Perú.

1.4 Variables

- *Variables Independientes:*
 - Cemento
 - Agregado Fino
 - Aditivo Espumante
 - Aditivo Plastificante

- *Variables Dependientes:*
 - Resistencia a la Compresión
 - Módulo de Elasticidad
 - Coeficiente de Poisson
 - Coeficiente de Expansión Térmica
 - Resistencia a la Flexión

1.5 Metodología de investigación experimental

1.5.1 Recopilación de información bibliográfica

Como primer paso, se recopilará toda la información bibliográfica posible de investigaciones pasadas relacionadas con nuestro tema de tesis, ya sea tesis, papers, boletines, normas técnicas, etc.

1.5.2 Exploración y obtención de material

En la elaboración de concreto celular incorporando aditivo espumante usaremos cemento y agregado fino.

Se empleará aditivos para producir un cambio específico deseado en el comportamiento del concreto en estado fresco o en estado endurecido, y deberán cumplir los requerimientos de las normas ASTM C260 y C494. Se utilizará un Aditivo plastificante SikaCem® y Aditivo espumante Sika® Lightcrete PE que son compatibles debido a que son elaborados por el mismo fabricante y cumplen las especificaciones de las normas.

1.5.3 Propiedades físicas de los agregados

En esta parte estudiaremos los agregados que utilizaremos para lo cual realizaremos los siguientes ensayos:

- Análisis granulométrico.
- Absorción.
- Peso específico.
- Contenido de humedad.
- Peso unitario suelto.
- Peso unitario compactado.

1.5.4 Diseño de mezclas de concreto

Se desarrollará el diseño de mezclas teniendo en consideración las normas ACI 211.1-91 y ACI 523.3R-93 (Anexo H.1).

Para la elaboración del diseño de mezclas se seguirá el procedimiento propuesto en la tesis “Diseño de concreto celular para diferentes densidades, análisis de sus propiedades y sus aplicaciones”. (Lazo Arraya, 2017)

1.5.5 Realización de los ensayos

En esta sección se realizará los ensayos correspondientes al concreto, tanto en su estado fresco y en su estado endurecido.

1.5.5.1 Propiedades físicas del concreto en estado fresco

Se realizarán los siguientes ensayos para lograr obtener un control estricto y riguroso de la mezcla en este estado.

- *Control de asentamiento:*

Se utilizará la norma NTP 339.035 para determinar el asentamiento del concreto.

- *Contenido de aire:*

Para determinar el contenido de aire del concreto en estado fresco se utilizará la ASTM C 138.

- *Peso unitario:*

Para determinar la densidad (peso unitario) del concreto fresco se utilizará el procedimiento de la norma NTP 339.046.

1.5.5.2 Propiedades físicas del concreto en estado endurecido

- *Resistencia a la compresión:*

Para determinar la resistencia a compresión del concreto se vaciaron especímenes en probetas de 6” por 12”, curadas y ensayadas según norma NTP 339.034, NTP 339.216, NTP 339.183.

- *Módulo de elasticidad:*
Se seguirá el procedimiento establecido por la norma ASTM C 469 (Anexo H.2), se obtendrá resultados a la edad de 28 días de curado; ensayaremos 20 probetas de concreto.

- *Coefficiente de Poisson:*
Se seguirá el procedimiento establecido por la norma ASTM C 469M-14 (Anexo H.2), para la presente tesis se obtendrá resultados a la edad de 28 días de curado; se ensayará 20 probetas de concreto.

- *Coefficiente de expansión térmica:*
El Coeficiente de Expansión Térmica se obtendrá mediante el proceso especificado en la AASHTO TP-60 (Anexo H.3).

- *Resistencia a la flexión:*
La resistencia a la flexión se obtendrá aplicando cargas a vigas de concreto de 6x6 pulgadas de sección y con mínimo una luz 3 veces su espesor, tal como indica la norma NTP 339.078 (Anexo H.4).

1.5.6 Interpretación de resultados

En este punto se tomarán todos los resultados obtenidos de los ensayos realizados, y se hará una relación de las propiedades del concreto celular obtenidas.

1.5.7 Análisis para el diseño en EMDL

Se procederá a realizar un análisis sísmico de un edificio de 6 pisos con un sistema de muros de ductilidad limitada mediante el programa ETABS, para ello se usarán los datos obtenidos en esta investigación.

CAPITULO II : MARCO TEORICO

2.1 El concreto celular

2.1.1 Definición

El concreto celular es un tipo de concreto ligero o liviano, llamado también concreto aireado o expansivo, que resulta de añadir burbujas a la mezcla del concreto, ya sea mediante la inclusión de espuma, agentes espumantes u otros aditivos cuya reacción química con el cemento produzca la espuma.

El Instituto Americano del Concreto (ACI, por sus siglas en inglés) define al concreto celular como “Aquel en el cual todo o parte del agregado es sustituido por burbujas de gas o aire”.

También (Valore, 1954), define el Concreto Celular como "Un producto ligero que consiste en cemento portland y/o limo con material fino silíceo, tal como arena, escoria o ceniza volante, mezclado con agua para formar una pasta que tiene una estructura de células vacías homogénea. La estructura celular se alcanza esencialmente por la inclusión de huecos-macroscópicos como resultado de una reacción química que libera gas o de la mecánica incorporación de aire u otros gases".

La cantidad de aire en los concretos celulares puede variar del 20 al 50 por ciento en volumen en concretos estructurales y de 51 a 80 por ciento en volumen en concretos usado solo para aislamiento térmico o relleno. (Cervantes Abarca, 2008).

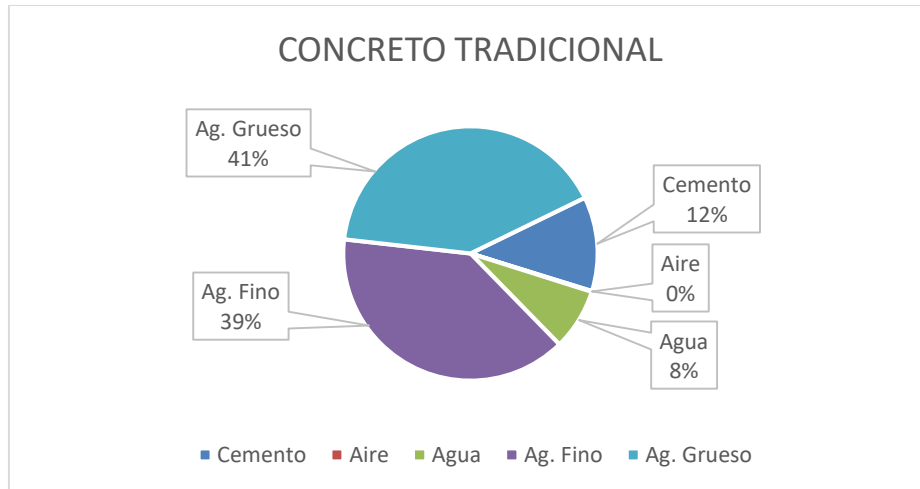


Figura 1: Composición del Concreto Tradicional

Fuente: Elaboración Propia

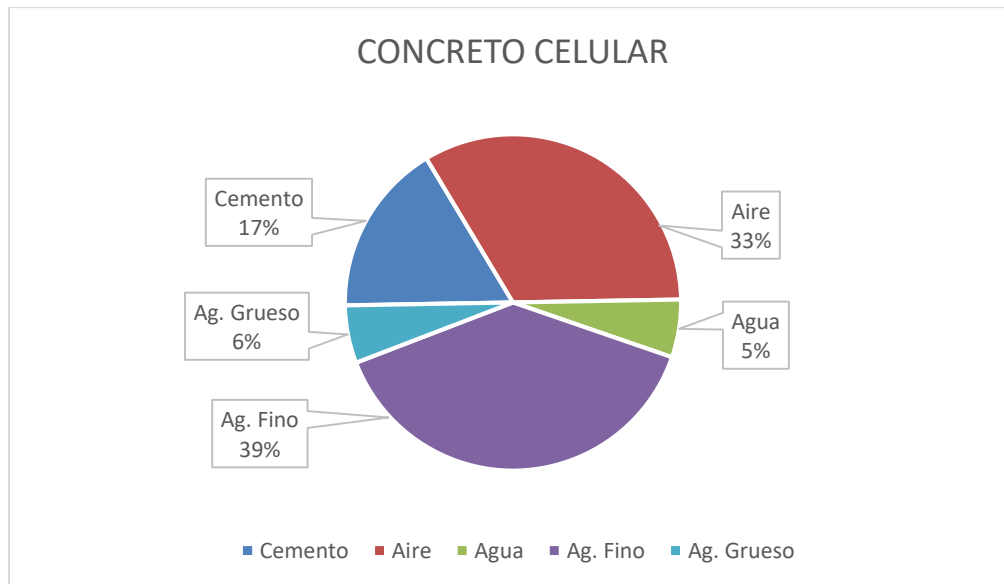


Figura 2: Composición General del Concreto Celular

Fuente: Elaboración Propia

Los materiales para fabricar concreto celular son los mismo que un concreto tradicional, excepto por el uso de agentes químicos que produzcan las células de aire. El concreto celular es una modificación del concreto normal y la diferencia entre ambos es su densidad y no su calidad. (Cervantes Abarca, 2008)

2.1.2 Clasificación

Su clasificación es por el tipo de curado, densidad, composición y preparación.

2.1.2.1 Por el tipo de curado

Se suele dividir el concreto celular en dos grupos principales según el método de curado: un grupo tiene un curado por humedad (incluye curado al vapor a temperatura ambiente), mientras el otro son los concretos curados en autoclave (vapor saturado a temperaturas cercanas a los 350 °F). (National Research Council, 1961)

2.1.2.1.1 Curado húmedo

Se considera en esta clasificación los métodos de curado que consisten en aplicar agua de manera continua sobre el concreto. El (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., 1999), considera los siguientes métodos:

- *La conservación del encofrado en el lugar:* Los elementos de madera y los paneles sin recubrimiento deben humedecerse antes del vaciado del concreto y deben mantenerse húmedos cuando las condiciones son fuertemente disecantes.
- *El recubrimiento con carpetas aislantes o lonas de plástico:* Se trata de un método muy eficaz en la medida en que no hay corrientes de aire entre el concreto y el material de recubrimiento.
- *La colocación de capas húmedas:* toda la superficie se recubre con capas que se mantienen húmedas continuamente por pulverización. Para evitar que los materiales se vuelen, se utilizan recubrimientos de materia absorbente o de arena.

- *La aplicación de agua en spray:* el curado por agua puede efectuarse por pulverización constante del líquido sobre la superficie, o haciendo que las superficies horizontales queden bajo el agua.
- *La aplicación de un producto de curado por pulverización:* los productos de curado forman una película en la superficie del concreto.

2.1.2.1.2 Curado en autoclave

Este tipo de curado es utilizado en elementos prefabricados de concreto celular. Mediante este curado se acelera los procesos de hidratación y se estimula una segunda reacción química que conduce a la formación de tobermorita (Silicato de Calcio Hidratado), la cual dará al concreto celular rigidez y estabilidad dimensional.

Según (Silva Núñez, 2009), este proceso consiste en introducir los elementos recién moldeados a un autoclave a temperatura sobre los 170°C, con humedad controlada y a una presión de 10 a 11 atmósferas, por un período de entre 8 y 12 horas.

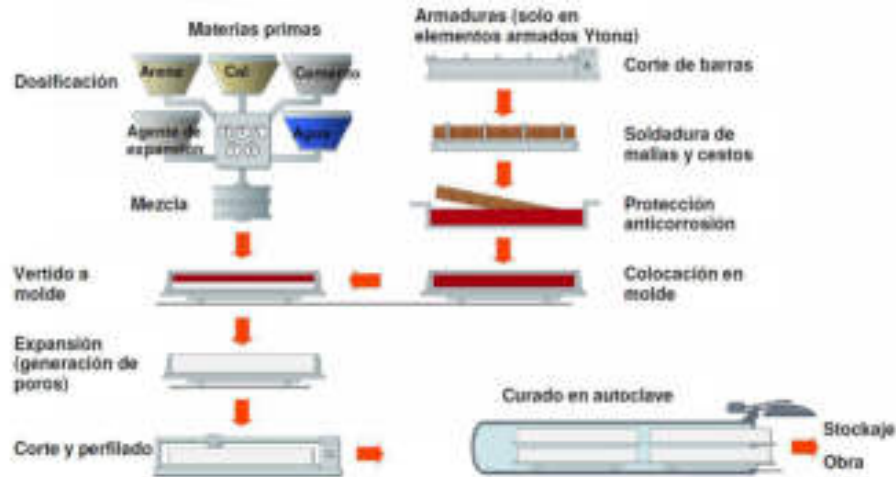


Figura 3: Proceso de Fabricación de Concreto Celular

Fuente: (Ytong España/ Grupo Xella, 2018)

2.1.2.2 Por su densidad

(Velarde Huapaya, 1984) presenta una clasificación por la densidad obtenida:

2.1.2.2.1 Concretos celulares de muy baja densidad

Son aquellos que presentan una densidad del orden de 400 kg/m³. Este tipo de concreto no soporta carga y se utiliza para aislamiento térmico.

2.1.2.2.2 Concretos celulares de densidad intermedia

Abarcan densidades entre los 640 kg/m³ hasta los 960 kg/m³. Soportan cargas pequeñas y se usa para el recubrimiento de pisos, paredes y azoteas.

2.1.2.2.3 Concretos celulares de alta densidad

Su rango de densidad varía entre los 1280 kg/m³ y los 1440 kg/m³, diseñado para soportar cargas y utilizado en elementos pre-fabricados de

concreto. Actualmente no hay un consenso respecto a los valores exactos de estos límites; sin embargo, la variación entre estos no es significativa.

2.1.2.3 Por su composición

2.1.2.3.1 Concretos celular puro

Son mezclas de cemento, agua, gas o espuma, sin agregados sólidos, y por lo general limitado a densidades menores a 700 kg/m³.

2.1.2.3.2 Concreto celular arenado

Contiene cemento, arena de diámetro máximo de 4mm con finos de 0.2 mm, agua y aditivo espumante. Su densidad se encuentra en el rango de los 850 kg/m³ a 1900Kg/m³.

2.1.2.3.3 Concretos celulares con agregados ligeros

Se añade piedra pómez u otro agregado ligero, este reemplaza una parte de la arena utilizada. Según la resistencia de estos agregados se puede obtener mezclas de 1600 kg/m³.

2.1.2.3.4 Concretos celulares con agregados expansivos

Se añade perlita y vermiculita en el concreto celular, ayuda en climas cálido a retener el curado. Estos agregados son utilizados en elementos prefabricados.

2.1.2.3.5 Concretos celulares modificados

Se considera concreto celular modificado a cualquiera de los tipos ya mencionado, que se le añada algún aditivo.

2.1.2.4 Por su preparación

Cifuentes (2015) detallan una clasificación por procesos químicos y espumantes:

2.1.2.4.1 Procesos químicos

La producción por el método químico requiere de un mezclador convencional y la adición de los materiales involucrados. Mediante este proceso, una cantidad dada de sustancias químicas reaccionan químicamente con los componentes del concreto, para liberar gas en la mezcla. La mayoría de plantas industrializadas a nivel mundial utilizan el método químico para la producción de concreto celular, las cuales emplean métodos de curado en autoclave para así obtener un producto de calidad.

- *Método de polvo de aluminio:* Se añade polvo de aluminio a la mezcla de cemento, seco o con agua. Para acelerar la reacción química se añade hidróxido de sodio al final. (Velarde Huapaya, 1984)
- *Método de peróxido de hidrogeno:* Se añade a la mezcla peróxido de hidrogeno e hipoclorito de calcio, estas reaccionan entre sí para generar gas oxígeno y cloruro de calcio. (Velarde Huapaya, 1984)

2.1.2.4.2 Procesos espumantes

En este proceso se necesita un generador de espuma o un inyector de aire, y un mezclador de agitación especial. Debido a las ventajas de costos y competitividad que presenta estos procesos, es que empiezan a tener auge en las producciones industrializadas de Latinoamérica.

- *Método de espuma generado por el batido:* Este método consiste en añadir un aditivo generador de espuma junto a los demás componentes de la

mezcla de concreto. Este aditivo al entrar en contacto con el agua y al ser mezclado una cantidad determinada de tiempo, se consigue generar espuma en la mezcla.

Existen varias formas de determinar las dosificaciones óptimas para el uso de este aditivo, se pueden realizar ensayos de prueba o se puede seguir la dosificación recomendada por el fabricante.

En nuestro país los principales aditivos espumantes son: Sika® Lightcrete PE y MasterCell 100. Estos se pueden usar para una inclusión de aire de hasta un 40% del volumen de la mezcla y, debido a que la resistencia a la compresión es función de la densidad, se recomienda utilizar aditivos superplastificantes para aumentar la resistencia del concreto.

- *Método de espuma preformada:* Mediante el uso de un equipo generador de espuma se obtiene una espuma estable que se añade a la masa cementante, la mezcla de espuma más cemento debe mantener su consistencia hasta mezclarse con los agregados.

Es necesario un buen control de la cantidad de espuma incorporada a la mezcla porque con el tiempo perderá estabilidad, convirtiéndose en líquido. (Lazo Arraya, 2017).

En esta clasificación se incluye el uso de espuma de polietileno como material espumante. El polietileno expandido o espuma de polietileno es un termoplástico cuyas siglas en inglés son EPE. Se trata de una espuma de polietileno semirrígida, no reticulada creada mediante la disolución y mezcla de un gas en el polietileno líquido que, al expandirse, produce una estructura celular cerrada. (Pacheco Tinoco, 2018)

Para el control de calidad se tienen en cuenta:

- ASTM C 796: Método estándar para la medición en laboratorio del desempeño de espuma química a ser usada en la producción de las celdas de aire para fabricar concreto celular.
- ASTM C 869: Especificación que cubre los agentes especialmente formulados para la producción de espuma preformada. (Fundamentos, especificaciones, usos y futuro del concreto celular en Guatemala, 2015)

2.1.3 Materiales del Concreto Celular

2.1.3.1 Cemento

Para la presente investigación se utilizará cemento portland HE, debido a que genera una alta resistencia inicial, otorgándole propiedades adicionales al concreto para lograr una alta durabilidad.

Tabla 1: Características técnicas del Cemento Tipo HE

REQUISITOS FÍSICOS	REQUISITOS NORMA TÉCNICA NTP 334.082 ASTM C 1157		DESEMPEÑO CEMENTO YURA ALTA RESISTENCIA INICIAL - TIPO HE		REQUISITOS NORMA TÉCNICA CEMENTO TIPO I NTP 334.009 / ASTM C 150	
- Superficie específica Blaine (cm ² /g)	-	-	4400	-	2600 Mínimo	-
- Expansión en autoclave (%)	0,80 Máximo	-	0,00	-	0,80 Máximo	-
- Fraguado Vícat Inicial (minutos)	45 Mínimo	-	170	-	45 Mínimo	-
- Fraguado Vícat Final (minutos)	420 Máximo	-	210	-	375 Máximo	-
- Contenido aire Mortero (%)	-	-	4,50	-	12,00 Máximo	-
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	kg-f/cm ²	MPa	kg-f/cm ²	MPa	kg-f/cm ²	MPa
1 día	122	12	135 - 145	13,2 - 14,30	-	-
3 días	244	24	252 - 272	24,7 - 26,67	122	12
7 días	-	-	306 - 366	30,0 - 35,90	194	19
28 días	-	-	410 - 435	40,2 - 42,70	-	-

Fuente: (YURA, 2019)

2.1.3.2 Agua

El agua utilizada en la investigación cumple con los requisitos especificados en la norma NTP 339.088, requisitos de calidad de agua para el concreto.

La cantidad de agua se dosifica por consistencia, ya que el exceso de agua queda en los poros y posteriormente se evaporará, no teniendo la connotación que tiene en los concretos convencionales; las relaciones agua/cemento utilizadas van desde 0.4 a 1.0, el uso de superplastificante para reducir esa relación puede producir inestabilidad de la espuma. (Jones & McCarthy, 2005)

2.1.3.3 Agregado

En el concreto celular es de vital importancia el peso volumétrico del concreto y está directamente relacionado al peso volumétrico de los agregados, debido a que estos constituyen un gran porcentaje de la mezcla del concreto. Para la

fabricación de concreto celular se utiliza agregado convencional o agregado ligero.

Tomando como referencia la tesis titulada “DISEÑO DE CONCRETO CELULAR PARA DIFERENTES DENSIDADES, ANALISIS DE SUS PROPIEDADES Y SUS APLICACIONES” (Lazo Arraya, 2017). La presente investigación utilizará agregado fino proveniente de la cantera El Huayco y no se utilizará agregado grueso, debido a que este diseño ofrece los resultados más óptimos para la aplicación de nuestro concreto celular.

El uso de los agregados está regido por las siguientes normas, las cuales se deberán verificar previo a su uso.

ASTM C33: Standard Specification for Concrete Aggregates. (Especificación estándar para agregados para concreto)

ASTM C 330: Lightweight Aggregates for Structural Concrete. (Especificación estándar para agregados ligeros para concreto estructural)

ASTM C 332: Lightweight Aggregates for Insulating Concrete. (Especificación estándar para agregados ligeros para concreto aislante)

Se realizarán los ensayos mediante el procedimiento especificado según norma:

Tabla 2: Normas de ensayos al agregado

ASTM D-75	NTP 400.010	Extracción y preparación de las muestras.
ASTM C136:1996	NTP 400.012-2002	Análisis granulométrico del agregado fino y grueso.
ASTM C566	NTP 339.185	Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.
ASTM C127	NTP 400.021-2002	Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso.
ASTM C128	NTP 400.022-2002	Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino.
ASTM C29	NTP 400.016	Método de ensayo estándar para determinar la densidad en masa (peso unitario) e índice de vacíos en los agregados.

Fuente: (Lazo Arraya, 2017)

2.1.3.4 Aditivos

Los aditivos son materiales que se añaden a la mezcla (durante o después de la formación de la pasta de cemento) y que modifican algunas características del concreto. Estos deben cumplir con los requisitos establecidos en las normas ASTM C260 y C494.

La norma española UNE-EN 934-2, define a los aditivos como: “Producto incorporado en el momento del amasado del concreto, en una dosis inferior o igual al 5% en masa del contenido en cemento del concreto, con el fin de modificar las propiedades de la mezcla en estado fresco y/o endurecido.”

Para la elaboración de concreto celular se utilizará un agente espumante y un reductor de agua, estos cumplen las especificaciones de las normas y al ser del mismo fabricante son compatibles.

2.1.4 Propiedades

La característica más sobresaliente del concreto celular es su densidad, sin embargo, este sistema presenta otras ventajas en la industria de la construcción en comparación con otros materiales como son sus propiedades acústicas, térmicas, trabajabilidad, etc. (Zamora Terrones, 2015)

Una de las propiedades por las que sería útil aplicar el concreto celular en muros de ductilidad limitada es la de transmitancia térmica, ya que esta es menor que la del concreto e incluso que la de los ladrillos como se puede ver en la Tabla 3.

Tabla 3: Características técnicas del Concreto Celular y otros Sistemas Constructivos

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS				
PROPIEDADES	Ladrillos	Hormigón	Madera	Concreto Celular
Transmitancia Térmica	2,56 W/m ² °K	3,33 W/m ² °K	0,72 W/m ² °c	0,90 W/m ² °K
Aislación Acústica	40 a 50 db	35 a 40 db	20 db	36 a 45 db
Resistencia al Fuego	F - 30 a F - 120	F - 60 a F - 180	F - 15	F - 60 a F - 180
Densidad	1200 Kg/m ³	2400 Kg/m ³	800 Kg/m ³	700 Kg/m ³
Coefficiente de Conductividad Térmica	0,79 W/m °K	1,63 W/m °K	0,23 W/m °K	0,16 W/m °K
Coefficiente de Absorción de Agua	4 a 8	9 a 25	22 a 30	35

Fuente: (Solís & Zamora, 2013)

2.1.4.1 Conductividad Térmica

El aislamiento térmico está dado por la resistencia de un elemento al flujo del calor, puede considerarse como el coeficiente de resistencia a la transmisión del calor. El aislamiento térmico esta expresado mediante la conductividad térmica (K) que es la cantidad de calor que fluye a través de un área unitaria en la unidad de tiempo, cuando la diferencia de temperaturas entre las caras es unitaria y el espesor del material también es unitario. (Lazo Arraya, 2017)

Esta propiedad es una de las más atractivas a la hora de escoger concreto celular como sistema constructivo. Sus valores de conductividad térmica K oscilan desde

los 0.11 hasta 0.20 W (m . K), el cual le confieren propiedades de aislamiento que protegen contra el frío y el calor en las construcciones en las que se usa.

La conductividad térmica del concreto celular se mide por medio del Guarded Hot Plate descrito en ASTM C177 o como se indica en ASTM C518, cuando el ensayo para un concreto específico no sea aplicable se podrá usar como guía general la tabla 3.3 de ACI 523.2R y de ACI 523.1R (Cifuentes et al.,2015)

La presente investigación no realizara este ensayo debido a la falta de equipo adecuado, se considerará un valor de 0,77 W/(m.K) según la tabla proporcionada por la ACI.

Tabla 4: Conductividad Térmica del Concreto

Oven-dry density, lb/ft ³ (kg/m ³)	Thermal conductivity k	
	Btu/h.ft ² .(°Fin.)	W/(m.K)
50 (800)	1.3	0.20
65 (1080)	2.1	0.30
80 (1280)	2.8	0.40
95 (1520)	4.0	0.57
110 (1760)	5.4	0.77

Fuente: ACI 523.3R-14

2.1.4.2 Coeficiente de expansión térmica

El coeficiente de expansión térmica varía directamente con la densidad, se evalúa utilizando deformímetros y su valor usual es de 9.0 a 12.6 x 10⁻⁶ por °C. (Cifuentes et al.,2015)

Se procederá con el ensayo, en cumplimiento de las normas TEX-428-A y AASHTO TP-60 (Anexo H.3).

2.1.4.3 Absorción y capilaridad

El concreto celular presenta una absorción inferior a la de materiales tradicionales como el ladrillo y el concreto armado.

Debido a la presencia de celdas esféricas cerradas, distribuidas homogéneamente en su estructura, se obtiene una baja capilaridad y absorción de agua en las unidades de Hormigón celular. (Martínez Duguet, 2009)

2.1.4.4 Resistencia al fuego

El concreto convencional no es combustible, pero el fuego puede afectar la capacidad de soportar carga de los elementos estructurales. Esto es debido a que los concretos celulares son relativamente homogéneos, en contraposición a los concretos convencionales, en el cual el agregado grueso produce diferentes expansiones que fracturan y desintegran el concreto. (Leitch, 1980)

La resistencia al fuego de concretos celulares es mayor a los del concreto convencional. (Lazo Arraya, 2017)

Los concretos celulares tienen una resistencia al fuego que mejora con la reducción de la densidad del concreto, pero pierde resistencia mecánica. La pérdida de rigidez se produce a partir de 90°C independientemente de la densidad del concreto, ya que el agua se evapora del cuerpo poroso. (Jones & McCarthy, 2005)

Si una superficie de concreto celular se ve expuesta a un calor intenso, no se rompe o explota. Consecuentemente el acero de la pared se encuentra protegida por una mayor cantidad de tiempo. Una pared de concreto celular de 15 cm de espesor permanece intacta después de estar expuesta 3 horas a una temperatura de 1200 °C.

Esta capacidad para resistir el flujo del calor a altas temperaturas, tal como se mide por el aumento de la temperatura en la cara no expuesta de un conjunto durante una prueba de fuego, es un criterio importante en la medición del retardo del fuego. Pruebas de retardo de fuego se han realizado en paredes, pisos y techos contruidos de concreto celular. Resultados de pruebas y detalles de construcción son publicados por ACI Comité 216 en su "Guía para Determinar la Resistencia al Fuego de elementos de hormigón (ACI 216R - 89)", por la Asociación Americana de Seguros, y por Underwriters Laboratories, Inc." (Cifuentes et al.,2015)

2.1.4.5 Propiedades acústicas

Desde el punto de vista del diseño acústico, los dos conceptos más relevantes son: acondicionamiento y aislamiento acústico. El primero se ocupa del comportamiento de las ondas sonoras sólo dentro de una sala, y el segundo se encarga de la transmisión de las ondas sonoras entre espacios distintos. Para el primer caso, una de las variables a considerar es la absorción acústica, que se encuentra relacionada al coeficiente de absorción, y se asocia a una sala en particular. El coeficiente de absorción, en cambio, es una propiedad de los materiales. (EMB Construcción, 2003)

La efectividad de muros sólidos para absorber el sonido transmitido es proporcional al peso del muro, es decir, entre más ligero sea el material más aislamiento acústico proporciona, teniendo en cuenta una distribución uniforme de vacíos para el aislamiento de frecuencias altas y bajas.

La estructura de los bloques de Hormigón celular al aprisionar millares de burbujas de aire independientes, unas de otras, forma un colchón natural de aire que constituye una barrera contra las ondas sonoras. Los ruidos del interior y exterior se atenúan considerablemente. Por ejemplo, un muro construido con bloques de este material de 15 cm. de espesor garantizan un índice de

comportamiento acústico de 39,2 dB(A).
(https://www.ecured.cu/Hormig%C3%B3n_celular)

En la presente investigación no se considera relevante la propiedad de acondicionamiento acústico, debido a que en los EMDL no se utilizan frecuencias altas y bajas.

2.1.4.6 Contracción por secado

La contracción por secado no es usualmente crítica en el concreto celular usado para el aislamiento de la cubierta del techo o aplicaciones geotécnicas, la razón es porque cuando es usado en aislamiento de cubiertas no es considerado como elemento que tenga contribución estructural. La contracción por secado es típicamente del orden del 0.30 al 0.60% después de 6 meses al 50% de humedad relativa. Los efectos de la contracción pueden ser mitigados con la adición de fibras a la mezcla.

Sin embargo cuando es prefabricado para aplicaciones estructurales o que no sean las mencionadas anteriormente, el potencial de contracción por secado de concretos celulares debe ser determinado, de conformidad con la norma ASTM C 426 o ASTM C 341. (Cifuentes et al.,2015)

2.2 Edificios con Sistemas de Muros de Ductilidad Limitada

2.2.1 Historia

En la década del 80 se hicieron algunos edificios con muros de concreto armado que por congelamiento en los precios de acero y cemento dieron resultados atractivos en cuanto a los costos.

Estos edificios tenían muros de 15 cm de espesor, con una malla central y núcleos confinados en los extremos.

Sin embargo, poco a poco se fueron dejando de lado ya que la construcción de estos edificios requería de encofrado metálico el cual pocas empresas disponían.

Desde el 2001 los costos relativos del acero, concreto, mano de obra y financiamiento impulsado por el Gobierno permitieron a la comunidad de ingenieros peruanos retomar la construcción de edificios de muros de concreto. Las empresas concreteras y las productoras de acero habilitado, en coordinación con ingenieros proyectistas y constructores, lograron un edificio de muros de concreto armado de construcción muy rápida y bien planificada. El resultado fue un edificio económico apropiado para cubrir el déficit habitacional en el sector medio y medio-bajo.

En el 2003, ya se habían construido muchos edificios sin contar con normas específicas reconociéndose las ventajas de plazo, economía y ordenamiento de obras. A raíz de esta carencia de normas el Colegio de Ingenieros del Perú forma una comisión para tratar el tema y desarrollar normas específicas.

En diciembre del 2004 el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO) incorporó las disposiciones específicas para EMDL a las Normas de Diseño Sismorresistente y Concreto Armado.



Figura 4: Edificaciones con muros de ductilidad limitada MDL en Chiclayo - Perú

Fuente: <http://edificacionesdecalidad.com/muros-ductilidad-peru>

1.2.2 Definición

Existe información de diferentes fuentes que definen a los Edificios con Muros de Ductilidad Limitada de la siguiente manera:

- NORMA E0.30 (Diseño Sismorresistente), Son edificaciones que se caracterizan por tener un sistema estructural donde la resistencia sísmica y de gravedad están aportadas por muros de concreto con espesores reducidos, sin extremos confinados y con refuerzo dispuesto en una sola capa.
- ALEJANDRO MUÑOZ, define a las estructuras de muros de ductilidad limitada como edificios multifamiliares de 5 a 8 pisos con departamentos de mediano y bajo costo, de arquitectura modesta. Cada nivel con departamentos modulares alrededor de 80 m².
- RAÚL DELGADO, dice que las estructuras de muros de ductilidad limitada son edificios de muros portantes tanto para solicitaciones de gravedad como sísmicas, generalmente no tienen vigas y las losas se apoyan directamente sobre los muros.

De acuerdo a las definiciones existentes podemos decir que los Edificios con Muros de Ductilidad Limitada son un sistema estructural donde las solicitaciones de carga por sismo y gravedad son soportadas por muros delgados de concreto armado en ambas direcciones, los cuales no pueden desarrollar desplazamientos inelásticos importantes por el uso de mallas electrosoldadas que tiene poca ductilidad en comparación al acero convencional, además estos muros carecen de extremos confinados y el refuerzo vertical y horizontal están distribuidos en una sola capa. Teniendo como sistema de piso a las losas macizas o aligeradas.

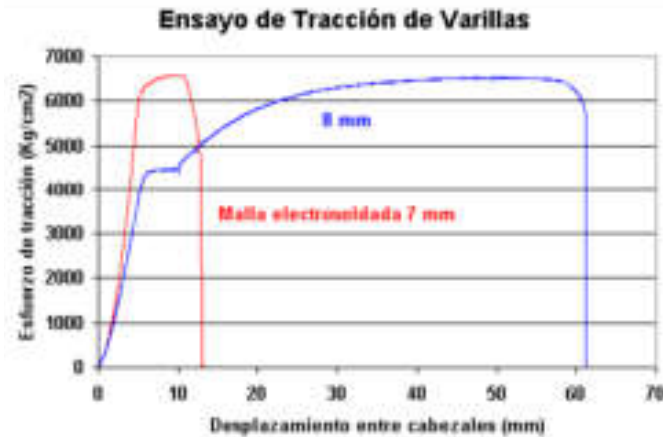


Figura 5: Grafico de ensayo de tracción de una malla electrosoldada en comparación de acero convencional de 8mm

Fuente: Investigaciones Experimentales en Placas Delgadas de Concreto Armado con Ductilidad Limitada, Ing. Angel San Bartolomé

2.2.3 Características arquitectónicas

Algunas características que se pueden considerar en este tipo de edificios son:

- Adoptan los valores mínimos para las áreas y dimensiones de los ambientes de los departamentos.
- La norma actual Sismorresistente limita el número de pisos a ocho como máximo.
- Los estacionamientos son ubicados generalmente en los exteriores de los edificios.
- Los departamentos son de un área aproximada de 50 a 90 m²
- Presentan una distribución muy compacta.
- Las plantas están compuestas por departamentos típicos modulares que facilitan la simetría de esta.
- Los muros tienen una función estructural, así que no es posible cambiar o quitar muros a criterio de los usuarios para rediseñar la distribución de ambientes.

2.2.4 Características estructurales

Podemos considerar las siguientes características estructurales:

- Los Edificios con Muros de Ductilidad Limitada se caracterizan por ser un sistema estructural en el cual la resistencia sísmica y de cargas de gravedad es soportadas por muros de concreto armado de espesores reducidos los cuales no pueden desarrollar desplazamientos inelásticos importantes.
- En estos muros de espesores reducidos se prescinde de extremos confinados y el refuerzo vertical se dispone en una sola hilera. Las losas de piso, macizas o aligeradas, cumplen la función de diafragma rígido.
- Por la reducida área de ambientes es que cuentan con una alta densidad de muros en ambas direcciones
- Por lo general la cimentación usada es una platea cuyo espesor puede variar entre 20 y 25 cm.
- La altura de techo varía entre 2.4 y 2.45 m por lo que no es común el uso de vigas.

2.2.5 Alcances de la Norma Técnica Peruana E-030 para EMDL

Algunas especificaciones de la norma técnica peruana para este tipo de edificios son:

- El número máximo de pisos que se puede construir con este sistema es de ocho pisos
- Un modelo aceptable de este tipo de edificios debe considerar la distribución de muros en direcciones perpendiculares
- El factor de reducción sísmica (R) para estos edificios es igual a 4 pudiendo reducirse en caso que se presenten irregularidades
- La deriva máxima de entre piso no debe exceder a 0.005

1.2.6 Criterios de estructuración y diseño

Los criterios para la estructuración y diseño de un EMDL se tomaran del libro “Estructuración y Diseño de Edificaciones de Concreto Armado” (Blanco Blasco, 2011), en el cual se recomienda lo siguiente:

- *Simplicidad y Simetría:*

La experiencia ha demostrado repetidamente que las estructuras simples se comportan mejor durante los sismos. Hay dos razones principales para que esto sea así: Primero, nuestra habilidad para predecir el comportamiento sísmico de una estructura es marcadamente mayor para las estructuras simples que para las complejas; y segundo, nuestra habilidad para idealizar los elementos estructurales es mayor para las estructuras simples que para las complicadas.

El hacer un modelo para realizar el análisis estructural de un pórtico perfectamente definido o de una placa continua puede resultar sencillo y los resultados pueden reflejar aproximadamente bien el comportamiento real; sin embargo, cuando las estructuras son complejas existen dificultades en el modelo a realizar, haciéndose simplificaciones que no permiten asegurar la similitud del modelo y el comportamiento real.

La simetría de la estructura en dos direcciones es deseable por las mismas razones; la falta de simetría produce efectos torsionales que son difíciles de evaluar y pueden ser muy destructivos.

- *Resistencia y Ductilidad:*

Las estructuras deben de tener resistencia sísmica adecuada en todas las direcciones. El sistema de resistencia sísmica debe existir en por lo menos dos direcciones ortogonales de tal manera que se garantice la estabilidad tanto de la estructura como un todo, como cada uno de sus elementos.

Las cargas deben transferirse desde su punto de aplicación hasta su punto final de resistencia. Por lo tanto, deben proveerse una trayectoria o trayectorias continuas, con suficiente resistencia y rigidez para garantizar el adecuado transporte de las cargas.

Un antecedente que es conveniente tener presente en la estructuración, es que la ductilidad depende de la carga aplicada al elemento. Este efecto actúa en forma diferente, según el tipo de material constituyente. Si este es concreto armado, un aumento de la carga se traduce en un aumento de la resistencia con la disminución de la ductilidad.

Al suministrar ductilidad a una estructura debe tenerse presente que esta no depende únicamente de la ductilidad de sus elementos individuales, sino también de la correspondiente a las conexiones entre ellas, por lo cual estas deben diseñarse para permitir el desarrollo de dicha ductilidad.

Al diseñar una estructura de concreto armado debe garantizarse que la falla se produzca por fluencia del acero y no por compresión del concreto.

- *Hiperestaticidad y Monolitismo:*

Como concepto general de diseño sismo resistente debe indicarse la conveniencia de que las estructuras tengan una disposición hiperestática.

Ello logra una mayor capacidad resistente al permitir que, la producción de rotulas plásticas, se disipe en mejor forma la energía sísmica y, por otra parte, al aumentar la capacidad resistente se otorga a la estructura un mayor grado de seguridad.

- *Uniformidad y continuidad de la estructura:*

La estructura debe ser continua tanto en planta como en elevación con elementos que no cambien bruscamente de rigidez a manera de evitar concentración de esfuerzos.

- *Rigidez lateral:*

Para que una estructura pueda resistir fuerzas horizontales sin tener deformaciones importantes será necesario proveerla de elementos estructurales que aportes rigidez lateral en sus direcciones principales.

Actualmente es una práctica generalizada la inclusión de muros de corte en edificios aporricados con el fin de tener una combinación de elementos rígidos y flexibles.

- *Diafragma rígido:*

En los análisis es usual considerar como hipótesis básica la existencia de una losa rígida en su plano, que permita la idealización de la estructura como unidad, donde las fuerzas horizontales aplicadas puedan distribuirse en las columnas y muros (placas) de acuerdo a su rigidez lateral, manteniendo todas la misma deformación lateral para un determinado nivel.

2.2.7 Ventajas y desventajas del sistema de muros de ductilidad limitada

2.2.7.1 Ventajas

- En los edificios con sistema de muros de ductilidad limitada generalmente se utiliza un piso típico el cual se repite en cada nivel del edificio hasta llegar al número de pisos que sea requerido, esta práctica hace que los procesos constructivos se optimicen lo que da como resultado una rapidez constructiva mayor a la de otro tipo de sistemas de edificaciones.
- En la actualidad la industrialización y oferta de los materiales de construcción como son la producción del concreto premezclado, el acero de refuerzo o los encofrados metálicos hacen que la ejecución de este tipo de obras sea más económica en comparación a otros tipos de sistemas de edificación.

2.2.7.2 Desventajas

- El poco aislamiento acústico producto del concreto y del espesor de los muros hace que los sonidos sean emitidos de un ambiente a otro sin muchas restricciones.
- La alta conductividad térmica hace que los ambientes no mantengan una temperatura constante haciendo que los espacios interiores sean influenciados por el calor o el frío del clima.
- Luego del secado del concreto, especialmente en las zonas débiles, se puede generar la aparición de fisuras.
- Existen zonas en las que la congestión del acero de refuerzo y el paso de tuberías sumado con el poco espesor de los muros dan paso a la generación de cangrejas, para ello se deberá tener un buen control en la calidad del concreto que se utilizará.
- Durante el proceso del vaciado del concreto puede producirse segregación en la base de los muros debido a la filtración en las bases de los encofrados y la altura de vaciado mayor a 1.2m recomendada, ya que los muros son encofrados en su totalidad.

2.3 Marco Normativo

- NORMA E-030:2018.
- NORMA E-060:2009.
- NORMA E-020:2009.
- ACI 523.3R-93 Guide for cellular concretes above 50 pcf, and for aggregate concretes above 50 pcf with compressive strengths less than 2500 psi.
- AAHTO TP-60 Coefficient of Thermal Expansion of Hydraulic Cement.
- TEX-428-A Determining the Coefficient of Thermal Expansion of Concrete
- ASTM C143 Método de ensayo para la medición del asentamiento del hormigón con el cono de Abrams.

- ASTM C138 Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto.
- ASTM C39 Método de ensayo para el esfuerzo a la compresión de muestras cilíndricas.
- ASTM C567 Método normalizado de ensayos para la determinación de la densidad de concreto estructural liviano.
- ASTM C469 / C469M - 14 Método de prueba estándar para el módulo de elasticidad estática y la relación de Poisson del concreto en compresión.
- NTP 400.017 AGREGADOS. Método de ensayo para determinar el peso unitario del Agregado.
- NTP 400.037 AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto.
- NTP 339.035 HORMIGON. Método de ensayo para la medición del sentamiento del hormigón con el cono de Abrams.
- NTP 339.046 HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto).
- NTP 339.034 HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas.
- NTP 339.183 CONCRETO. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio.
- NTP 339.078 CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo.

2.4 Diseño de Mezclas de Concreto

2.4.1 Generalidades

El diseño de mezclas de concreto, es conceptualmente la aplicación técnica y práctica de los conocimientos científicos sobre sus componentes y la interacción entre ellos, para lograr un material resultante que satisfaga de la manera más eficiente los requerimientos particulares del proyecto constructivo. (Pasquel Carbajal, 1999)

La dosificación de las mezclas de concreto se puede dividir en tres tipos:

- Dosificación del concreto de acuerdo a la mezcla de sus componentes en volumen, y en función de la riqueza de cemento que se necesite por m³.
- Dosificación por peso de sus componentes, partiendo de una cantidad fijada de cemento por m³.
- Dosificación en razón a las resistencias requeridas del concreto a determinada edad.

En todos los casos se puede incluir otros datos como consistencia, tamaño máximo nominal, etc.

2.4.2 Metodología de Dosificación

Para la presente investigación se realizará el diseño de mezclas del concreto celular según el método basado en los volúmenes absolutos de los componentes del concreto, siguiendo las pautas de la guía para concreto celulares ACI 523.3R-93 (Anexo H.3).

Para ello se tomarán en cuenta los siguientes aspectos para obtener un concreto celular que cumpla con los requerimientos necesarios para su aplicación en edificios con un sistema de muros de ductilidad limitada.

2.4.2.1 Relación A/C

Según el reglamento CIRSOC 202 (Complemento al Reglamento Argentino para Obras Civiles) para concreto liviano estructural el contenido mínimo de cemento es de 300 kg/m³ de concreto y como máximo de 500 kg/m³. El aumento de cemento, manteniendo la composición de la mezcla en los otros elementos, en general eleva la resistencia. Sin embargo, para el concreto celular este aumento no es muy significativo.

Se conoce que una disminución en la relación agua-cemento produce concretos de mayor resistencia. Debido a que necesitamos una buena pasta, ya que la presencia de vacíos disminuirá la misma, es que se necesita relaciones agua-cemento bajas. Se recomienda una relación a/c de 0.30 hasta 0.40.

Para la presente investigación se utilizará una relación a/c de 0.40, debido a que presenta mejores resultados para una aplicación en edificios con muros de ductilidad limitada.

2.4.2.2 Resistencia y Fluidez del Mortero

La resistencia y fluidez de un mortero se ve afectado por la cantidad de pasta de la misma.

La proporción pasta / arena tiene cierta influencia en la resistencia del mortero, como podemos ver en el gráfico, la resistencia aumenta a mayor contenido de pasta con las relaciones agua cemento 0.35 y 0.40, es decir cuando la pasta aumenta de 30% a 60% la resistencia aumenta, mientras que si la pasta aumenta de 60% a 90% la resistencia disminuye.

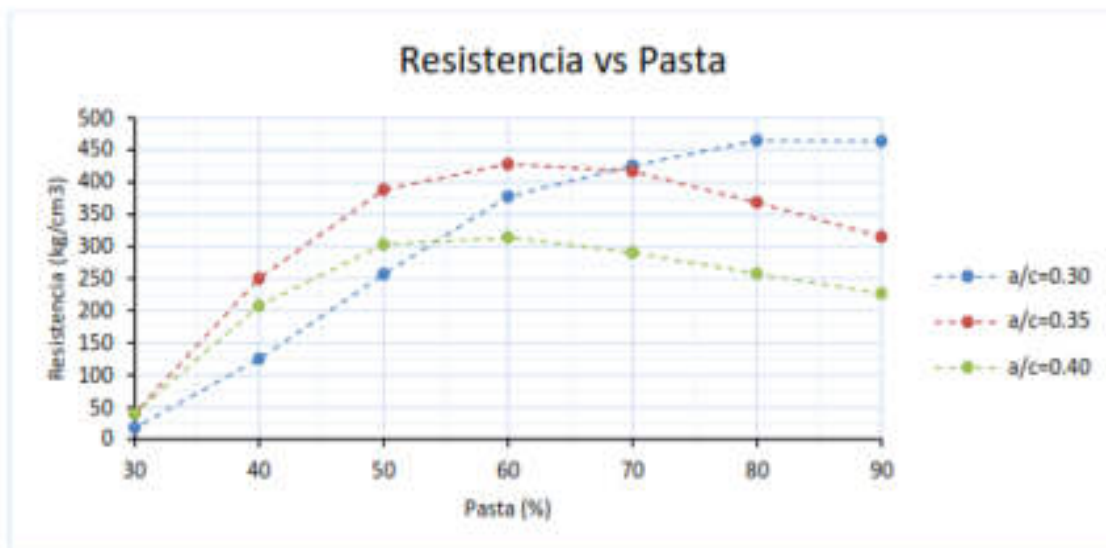


Figura 6: Resistencia - % de pasta

Fuente: (Lazo Arraya, 2017)

Así mismo, la relación a/c afecta la fluidez del mortero, como se observa en la tabla.

Tabla 5: Ensayo de Fluidez

ENSAYO PARA DETERMINAR LA FLUIDEZ DE MORTEROS												
	Diámetros	P100A0	P90A10	P80A20	P70A30	P60A40	P50A50	F40A60	F30A70	P20A80	P10A90	
AC = 0.40	O1	FLUJO > 38 CON SEGREGACION					FLUJO > 38 SIN SEGREGACION	5.0	DESMORONAMIENTO DE LA MUESTRA			
	O2							5.0				
	O3							4.0				
	O4							4.0				
	Fluidez	> 160	> 160	> 160	> 160	> 160	> 160	18.0	-	-	-	
AC = 0.35	O1	FLUJO > 38 SEGREGACION			FLUJO > 38 SIN SEGREGACION		20.0	DESMORONAMIENTO				
	O2						20.0					
	O3						20.0					
	O4						19.0					
	Fluidez	> 160	> 160	> 160	> 160	> 160	79.0	-	-	-	-	
AC = 0.30	O1	33.0	34.0	30.0	25.0	13.0	2.0	0.0	DESMORONAMIENTO			
	O2	33.0	35.0	31.0	24.0	13.0	1.0	1.0				
	O3	33.0	35.0	31.0	25.0	13.0	1.0	1.0				
	O4	32.0	34.0	30.0	25.0	14.0	2.0	0.0				
	Fluidez	131.0	138.0	122.0	99.0	53.0	6.0	2.0	-	-	-	

Fuente: (Lazo Arraya, 2017)

De estos estudios podemos concluir entonces que, para nuestra investigación que presenta una relación a/c de 0.40, se necesita un porcentaje de pasta de 30% a 40% con el fin de obtener una adecuada resistencia y fluidez para su aplicación a edificios con un sistema de muros de ductilidad limitada.

Por lo anteriormente explicado, se utilizará un porcentaje de pasta de un 40% para el diseño, debido a que presenta la relación resistencia-fluidez necesaria para el diseño de un concreto celular con aplicación a un edificio de muros de ductilidad limitada.

2.4.2.3 Peso Unitario con respecto al Tiempo

El aditivo espumante reacciona con el agua de mezclado para producir espuma, cuya cantidad se verá afectada no solo por su dosificación, sino también por la velocidad de mezclado y el tiempo de mezcla.

A mayor el tiempo de mezclado se obtendrá un menor peso unitario del concreto, el cual será limitado por la cantidad de aditivo añadido.

De acuerdo a la dosificación de aditivo se tiene un tiempo de mezclado en el cual la espuma llega a ser estable, la estabilidad de la mezcla se mantiene hasta 2 horas, luego que pase ese tiempo la espuma se desestabilizará, lo que provocara en el concreto celular una pérdida de consistencia y una segregación producto de la desaparición de las burbujas en la mezcla.

Al ser una de las principales características del concreto celular su bajo peso unitario, se ha de tener un control de la espuma generada mediante el tiempo de mezclado para asegurar un peso unitario aceptable.

En un concreto celular el peso unitario de la mezcla también afecta a la resistencia del concreto; como se observa en la figura, un mayor peso unitario produce una mayor resistencia.

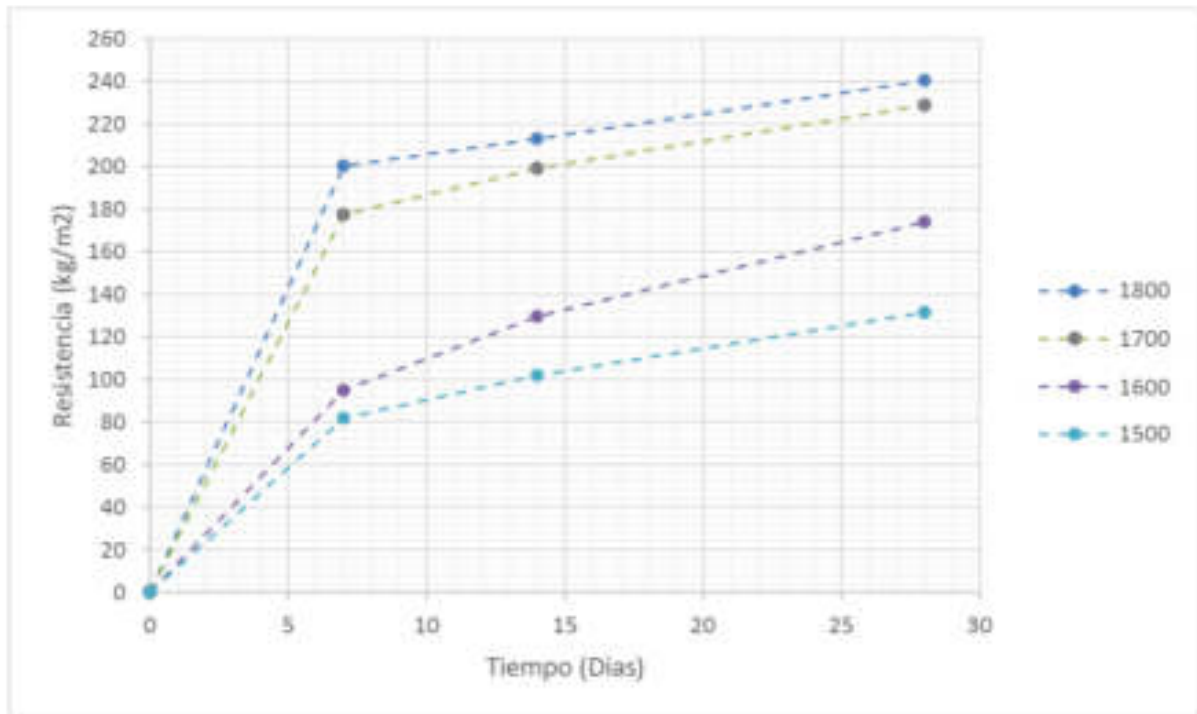


Figura 7: Resistencia a la compresión de concreto celular con varias densidades

Fuente: (Lazo Arraya, 2017)

Para la presente investigación se realizaron ensayos a mezclas con diferentes tiempos de mezclado, para escoger el diseño que ofrezca los mejores resultados para un concreto celular con aplicación a edificios, ofreciendo los siguientes resultados observados en la siguiente gráfica.

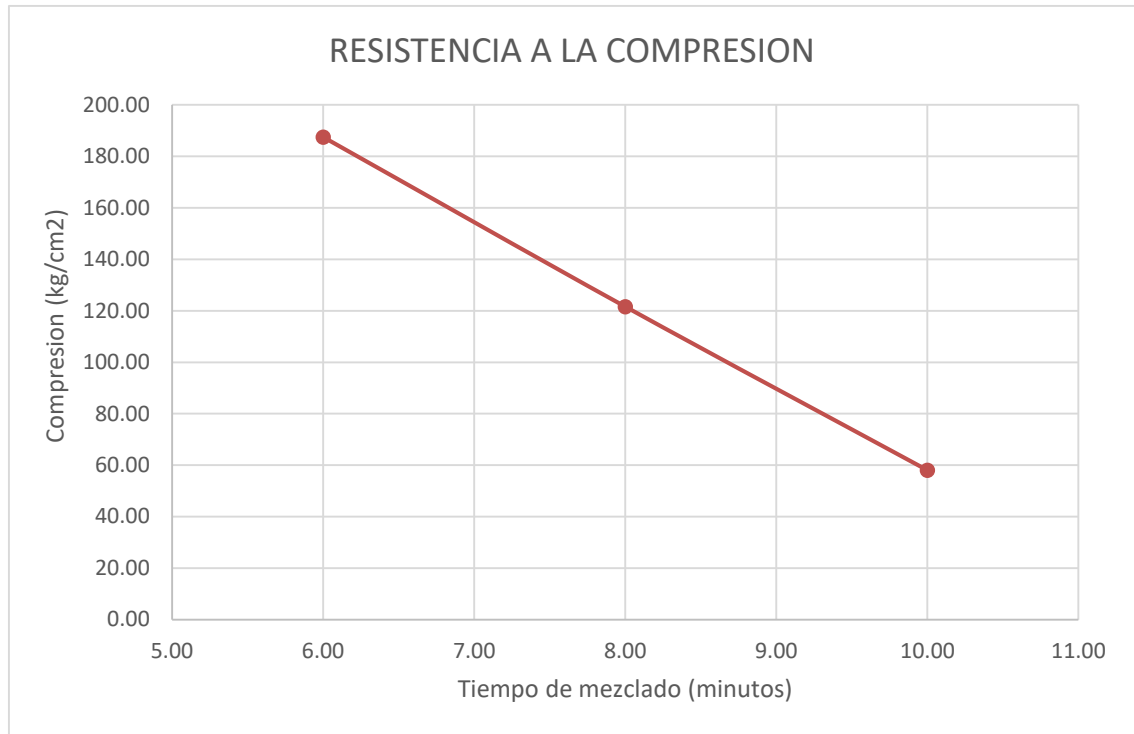


Figura 8: Resistencia a la compresión de concreto celular con diferentes tiempos de mezclado

Fuente: Elaboración Propia

De esta concluimos que, para obtener la resistencia necesaria para la aplicación prevista, será necesario utilizar un tiempo de mezclado de 5 a 6 minutos.

2.4.3 Propiedades de los Agregados y Aditivos

2.4.3.1 Agregado Fino

- Granulometría del agregado fino:

Tabla 6: Granulometría del Agregado Fino Muestra A-1

GRANULOMETRIA MUESTRA A-1						
TAMIZ SERIE AMERICANA		PESO INICIAL = 1000 gr			LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
ABERTURA		PESO RET	RETENIDO	PASANTE		
pulg	mm	gr	%	%	SEGÚN NTP 400.012	
				100,00		
1/4"	6,35	0,00	0,00	100,00		
N° 4	4,76	53,06	5,31	94,69	95,00	100,00
N° 8	2,38	104,80	10,48	84,21	80,00	100,00
N° 10	2,00	93,45	9,35	74,87		
N° 16	1,19	112,53	11,25	63,62	50,00	85,00
N° 30	0,59	180,81	18,08	45,53	25,00	60,00
N° 40	0,43	114,89	11,49	34,05		
N° 50	0,30	100,42	10,04	24,00	10,00	30,00
N° 80	0,18	98,07	9,81	14,20		
N° 100	0,15	47,31	4,73	9,47	2,00	10,00
N° 200	0,07	85,71	8,57	0,89		
FONDO		8,94	0,89	0,00	-	-
TOTAL		1000,00	100,00	-	-	-

Fuente: Elaboración Propia

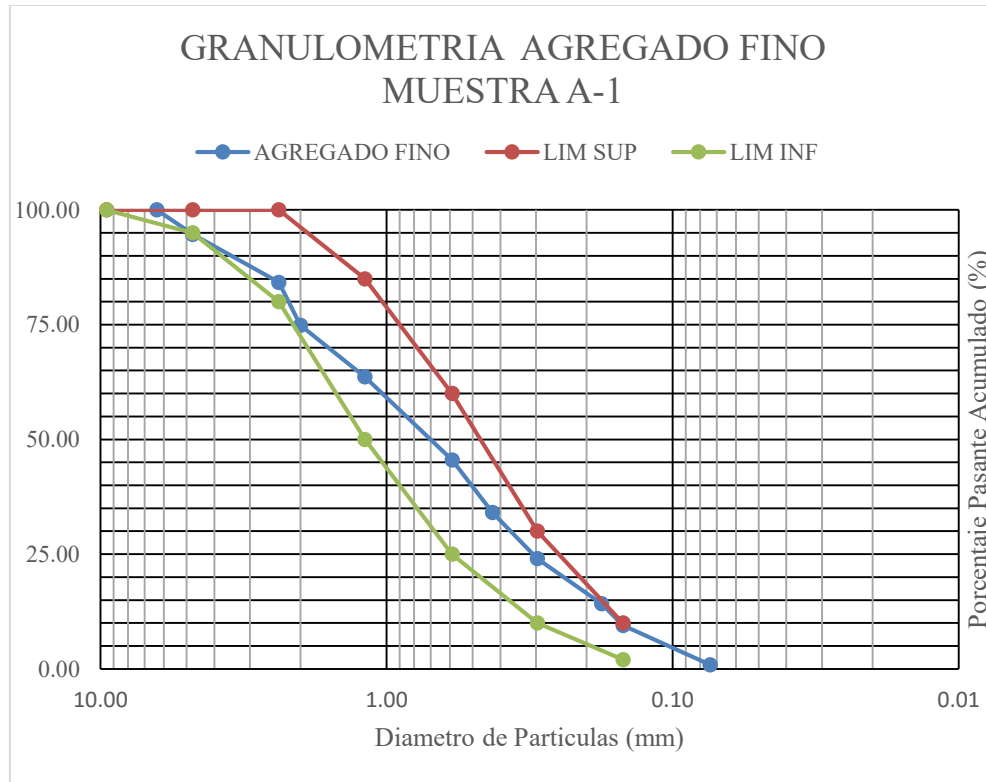


Figura 9: Curva Granulometría Agregado Fino Muestra A-1

Fuente: Elaboración Propia

- *Módulo de fineza (MF):*

Se calcula dividiendo entre 100 la suma del retenido acumulado de los tamices: 6", 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N°30, N° 50 y N° 100.

$$MF = \frac{\sum \%retenido_acumulado}{100}$$

$$MF = \frac{0 + 5.31 + 15.78 + 36.38 + 54.46 + 75.99 + 90.53}{100}$$

$$MF = 2.78$$

- *Peso específico:*

Fa: Peso de la fiola con agua hasta la marca de calibración

Fam: Peso de la fiola con agua y muestra hasta la marca de calibración

Msss: Peso de la muestra saturada superficialmente seca

Ms: Peso de la muestra seca en el horno

- Peso específico SSS:

$$Pe_{SSS} = \frac{M_{SSS}}{F_a + M_{SSS} - F_{am}} * 1000 [kg/m^3]$$

- Peso específico seco:

$$Pe_{seco} = \frac{M_s}{F_a + M_{SSS} - F_{am}} * 1000 [kg/m^3]$$

- Porcentaje de absorción:

$$\%Absorción = \frac{M_{SSS} - M_s}{M_s} * 100 [\%]$$

Tabla 7: Ensayo de Peso Específico y Absorción del Agregado Fino

MUESTRA	M-1	M-2	M-3	UNIDADES
Fa	1358,15	1322,15	1346,74	g
Fam	1659,10	1619,06	1628,57	g
Msss	500,00	500,00	500,00	g
Ms	485,32	485,23	485,29	g
PeSSS	2511,93	2461,96	2291,79	Kg/m3
PeSeco	2438,18	2389,24	2224,37	Kg/m3
Absorción	3,02	3,04	3,03	%

Fuente: Elaboración Propia

$$\text{Peso Especifico} = 2421.90 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Absorción} = 3.0333\%$$

- *Contenido de humedad:*

M_{natural} : Peso de la muestra en estado húmedo o natural

M_{seca} : Peso de la muestra en estado seco

W : Contenido de humedad

$$\%w = \frac{M_{\text{natural}} - M_{\text{seca}}}{M_{\text{seca}}} * 100 [\%]$$

Tabla 8: Ensayo de Contenido de Humedad

MUESTRA	M-1	M-2	M-3	UNIDADES
M_{natural}	500,01	499,99	500,01	g
M_{seca}	495,81	495,96	495,68	g
w	0,85	0,81	0,87	%

Fuente: Elaboración Propia

$$\text{Contenido de Humedad} = 0,84\%$$

- *Peso unitario y contenido de vacíos:*

W_{mo} : Peso del molde

$W_{\text{mo}+\text{mu}}$: Peso del molde más muestra

VOL : Volumen del molde

- o *Peso unitario suelto:*

$$P.U.S. = \frac{W_{\text{mo}+\text{mu}} - W_{\text{m}}}{VOL}$$

Tabla 9: Ensayo de Peso Unitario Suelto

MUESTRA	M-1	M-2	M-3	UNIDADES
W _{mo}	8,681	8,681	8,681	Kg
D	15,15	15,13	15,16	cm
H	17,65	17,65	17,65	cm
VOL	0,003182	0,003173	0,003186	m ³
W _{mo+mu}	13,475	13,406	13,560	Kg/m ³
P.U.S.	1506,74	1488,98	1531,43	Kg/m ³

Fuente: Elaboración Propia

$$\text{Peso Unitario Suelto} = 1509,051 \text{ kg/m}^3$$

- Peso unitario compactado:

$$P.U.C. = \frac{W_{mo+mu} - W_m}{VOL}$$

Tabla 10: Ensayo de Peso Unitario Compactado

MUESTRA	M-1	M-2	M-3	UNIDADES
W _{mo}	8,681	8,681	8,681	Kg
D	15,15	15,13	15,16	cm
H	17,65	17,65	17,65	cm
VOL	0,003182	0,003173	0,003186	m ³
W _{mo+mu}	13,750	13,844	13,887	kg/m ³
P.U.C.	1593,17	1627,01	1634,07	kg/m ³

Fuente: Elaboración Propia

$$\text{Peso Unitario Compactado} = 1618,084 \text{ kg/m}^3$$

- Contenido de vacíos:

$$\%Vacios = \frac{Pe - P.U.S.}{Pe} * 100\%$$

Tabla 11: Ensayo de Contenido de Vacíos

MUESTRA	M-1	M-2	M-3	UNIDADES
Pe	2511,932	2461,963	2291,791	Kg
P.U.S.	1506,74	1488,98	1531,43	Kg/m ³
%Vacíos	0,40	0,40	0,33	%

Fuente: Elaboración Propia

$$\%Vacios = 0,38\%$$

2.4.3.2 Especificaciones de Aditivos

2.4.3.2.1 Aditivo Plastificante SikaCem

SikaCem® Plastificante es un aditivo líquido para elaborar morteros y hormigones fluidos. Reduce la cantidad de agua en aproximadamente un 10 % incrementando la resistencia; no contiene cloruros, de modo que no corroe los metales.

- *Usos:*

- Estructuras en general canales, diques, estructuras de fundación, columnas, vigas, tanques elementos prefabricados, losas, etc.
- Cualquier tipo de estructura, cuando se desee aumentar las resistencias mecánicas o dar mayor fluidez al hormigón.

- *Método de aplicación:*

Mezclar los materiales componentes del hormigón o mortero con parte del agua de mezclado, incorpore el contenido del DoyPack de SikaCem® Plastificante al pastón y complete con la menor cantidad de agua hasta lograr la fluidez requerida.

Para asegurar la homogeneidad del hormigón o mortero, se recomienda mezclar durante 3 minutos adicionales luego de incorporar todos los materiales componentes a la mezcladora.

Para mejorar el desempeño de morteros y hormigones se recomienda mantener la dosificación y proporción de los materiales componentes, utilizar la menor cantidad de agua de mezclado hasta alcanzar la fluidez necesaria para la obra.

Cuidar que se cumplan las correctas condiciones de elaboración, colocación, compactación y curado.

La sobre-dosificación de SikaCem® Plastificante puede causar retardo de fragüe.

El desempeño de los aditivos puede variar si se modifican los materiales componentes o sus cantidades.

2.4.3.2.2 Aditivo espumante Sika Lightcrete PE

Sika® Lightcrete PE es un líquido que actúa como agente espumante concentrado para elaborar mezclas cohesivas y livianas ya sea de concreto, mortero, rellenos hidráulicos, etc.; entre 800 y 1,800 kg/m³, según la dosificación utilizada y tipos de agregados empleados. No contiene cloruros.

- *Usos:*

- Para rellenos hidráulicos cuando las mezclas se segregan, tienen exudación excesiva o cuando los agregados son de granulometría abierta (deficiencia de finos).
- Para morteros de nivelación o afinado de pisos de bajo peso previos a la colocación del acabado final.
- Relleno de zanjas y excavaciones en minas o en obras civiles, rellenos fluidos de densidad y resistencia controlada sin usar compactadores.
- Relleno de tuberías y tanques de almacenamiento de combustibles enterrados que estén fuera de uso.
- Como capas de soporte de bajo tráfico y áreas deportivas sobre suelos con baja capacidad portante
- Elaboración de elementos prefabricados de bajo peso.
- Estructuras de bajo peso vaciadas in situ con el fin de llevar a cabo ampliaciones.
- Revestimiento de estructuras de acero.

- *Detalles de aplicación:*

Se recomienda utilizar dosis de 0.5 kg. a 4 kg por metro cúbico de mezcla.

Adicionar el aditivo con la última parte del agua de la mezcla y agitar vigorosamente unos 10 minutos, asegurándose de obtener una mezcla vigorosa, puede emplearse menor tiempo de mezclado realizando ensayos previos y dependiendo del tipo de mezclador.

La mezcla que se obtiene generalmente es muy fluida, esto facilita el transporte, el bombeo, la colocación y el acabado del mismo.

- *Método de aplicación:*

La mezcla puede ser bombeada sin problemas mediante bombas convencionales. Para altos volúmenes de colocación, puede ser necesario prever un incremento de 100 a 200 kg/m³ en su densidad.

El contenido de espuma incorporada y el grado de cohesión en las mezclas depende de la temperatura ambiente, de la mezcla, los agregados, velocidad y tiempo de mezclado, cantidad de cemento, etc.

Durante la manipulación de cualquier producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase adecuadamente utilizando guantes de goma natural o sintética y anteojos de seguridad.

En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y consultar a su médico.

2.4.4 Diseño de Mezcla

2.4.4.1 Procedimiento

PASO 1: Se elige el contenido de pasta de acuerdo a la cantidad de cemento en la mezcla.

PASO 2: Se elige la relación agua-cemento.

PASO 3: Se verifica la cantidad de cemento.

$$V_{pasta} = V_{cemento} + V_{agua}$$

PASO 4: Se calcula la cantidad de agua.

PASO 5: Se calcula la cantidad de arena por volúmenes absolutos.

$$V_{arena} = 1 - V_{cemento} - V_{agua} - V_{aire}$$

PASO 6: Se aplica la corrección por humedad y absorción.

PASO 7: Se elige la cantidad de aditivo y el tiempo de mezcla para la densidad requerida.

2.4.4.2 Aplicación de la Metodología de Diseño

- *Datos:*

Tabla 12: Datos para Dosificación

CEMENTO		
Peso Especifico	2.90	gr/cm ³
AGEGADO FINO		
Peso Especifico	2421.90	Kg/m ³
Absorción	3.0333	%
Contenido de Humedad	0.84	%
DOSIFICACION ADITIVOS		
Aditivo Plastificante	1	%cemento
Aditivo Espumante	1	Kg/m ³

Fuente: Elaboración Propia

- *Procedimiento:*

PASO 1: Elección del contenido de pasta de acuerdo a la cantidad de cemento en la mezcla.

$$V_p = 40\%$$

PASO 2: Elección de la relación agua cemento.

$$a/c = 0.40$$

PASO 3: Verificación de la cantidad de cemento.

$$V_{pasta} = V_{cemento} + V_{agua}$$

$$V_{pasta} = \frac{C}{PE_{cemento} \times 1000} + \frac{0.40 \times C}{1000}$$

Despejando C:

$$Cemento = C = 537.04 \text{ Kg}$$

PASO 4: Cálculo de la cantidad de agua.

$$Agua = A = 0.40 \times C$$

$$Agua = 214.81 \text{ Kg}$$

PASO 5: Cálculo de la cantidad de arena por volúmenes absolutos.

El volumen de aire inicial será del 6%, teniendo como referencia los valores de informes técnicos (P. Lawrence, 1999), así como las recomendaciones por experiencia de otros investigadores y técnicos.

$$\text{Volumen Cemento} = 0.185$$

$$\text{Volumen Agua} = 0.214$$

$$\text{Volumen Aire} = 0.06$$

$$V_{arena} = 1 - V_{cemento} - V_{agua} - V_{aire}$$

$$V_{arena} = 0.54$$

PASO 6: Corrección por humedad y absorción.

Agua a corregir en la Arena:

$$W_{arena} \times (\text{humedad} - \text{absorción}) = 28.68 \text{ Kg}$$

Cantidad de Agua final:

$$\text{Agua} = 243.50 \text{ Kg}$$

Cantidad de Arena Final:

$$\text{Arena} = 1318.81 \text{ Kg}$$

PASO 7: Elección de la cantidad de aditivo y el tiempo de mezcla para la densidad requerida.

Se utilizará una dosificación de 1% del peso del cemento para el aditivo plastificante.

Se utilizará una dosificación de 1kg por m³ para el aditivo espumante.

Tabla 13: Diseño Final

CEMENTO	537,04	Kg
AGUA	243.50	Kg
ARENA	1318.81	Kg
PLASTIFICANTE	5,37	Kg
ESPUMANTE	1,00	Kg

Fuente: Elaboración Propia

2.4.4.3 Elaboración de Concreto Celular

Para la producción de concreto celular se utilizó un trompo de 9 pie³ y se siguió el siguiente procedimiento:

- Se prepara todos los materiales y equipos a utilizar con antelación, esto es debido al estricto control de tiempo para la fabricación de concreto celular.



Figura 10: Materiales utilizados para la elaboración de Concreto Celular

Fuente: Elaboración Propia

- Se humedece el trompo con agua, luego se introduce el 80% del agua de diseño junto con el aditivo espumante y se mezcla hasta que se genere espuma, aproximadamente a los 5 minutos.



Figura 11: Espuma Generada por el Aditivo Espumante

Fuente: Elaboración Propia

- Se introducen los agregados y el cemento, se deja mezclar por el tiempo de 1 minuto y se procede a colocar el aditivo plastificante.



Figura 12: Añadido del cemento a la mezcla

Fuente: Elaboración Propia

- Se controla el tiempo de mezcla desde que se agregó todos los materiales al trompo.

- Cumplido el tiempo de mezcla, se procede a determinar el peso unitario, la consistencia y el contenido de aire de la mezcla.



Figura 13: Ensayo de Contenido de Aire

Fuente: Elaboración Propia



Figura 14: Ensayo de Consistencia

Fuente: Elaboración Propia

- Se procede a vaciar las muestras necesarias para los ensayos.



Figura 15: Vaciado de Muestras para los Ensayos

Fuente: Elaboración Propia

Debido a que el concreto celular vaciado no presenta agregado grueso, no se utilizara la varilla de punta redondeada para acomodar la mezcla, sino se utilizó un combo de goma para acomodar la mezcla, de acuerdo al reporte ACI 523.3 R-93 (Anexo H.3).

Las muestras se desmoldaron 24 horas luego de su vaciado para luego sumergirlas en la poza de curado.



Figura 16: Muestras desmoldadas previa a su introducción en la poza de curado

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO III: ENSAYOS AL CONCRETO CELULAR

3.1 Ensayos al Concreto en Estado Fresco

El concreto celular en estado fresco tiene propiedades físicas que lo caracterizan, las cuales pueden ser identificadas y estudiadas mediante la realización de ensayos de laboratorio.

Para el desarrollo de la presente investigación se realizaron los ensayos de:

- Control de asentamiento.
- Contenido de aire.
- Peso unitario.

3.1.1 Control de Asentamiento

- *Descripción:*

El ensayo de asentamiento del concreto, o prueba del cono de Abrams, es un método de control de calidad cuyo objetivo principal es medir la consistencia del concreto, es decir, el grado de fluidez de la mezcla e indica qué tan seco o fluido está el concreto. El ensayo se realiza conforme con la norma NTP 339.035.

La consistencia del concreto fresco es la capacidad que tiene de deformarse en un menor o mayor grado teniendo como consecuencia la capacidad de ocupar los huecos de los encofrados. La consistencia se da por varios factores como son la cantidad de agua, el tamaño y granulometría de los agregados

Es necesario tener en cuenta que el concreto utilizado en Edificios con Muros de Ductilidad Limitada deberá tener una consistencia fluida, esto debido a que los muros tienen espesores pequeños por lo tanto es necesario un concreto fluido para evitar la aparición de cangrejeras en las estructuras.

- *Equipo:*

- Cono de Abrams y plancha metálica rígida.
- Martillo de goma.
- Dispositivo de medida: wincha o regla metálica.

- *Procedimiento:*

Se moja el molde y se coloca sobre la plancha metálica, se mantiene inmóvil y se procede a llenar, vaciando el concreto en 3 capas, de tal forma que cada capa ocupa la tercera parte del volumen del molde. Cada capa se compacta con un martillo de goma en lugar de la varilla de 3/8", debido a la fluidez del mortero, dando un promedio de 25 golpes alrededor del molde. Posterior a llenar por exceso el molde,

se enrasa con la barra compactadora y se procede a retirar el molde de manera vertical.

Colocar el molde invertido al lado del mortero y poner la barra metálica en la parte superior del cono para, con ayuda de la regla, medir la altura del asentamiento del mortero.



Figura 17: Control de Asentamiento del Concreto

Fuente: Elaboración Propia

3.1.2 Contenido de Aire

- *Descripción:*

Existen varios métodos normados que sirven para determinar el contenido de aire incorporado en un concreto, como son:

- ASTM C 173-2014: Método Volumétrico.
- ASTM C 138-2015: Método Gravimétrico.
- ASTM C 231-2014: Método de Presión.

El método usado para esta investigación será el correspondiente a la norma ASTM C 138-2015, un Método Gravimétrico que es el más usado, ya que da el procedimiento a seguir para la determinación del contenido de aire de cualquier tipo de concreto ya sea uno normal, de alta resistencia o como en nuestro caso de estudio un concreto celular.

Se debe tener en cuenta que el resultado esperado de este ensayo es un contenido de aire elevado aproximadamente de un 20%. Ya que la principal característica de un concreto celular es la incorporación de burbujas de aire.

- *Equipo:*

- Equipo de medición de aire: Consta de un recipiente con tapa de acero cuya capacidad mínima es de 6 litros. Cuenta con una tapa hermética, un par de llaves de agua, cámara de presión con dial, bomba manual, válvulas y accesorios.
- Accesorios: Como varilla punta de bala, regla para enrasar, mazo, etc.

- *Procedimiento:*

El procedimiento implica llenar el recipiente cilíndrico en 3 capas y compactar con 25 golpes, posteriormente el recipiente se sella y se aplica la presión manualmente y se toman los resultados para su posterior interpretación.



Figura 18: Ensayo de Contenido de Aire del Concreto

Fuente: Elaboración Propia

3.1.3 Peso Unitario

- *Descripción:*

La obtención del peso unitario del concreto fresco se efectúa según la norma NTP 339.046. La cual indica que el ensayo debe realizarse inmediatamente después de que se detenga el trompo.

Los resultados esperados de este ensayo son un concreto con un peso menor al de un concreto normal esto debido al tipo de concreto que se desea obtener.

- *Equipo:*

- Recipiente cilíndrico.
- Martillo de goma.
- Balanza.
- Enrasador metálico.
- Franelas de limpieza.

- *Procedimiento:*

El procedimiento implica llenar el recipiente cilíndrico en 3 capas y compactar con el martillo de goma dando golpes al molde, su posterior enrasado y pesado.



Figura 19: Ensayo de Peso Unitario del Concreto Fresco

Fuente: Elaboración Propia

3.2 Ensayos al Concreto en Estado Endurecido

Los ensayos realizados al concreto en estado endurecido nos sirven para poder encontrar las propiedades mecánicas del mismo. Cada ensayo se desarrolló siguiendo los procedimientos y recomendaciones de las normas mencionadas en el marco normativo de la presente tesis.

Los ensayos realizados al concreto celular en estado endurecido para la presente investigación fueron:

- Ensayo de Resistencia a la Compresión.
- Ensayo para determinar el módulo de Elasticidad.
- Ensayo para determinar el coeficiente de Poisson.

- Ensayo para determinar el coeficiente de Expansión Térmica.
- Ensayo para determinar la resistencia la Flexión.

3.2.1 Ensayo de Resistencia a la Compresión

- *Descripción:*

El ensayo de Resistencia a la Compresión da la principal característica mecánica del concreto.

Su finalidad es la obtención de la capacidad de soportar una carga por unidad de área del concreto generalmente expresada en kg/cm².

Los resultados del ensayo son fundamentalmente usados para comprobar que el concreto elaborado cumpla con los requerimientos para los que se diseñó; además, este ensayo también es usado en obra con fines de control de calidad y aceptación del concreto suministrado.

Para la realización de este ensayo se elaborarán 20 probetas de 6” por 12” de concreto celular, las cuales fueron curadas y ensayadas según las normas NTP 339.034, NTP 339.216 y NTP 339.183.

La distribución de los ensayos de las probetas se realizará de acuerdo al cuadro que se presenta a continuación:

Tabla 14: Ensayo de Resistencia a la Compresión del Concreto

TIEMPO DE CURADO (días)	No. DE PROBETAS
7	5
14	5
28	10
TOTAL	20

Fuente: Elaboración Propia

- *Equipo:*

- Máquina de Compresión Universal.
- Probetas cilíndricas de concreto.
- Vernier.
- Regla metálica.

- *Procedimiento:*

- Se procedió al vaciado de las 20 probetas de concreto, luego de ser retiradas del molde se colocan en la poza de curado hasta los días que correspondan ser ensayadas.
- Al llegar al tiempo correspondiente a los días de curado se retiran de la poza y se procede a realizar las mediciones necesarias para los cálculos.



Figura 20: Medición de Diámetro de Probeta

Fuente: Elaboración Propia

- Luego se limpia bien los residuos que puedan existir en la máquina de compresión y se coloca la probeta de concreto para ser ensayada.



Figura 21: Probeta Lista para Ensayo de Resistencia a la Compresión

Fuente: Elaboración Propia

- El ensayo inicia con la aplicación de una fuerza constante el cual termina cuando la probeta empieza a presentar una tendencia a la baja en su resistencia además de fisuras en su superficie.



Figura 22: Fin de Ensayo de Resistencia a la Compresión

Fuente: Elaboración Propia

- *Recolección de Datos y Procedimiento de Cálculo:*

- El primer dato a obtener de las probetas será la medida de su diámetro promedio, para lo cual se procede a realizar la medición de dos medidas del diámetro correspondiente a la cara superior y dos correspondientes a la cara inferior, obteniéndose los diámetros promedios de ambas caras.

$$\text{Diámetro promedio superior (cm):} \quad Dps = \frac{D1+D2}{2}$$

$$\text{Diámetro promedio inferior (cm):} \quad Dpi = \frac{D1+D2}{2}$$

- Luego se procede a la obtención del área correspondiente a las caras superior e inferior y su correspondiente promedio:

$$\text{Área promedio superior (cm}^2\text{):} \quad Aps = \frac{\pi \times Dps^2}{4}$$

$$\text{Área promedio inferior (cm}^2\text{):} \quad Api = \frac{\pi \times Dpi^2}{4}$$

$$\text{Área promedio (cm}^2\text{):} \quad Ap = \frac{Dps+Dpi}{2}$$

- El siguiente dato obtenido directamente del ensayo es la carga aplicada (C) a la probeta hasta su punto de falla el cual deberá ser convertido a kilogramos (kg) ya que la unidad con la que trabaja la máquina de compresión se encuentra en Kilonewtons (KN):

$$\text{Carga aplicada a la probeta (kg):} \quad P = C \times 101.97$$

- Como calculo final se procede a la obtención de la resistencia a la compresión del concreto:

$$\text{Resistencia a la Compresión (kg/cm}^2\text{):} \quad f'c = \frac{P}{Ap}$$

3.2.2 Ensayo de Módulo de Elasticidad

- *Descripción:*

El ensayo de Modulo de Elasticidad es un experimento que mide la variación de esfuerzo en relación a la deformación en el rango elástico del concreto.

Es una medida que da la rigidez o resistencia a la deformación del concreto.

La norma ASTM C469 (Anexo H.2) da el procedimiento a seguir para calcular el módulo de elasticidad del concreto por el método de la secante que normalmente es el más usado.

La cantidad de ensayos realizados será de veinte probetas estándar curadas durante 28 días luego del vaciado.

- *Equipo:*

- Deformímetro de 0.001 mm de precisión.
- Armazón de anillos metálicos.
- Máquina de compresión.
- Vernier.
- Regla metálica.

- *Procedimiento:*

- Se procedió al vaciado de las 20 probetas de concreto, luego de ser retiradas del molde se colocan en la poza de curado durante 28 días.
- Luego del tiempo de curado, retirar las probetas de la poza y realizar las medidas de los diámetros necesarios para los cálculos.

- Armar la probeta con los anillos correspondientes del ensayo de módulo de elasticidad y llevarla a la máquina de compresión para iniciar el ensayo.



Figura 23: Probeta Armada con los Anillos para Ensayo de Modulo de Elasticidad

Fuente: Elaboración Propia

- El ensayo inicia con la aplicación de una carga entre el 15% y 20%% de la resistencia a la compresión última del concreto y su posterior descarga, de esta práctica no se toman datos ya que solo sirve para ajustar los deformímetros y asegurarse que no tengan un comportamiento extraño.
- Se vuelve a aplicar la carga de 40% de la resistencia ultima del concreto y esta vez sí se empiezan a tomar los datos tanto de carga aplicada como de la lectura indicada en los Deformímetro, realizar esta operación una vez más para tener las lecturas necesarias para los caculos.



Figura 24: Lectura del Deformímetro durante el ensayo

Fuente: Elaboración Propia

- Como etapa final del experimento realizar el ensayo de resistencia a la compresión del concreto.
- *Recolección de Datos y Procedimiento de Cálculo:*
 - El siguiente es un esquema del ensayo de módulo de elasticidad:

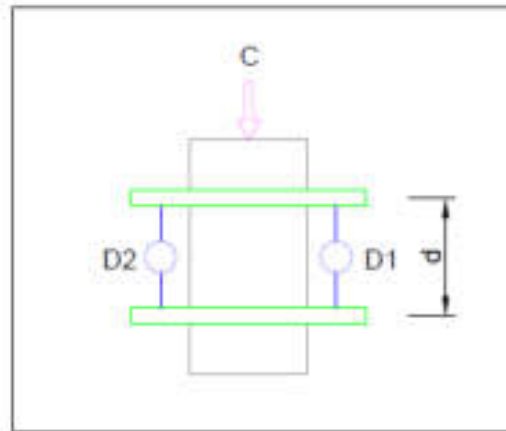


Figura 25: Esquema de Ensayo de Módulo de Elasticidad

Fuente: Elaboración Propia

En el cual podemos identificar:

C: Carga aplicada durante el ensayo (KN).

d: Distancia media entre los anillos del ensayo, 15cm.

D1: Dial 1 con precisión de 0.001 mm.

D2: Dial 2 con precisión de 0.001 mm.

- Se realizará la toma de datos para dos ciclos de carga aplicada a las probetas de ensayo anotando las lecturas de carga cada 20 KN hasta llegar aproximadamente al 40% de la carga total soportada por las probetas y su correspondiente deformación, las cuales serán tabuladas para el posterior cálculo de la lectura promedio de los diales.

El siguiente cuadro representa la toma de datos de carga con sus correspondientes deformaciones para ambos diales y el cálculo de la lectura promedio.

Tabla D.1: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 1 y la lectura promedio

ENSAYO PROBETA 1					
CARGA C (KN)	LECTURA 1		LECTURA 2		LECTURA PROMEDIO Lp
	DIAL 1 L1	DIAL 2 L2	DIAL 1 L3	DIAL 2 L4	
20	4	3	4	5	4
40	13	15	11	15	13.5
60	23	24	25	24	24
80	31	35	32	36	33.5
100	42	45	43	48	44.5
120	55	60	55	60	57.5
140	66	69	65	70	67.5

Fuente: Elaboración Propia

Lectura promedio (mm):

$$Lp = \left(\frac{L1+L2+L3+L4}{4} \right)$$

- Realizar dos veces la medida del diámetro superior e inferior de la probeta de ensayo para obtener la medida promedio de esta y así poder realizar el cálculo de su correspondiente área haciendo uso de las siguientes formulas:

Diámetro promedio (cm):

$$Dp = \frac{D1+D2+D3+D4}{4}$$

Área (cm²):

$$A = \frac{\pi \times Dp^2}{4}$$

- Luego de tomar los datos para los dos ciclos de carga de la probeta se realiza el ensayo de resistencia a la compresión de la misma para conocer su resistencia última haciendo uso de la siguiente formula:

Resistencia a la Compresión (kg/cm²):

$$f'c = \frac{C}{A}$$

A continuación, se presenta una tabla resumen correspondiente a los datos para el ensayo de la probeta 1:

Tabla D.2: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 1

DIAMETRO SUPERIOR		DIAMETRO INFERIOR		DIAMETRO PROMEDIO	AREA A	DISTANCIA ENTRE ANILLOS	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
MEDIDA 1 D1 (cm)	MEDIDA 2 D2 (cm)	MEDIDA 1 D3 (cm)	MEDIDA 2 D4 (cm)	Dp (cm)	A (cm ²)	D (cm)	CARGA C (KN)	CARGA P (Kg)	f c (Kg/cm ²)
15.07	15.12	15.02	15.04	15.04	178.37	15.00	343.30	35006.30	196.26

Fuente: Elaboración Propia

- Continuar con el cálculo del esfuerzo y la deformación unitaria para cada carga aplicada durante el ensayo haciendo uso de la siguientes formulas:

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{): } f'c = \frac{P}{A}$$

$$\text{Deformación Unitaria (m/m): } \text{Def Unit} = \frac{L_p \times 0.001}{d}$$

La finalidad será obtener una tabla con los datos para el esfuerzo y la correspondiente deformación unitaria como se presenta a continuación:

Tabla D.3: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 1

ENSAYO PROBETA 1				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
20	2039.40	11.43	0.0040	2.6578E-05
40	4078.80	22.87	0.0135	8.9701E-05
60	6118.20	34.30	0.0240	1.5947E-04
80	8157.60	45.73	0.0335	2.2259E-04
100	10197.00	57.17	0.0445	2.9568E-04
120	12236.40	68.60	0.0575	3.8206E-04
140	14275.80	80.04	0.0675	4.4850E-04

Fuente: Elaboración Propia

- Un objetivo es construir una gráfica con una tendencia lineal que representa un ensayo realizado en el rango elástico de la resistencia de la probeta.

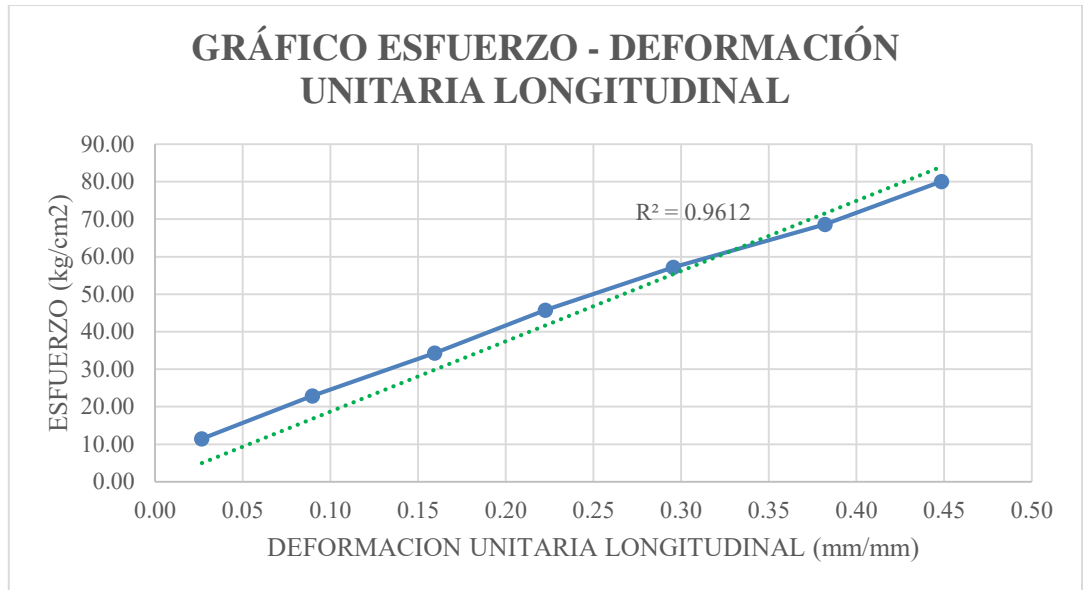


Figura D.1: Grafico $f'c$ -E, Probeta No. 1.

Fuente: Elaboración Propia

- Haciendo uso de los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación se interpolarán los valores S_1 , que es el esfuerzo correspondiente a la deformación base $E_1=0.00005$ m/m, y E_2 que es la deformación unitaria para el esfuerzo correspondiente al 40% de la resistencia ultima S_2 de la probeta de ensayo.
- Finalmente se hará uso de la ecuación para hallar el módulo de elasticidad de la probeta ensayada.

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(E_2 - E_1)}$$

Donde:

E: Módulo de elasticidad

S_2 : Esfuerzo correspondiente al 40% de la carga ultima.

S_1 : Esfuerzo correspondiente a la deformación longitudinal base

E_1 : Deformación unitaria longitudinal igual a 0.005 m/m.

E_2 : Deformación unitaria longitudinal producida por el esfuerzo S_2 .

3.2.3 Ensayo de Coeficiente de Poisson

- *Descripción:*

Este ensayo se realizó de acuerdo a la norma ASTM C 469M-14 (Anexo H.2), se hizo 20 ensayos a los 28 días de curado para el diseño final. Las probetas usadas son las mismas que se usan para el ensayo de módulo de elasticidad es por ello que el ensayo se hace en conjunto con el de módulo de elasticidad.

Para hallar el coeficiente de Poisson se agregará un anillo intermedio con un deformímetro colocado en forma transversal desde el cual se realizarán las lecturas mientras se aplica la carga durante el ensayo.

- *Equipo:*

- Deformímetro de 0.001 mm de precisión.
- Anillo central metálico.
- Máquina de compresión.
- Vernier.
- Regla metálica.

- *Procedimiento:*

- La realización de este ensayo es en conjunto con el de módulo de elasticidad con el agregado que se incluirá un anillo intermedio para registrar la deformación transversal de la probeta
- Armar la probeta con los anillos correspondientes del ensayo de módulo de elasticidad y agregar el anillo intermedio, luego llevar la probeta a la máquina de compresión para iniciar el ensayo.



Figura 26: Probeta Armada con los Anillos para Ensayo de Modulo de Elasticidad y Coeficiente de Poisson

Fuente: Elaboración Propia

- El ensayo inicia con la aplicación de una carga del 40% de la resistencia a la compresión última del concreto y su posterior descarga, de esta práctica no se toman datos.



Figura 27: Ensayo de Coeficiente de Poisson

Fuente: Elaboración Propia

- Se vuelve a aplicar la carga de 40% de la resistencia ultima del concreto y esta vez sí se empiezan a tomar los datos tanto de carga aplicada como de la lectura indicada en los Deformímetros, se realiza esta operación una vez más para tener las lecturas necesarias para los caculos.
 - Como etapa final del experimento se realiza el ensayo de resistencia a la compresión del concreto.
- *Recolección de Datos y Procedimiento de Cálculo:*
- El siguiente es un esquema del ensayo de coeficiente de Poisson:

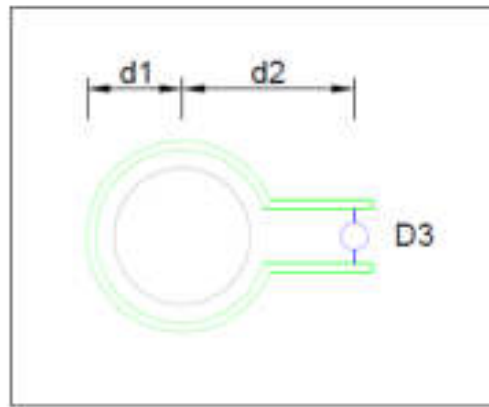


Figura 28: Esquema de Ensayo de Coeficiente de Poisson

Fuente: Elaboración Propia

En el cual podemos identificar:

- d1: Distancia entre el eje de rotación de apertura del anillo y el centro de la probeta
- d2: Distancia entre el centro de la probeta hasta el eje del Deformímetro
- D3: Deformímetro 3 con precisión de 0.001 mm.

- Durante los ciclos de ensayo se tomarán las lecturas correspondientes a la carga aplicada que será cada quince Kilonewtons posteriormente se calculará un promedio el cual será convertido a milímetros.

Lectura promedio (mm):
$$L_p = \left(\frac{L_1+L_2}{2}\right)$$

Luego se hará uso de un factor de reducción para hallar la deformación en el eje de la probeta de ensayo respecto a la deformación obtenida en el deformímetro.

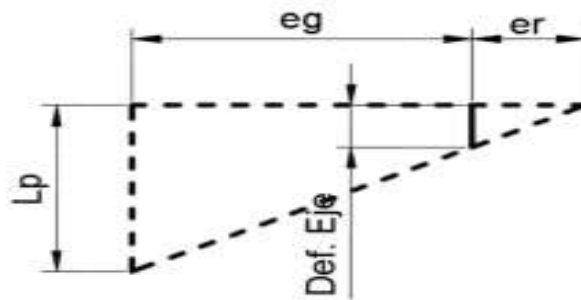


Figura 29: Esquema para el cálculo del factor de reducción de la lectura obtenida en el deformímetro

Fuente: Elaboración Propia

Factor de reducción
$$FR = \frac{er}{(er+eg)} = \frac{9}{9+27} = 0.25$$

Donde:

er: distancia entre el eje de rotación de apertura del anillo y el centro de la probeta (9cm).

eg: distancia entre el centro de la probeta hasta el eje del deformímetro (27 cm).

Haciendo uso del factor de reducción se procede a calcular las deformaciones en el eje de la probeta con la fórmula:

Deformación en el eje
$$DEF\ EJE = FR * L_p * 0.001$$

Quedando:

$$\text{Deformación en el eje} \quad \text{DEF EJE} = 0.00025 * L_p$$

Obteniéndose una tabla como se presenta a continuación:

Tabla E.1: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 1

PROBETA 1					
CARGA C (KN)	ENSAYO 1 L1	ENSAYO 2 L2	LECTURA PROMEDIO Lp	DEF. EJE	DEF. EJE (mm)
15	0	0	0.00	0.00	0.0000
30	0	1	0.50	0.13	0.0001
45	6	5	5.50	1.38	0.0014
60	15	16	15.50	3.88	0.0039
75	25	23	24.00	6.00	0.0060
90	31	30	30.50	7.63	0.0076
105	37	38	37.50	9.38	0.0094
120	46	45	45.50	11.38	0.0114
135	54	52	53.00	13.25	0.0133
150	64	65	64.50	16.13	0.0161

Fuente: Elaboración Propia

- Del ensayo de módulo de elasticidad se conocen los datos correspondientes para el Diámetro, Área, Resistencia a la Compresión, Deformación longitudinal base (E1) y Deformación Longitudinal correspondiente al 40% de la Resistencia ultima.
- Se realizará los cálculos correspondientes para hallar el esfuerzo a la compresión para cada lectura de carga aplicada durante el ensayo con la fórmula:

$$\text{Resistencia a la Compresión (kg/cm}^2\text{):} \quad f'c = \frac{P}{A}$$

- Se calculará la deformación unitaria para cada carga aplicada durante el ensayo:

Deformación Unitaria (m/m):

$$\text{Def Unit} = \frac{\text{Def eje}}{\text{Diametro prom}}$$

Obteniéndose una tabla de Esfuerzo – Deformación Unitaria y su correspondiente gráfica.

El siguiente es un ejemplo de tabla y grafica correspondiente al ensayo realizado a la primera probeta ensayada.

Tabla E.2: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 1

ENSAYO PROBETA 1				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. EJE (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
1				
5	1529.55	8.58	0.0000	0.00000000
30	3059.10	17.15	0.0001	0.00000083
45	4588.65	25.73	0.0014	0.00000912
60	6118.20	34.30	0.0039	0.00002571
75	7647.75	42.88	0.0060	0.00003981
90	9177.30	51.45	0.0076	0.00005060
105	10706.85	60.03	0.0094	0.00006221
120	12236.40	68.60	0.0114	0.00007548
135	13765.95	77.18	0.0133	0.00008792
150	15295.50	85.75	0.0161	0.00010700

Fuente: Elaboración Propia

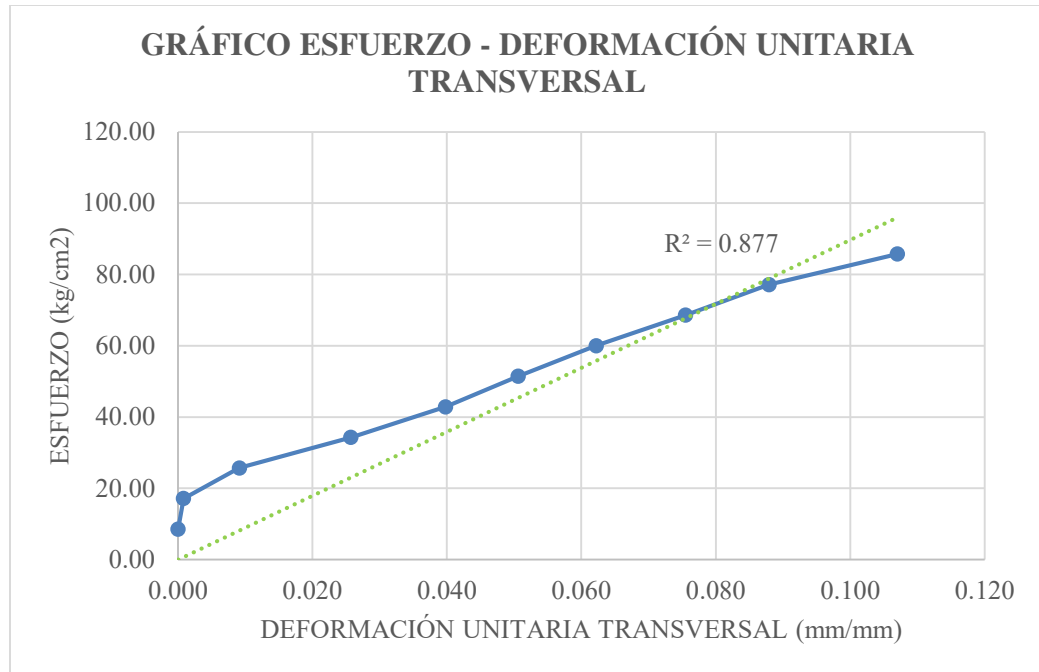


Figura E.1: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 1

- Haciendo uso de los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación se interpolarán los valores ET1, que es la deformación unitaria correspondiente al esfuerzo base S1, y ET2, que es la deformación unitaria para el esfuerzo S2 correspondiente al 40% de la resistencia última de la probeta de ensayo.
- Finalmente se hará uso de la ecuación correspondiente para hallar el coeficiente de Poisson de la probeta ensayada:

$$u = \frac{(ET2 - ET1)}{(E2 - E1)}$$

Donde:

u: Relación de Poisson

ET1: Deformación unitaria transversal de la probeta, producida por el esfuerzo S2

ET2: Deformación unitaria transversal de la probeta, producida por el esfuerzo S1

E1: Deformación unitaria longitudinal igual a 0.005 m/m.

- E2: Deformación unitaria longitudinal producida por el esfuerzo S2.
- S1: Esfuerzo correspondiente a la deformación longitudinal base
- S1: Esfuerzo correspondiente al 40% de la carga ultima

3.2.4 Ensayo de Coeficiente de Expansión Térmica

- *Descripción:*

Este ensayo se realizó en concordancia con las normas TEX-428-A y AASHTO TP-60 (Anexo H.3) y, se hizo 20 ensayos a los 28 días de curado para el diseño final.

Las probetas usadas serán condicionadas al tamaño necesario para su medición en el marco metálico.

Para determinar el CTE (Coeficiente de Expansión Térmica) de una probeta de concreto cilíndrico acondicionada y en condición saturada, midiendo el cambio de longitud que sufre por el cambio de temperatura. El CTE es calculado dividiendo los cambios de longitud por los cambios de temperatura.

- *Equipo:*

El equipo utilizado es restringido debido a las posibilidades económicas, haciendo necesario la sustitución de equipo requerido por la norma por el que se dispone.

- Sierra de concreto.
- Cronómetro.
- Balanza.
- Vernier.
- Horno que pueda controlar la temperatura.
- Marco metálico de medición.
- Recipiente de Aluminio capaz de albergar el molde de medición.
- Termómetro con una precisión de 0,1 grados Celsius.

- Deformímetro con una precisión de 0,001 milímetros.

- *Procedimiento:*

- El espécimen será condicionado por la necesidad de sumersión en agua, por lo cual será recortado para su uso con el molde y saturada por un tiempo mínimo 25 minutos antes de la prueba.
- Se medirá la longitud inicial de la probeta antes del ensayo.
- Se procederá a sumergir la probeta condicionada en conjunto con el marco de medición en el recipiente con agua procurando que el dial se posicione en el centro de la probeta, tal como se muestra en la figura.



Figura 30: Probeta Armada para el Ensayo de Obtención de Coeficiente de Expansión Térmica

Fuente: Elaboración Propia



Figura 31: Ensayo para la Obtención del Coeficiente de Expansión Térmico

Fuente: Elaboración Propia

- Durante 60 minutos se deja estabilizar la probeta a la temperatura del agua tomando la medición del deformímetro y el termómetro cada 10 minutos.
- Al alcanzar el tiempo de 60 minutos se procede a elevar la temperatura hasta alcanzar los 50 grados Celsius mediante el horno, en el transcurso de ascenso de temperatura, se toman las deformaciones y la temperatura respectiva a la misma. Al alcanzar la temperatura de 50 grados Celsius, se toma la última lectura del deformímetro y el termómetro.
- Se espera que la probeta se estabilice durante 60 minutos, tomando mediciones cada 10 minutos.
- Cuando se estabilice la probeta se procederá al descenso de la temperatura apagando el horno. Se espera a que el agua se estabilice con la temperatura medio ambiental. Este proceso es bastante tardado por lo que hay que tomar en consideración este largo tiempo, ya que si el día y las posibilidades del ensayo no son flexibles se tiene que tomar la última lectura hasta el día siguiente.
- Se repetirá el procedimiento para las barras del marco de medición, para así obtener el valor de corrección.

- *Recolección de Datos y Procedimiento de Cálculo:*

- El primer dato a tomar será la longitud (L) de la probeta que se usará en el ensayo.
- Se procede a armar dos tablas con los datos de ascenso y descenso de temperatura, así como la lectura del deformímetro el cual será multiplicada por un factor de 0.0001 para obtener la deformación en mm.

A continuación, se presenta un ejemplo correspondiente al ensayo de la probeta número 1.

Tabla F.5: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-1 durante el Ascenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	10:50	0:00	20,3	0	0
	11:10	0:20	20,3	0	0
	11:30	0:40	20,3	0	0
	11:50	1:00	20,3	0	0
ASCENSO DE TEMPERATURA	12:00	1:10	20,6	0	0
	12:05	1:15	21,8	1	0,001
	12:10	1:20	24,2	5	0,005
	12:15	1:25	26,1	8	0,008
	12:20	1:30	28,7	12	0,012
	12:26	1:36	30,3	13	0,013
	12:33	1:43	32,8	16	0,016
	12:40	1:50	35,3	19	0,019
	12:50	2:00	38,2	21	0,021
	13:00	2:10	41,6	24	0,024
	13:10	2:20	44,2	27	0,027
	13:20	2:30	46,8	30	0,03
13:30	2:40	49,6	33	0,033	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.6: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-1 durante el Descenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	13:35	2:45	50,2	41	0,041
	13:55	3:05	50,2	41	0,041
	14:15	3:25	50,2	41	0,041
	14:35	3:45	50,2	41	0,041
DESCENSO DE TEMPERATURA	15:45	4:55	49,6	41	0,041
	15:50	5:00	48,6	39	0,039
	15:55	5:05	47,6	37	0,037
	16:00	5:10	46,7	36	0,036
	16:05	5:15	46	35	0,035
	16:10	5:20	45,6	35	0,035
	16:15	5:25	44,8	34	0,034
	16:35	5:45	41,7	30	0,03
	16:45	5:55	40,7	29	0,029
	16:55	6:05	39,7	29	0,029
	17:05	6:15	38,6	28	0,028
	17:18	6:28	37,1	27	0,027
	17:34	6:44	35,8	26	0,026
	17:52	7:02	34,1	24	0,024
	18:00	7:10	33,3	23	0,023
	18:12	7:22	32,2	22	0,022
	18:37	7:47	30,7	20	0,02
19:20	8:30	28,4	19	0,019	
10:30	22:32	19,7	11	0,011	

Fuente: Elaboración Propia

- Se grafican los datos de temperatura y deformación, esta se debe dividir en 3 segmentos críticos considerando que el primer y último dato no se consideran para el análisis.

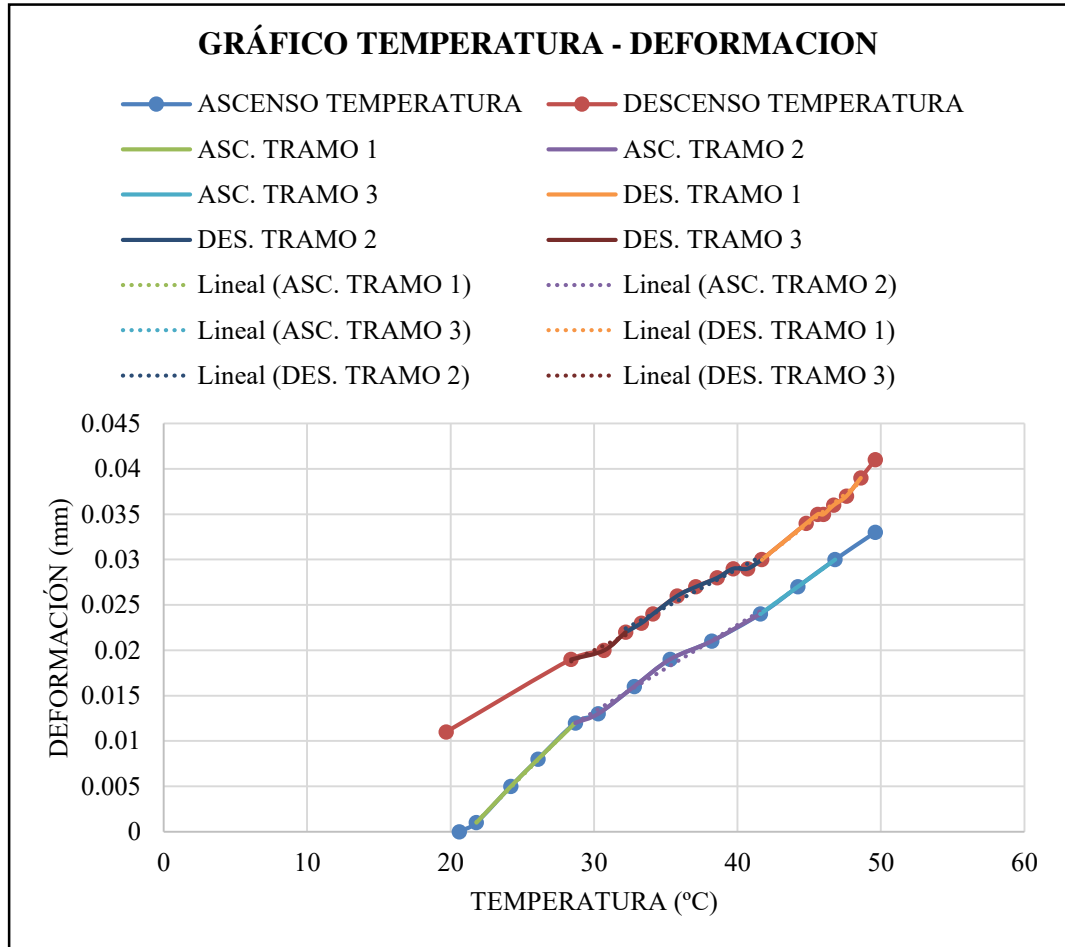


Figura F.4: Grafico Temperatura-Deformación de la Probeta T-1

Fuente: Elaboración Propia

- Se procede a calcular el valor corrección (C_f) y con este el Coeficiente de Expansión Térmica (CTE) para cada tramo de las gráficas de ascenso y descenso de temperatura; utilizando los datos obtenidos en la barra de acero para obtener el valor de corrección y los datos de la probeta para el CTE.

$$C_f = \frac{M}{L}$$

$$CTE = \frac{M}{L} + C_f$$

Donde:

M: Pendiente promedio (mm/°C).

L: Longitud inicial de la probeta (mm).

CTE: Coeficiente de Expansión Térmica ($\mu/^\circ\text{C}$).

Cf: Valor de Corrección ($\mu/^\circ\text{C}$).

A continuación, se presenta un ejemplo de la construcción de una tabla para el cálculo del Coeficiente de Expansión Térmica correspondiente para la temperatura ascendente de la primera probeta ensayada.

Tabla F.7: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-1 en Temperatura Ascendente

TRAMO	TEMP. INICIAL ($^\circ\text{C}$)	TEMP. FINAL ($^\circ\text{C}$)	PENDIENTE M ($\text{mm}/^\circ\text{C}$)	COEFICIENTE DETERMINACION R2	M/Lo	CTE
1	21,8	28,7	0,0015211	0,9996037	8,40E-06	6,56E-06
2	28,7	41,6	0,0009558	0,9920018	5,28E-06	9,68E-06
3	41,6	46,8	0,0011274	1,0000000	6,23E-06	8,73E-06
CTE PROM.					6,64E-06	8,32E-06

Fuente: Elaboración Propia

3.2.5 Ensayo de Resistencia a la Flexión

- *Descripción:*

Este ensayo se realizará de acuerdo a la norma NTP 339.078 (Anexo H.4) la cual usa vigas prismáticas.

Las probetas son prismáticas de 15x 15 cm y de longitud 3 veces el alto aproximadamente un promedio de 45cm.

La resistencia a la flexión es una medida de su resistencia a la falla por momento.

Se mide mediante la aplicación de cargas a vigas de concreto de 6x6 pulgadas de superficie con luz de mínimo 3 veces su espesor.

Para este ensayo se vaciaron 5 probeta prismáticas, la cuales fueron ensayadas según la norma NTP 339.078 (Anexo H.4).

- *Equipo:*

- Máquina de compresión Universal.
- Rodillos de soporte para la base.
- Rodillos superiores.

- *Procedimiento:*

- Se retira las vigas de la poza de curado, se miden y marca los puntos de ensayo, estos son los puntos 1,2 y 3 de la figura.

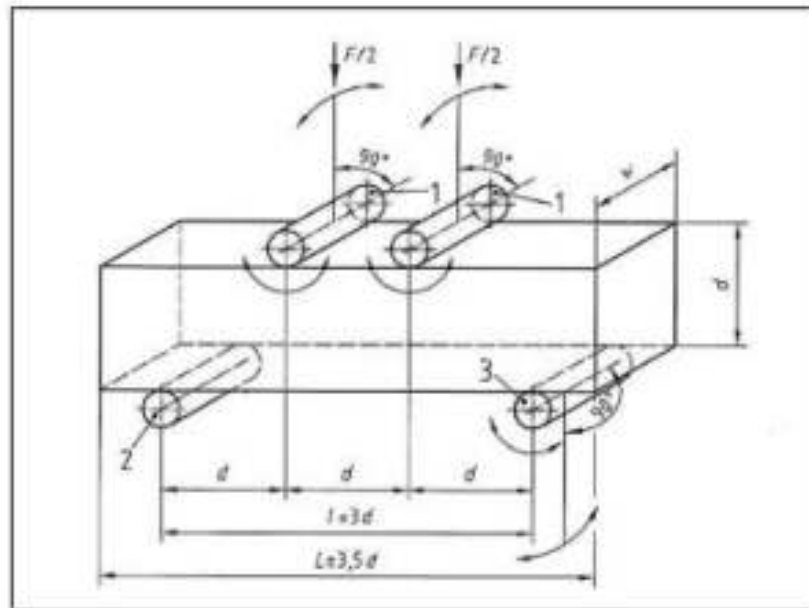


Figura 32: Esquema de la Disposición de la Viga y Rodillos

Fuente: ASTM C78

- Se montan la viga en la prensa hidráulica con los soportes de ensayo, posteriormente se aplica la carga con una velocidad de deflexión de 0.25 +/- 0.05 mm por minuto.



Figura 33: Ensayo de Resistencia a la Flexión
Fuente: Elaboración Propia

- Finalmente se anota la carga máxima alcanzada durante el ensayo. El ensayo se considera exitoso cuando la línea de falla se encuentra en el tercio medio de la viga medida entre apoyos.
- *Recolección de Datos y Procedimiento de Cálculo:*
 - Retirado las vigas de la poza de curado, se anotará sus medidas de ancho (m1, m2, m3), altura (h1, h2, h3) y la distancia entre los rodillos inferiores (L).
 - Se calcula el Momento de Rotura (M_r) según la fórmula:

$$M_r = \frac{P * L * 101.97}{b * h^2}$$

Donde:

- Mr: Modulo de rotura (Mpa)
- P: Carga Máxima de Rotura (KN)
- L: Luz libre entre apoyos (cm)
- b: Ancho promedio de la viga (cm)
- h: Altura promedio de la viga (cm)

CAPITULO IV: ANALISIS DE LOS RESULTADOS

4.1 Ensayos en Estado Fresco

4.1.1 Control de Asentamiento

Tabla 15: Control de Asentamiento

1° MEDICION	2° MEDICION	PROMEDIO
Pulgadas	Pulgadas	Pulgadas
7	7 1/2	7 1/4

Fuente: Elaboración Propia

Se obtuvo un asentamiento promedio de 7 ¼”, con lo que se define una mezcla lo suficientemente fluida para cumplir los requerimientos para su uso en EMDL (Sánchez de Guzman, 2004).

4.1.2 Contenido de Aire

El contenido de aire obtenido fue mayor a 25%, esto es debido a la inclusión de burbujas microscópicas aportadas por el agente espumante añadido a la mezcla. Este nivel de contenido de aire es característico del concreto celular y es el responsable de sus propiedades principales.

4.1.3 Peso Unitario

Tabla 16: Peso Unitario del Concreto

DIAMETRO	(m)	d1=	0.235
		d2 =	0.233
DIAMETRO PROMEDIO	(m)	Dprom =	0.234
ALTURA	(m)	h1 =	0.218
		h2 =	0.218
ALTURA PROMEDIO	(m)	Hprom =	0.218
VOLUMEN	(m3)	V =	0.00937515
PESO DE RECIPIENTE	(Kg)	PR =	8.14
PESO DE RECIPIENTE Y CONCRETO	(Kg)	PR+M1 =	25.90
		PR+M2 =	25.86
		PR+M3 =	25.87
PESO UNITARIO	(Kg/m3)	PU =	1891.88

Fuente: Elaboración Propia

La inclusión de agente espumante en la mezcla de concreto reduce de manera directa el peso unitario al generar un alto contenido de aire en comparación al concreto convencional. Se obtuvo un peso unitario de 1891.88 Kg/m³, llegando al valor necesario para poder clasificarse como un concreto ligero.

4.2 Ensayos en Estado Endurecido

4.2.1 Ensayo de Resistencia a la Compresión

Tabla 17: Ensayo de Resistencia a la Compresión

TIEMPO (Días)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	RESISTENCIA (Mpa)
7,00	155,70	15,27
14,00	170,76	16,75
28,00	198,00	19,42

Fuente: Elaboración Propia

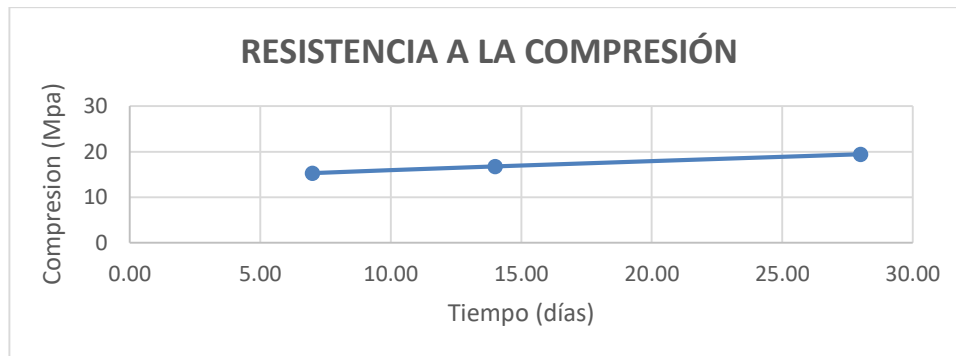


Figura 34: Resistencia a la Compresión

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que el concreto celular alcanzó una resistencia del 78.28% a los 7 días con respecto de la resistencia final, esto debido principalmente al tipo de cemento utilizado.

El diseño llega a la resistencia requerida para su aplicación como concreto estructural.

4.2.2 Ensayo de Modulo de Elasticidad

Tabla 18: Ensayo de Módulo de Elasticidad

PROBETA No.	EDAD (días)	DIAMETRO (cm)	CARGA MAXIMA		f'c (Kg/cm2)	E (Kg/cm2)	E (Mpa)
			(KN)	(Kg)			
1	28	15.07	343.30	35006.30	196.2591	161260.92	15814.29
2	28	15.05	340.95	34766.67	195.3691	176434.27	17302.29
3	28	14.99	319.87	32617.14	184.7600	106444.49	10438.64
4	28	15.02	347.32	35416.22	200.0146	200841.18	19695.79
5	28	15.05	336.45	34307.81	192.9828	190110.81	18643.50
6	28	15.02	345.23	35203.10	198.6787	162396.18	15925.62
7	28	15.04	337.10	34374.09	193.6130	172923.07	16957.96
8	28	15.05	320.65	32696.68	183.7370	107149.37	10507.76
9	28	15.07	337.42	34406.72	193.0257	202968.21	19904.38
10	28	15.03	327.13	33357.45	188.0117	190182.55	18650.54
11	28	15.05	335.22	34182.38	192.0858	161088.29	15797.36
12	28	15.02	327.12	33356.43	188.1938	166234.77	16302.06
13	28	15.10	335.67	34228.27	191.0721	159646.36	15655.96
14	28	15.05	315.98	32220.48	181.2415	200087.37	19621.87
15	28	15.02	319.67	32596.75	183.9690	195129.61	19135.68
16	28	15.05	345.12	35191.89	197.8901	162111.03	15897.66
17	28	15.06	312.14	31828.92	178.6232	163923.84	16075.44
18	28	15.02	324.73	33112.72	186.9432	170516.57	16721.96
19	28	15.04	324.12	33050.52	186.1579	196227.01	19243.30
20	28	15.06	333.56	34013.11	190.8809	187648.18	18402.00

Fuente: Elaboración Propia

De los datos obtenidos tenemos que el Modulo de Elasticidad promedio del ensayo es:

$$E_{prom} = 16834.704 \text{ Mpa} = 177666.205 \text{ kg/cm}^2$$

Usando la fórmula del ACI 318 que permite estimar valores de E_c para concretos cuyos pesos específicos oscilen entre 1400 y 2500 kg/m³, tenemos que:

$$E = 0.14 \times (y)^{1.5} \times \sqrt{f'c}$$

Siendo:

y: Peso específico del concreto, 1891.88 kg/m³.

f'c: Resistencia a la compresión del concreto, 198.00 kg/cm².

Tenemos que:

$$E = 162106.717 \text{ kg/cm}^2$$

Expresando el resultado anterior según el S.I. no daría:

$$E = 15897.24 \text{ Mpa}$$

Vemos que el valor experimental del módulo de elasticidad obtenido de los ensayos es mayor que el valor teórico obtenido con la fórmula proveída por el ACI en un 9%.

Ahora, en los edificios con muros de ductilidad limitada generalmente es empleado un concreto convencional con un $f'c$ igual a 20.59 Mpa (210 kg/cm²) cuyo Módulo de Elasticidad es aproximado a 21326 MPa (217000 kg/cm²), comparándolo con el valor del Módulo de Elasticidad de nuestro concreto celular notamos claramente que tiene un valor mayor, por lo que en un análisis puede provocar que nuestro edificio sufra mayores deformaciones al reemplazar concreto convencional por concreto celular; por lo tanto, es necesario la aplicación de estos resultados en el análisis sísmico de nuestro edificio para confirmar que cumplimos los requerimientos establecidos en la norma sismo resistente peruana E-030 2018.

4.2.3 Ensayo de Coeficiente de Poisson

Tabla 19: Ensayo de Coeficiente de Poisson

PROBETA No.	EDAD (días)	DIAMETRO (cm)	CARGA MAXIMA		f'c (Kg/cm2)	f'c (Mpa)	v
			(KN)	(Kg)			
1	28	15.07	343.30	35006.30	196.2591	19.246	0.2315
2	28	15.05	340.95	34766.67	195.3691	19.159	0.2408
3	28	14.99	319.87	32617.14	184.7600	18.119	0.2264
4	28	15.02	347.32	35416.22	200.0146	19.615	0.2951
5	28	15.05	336.45	34307.81	192.9828	18.925	0.3469
6	28	15.02	345.23	35203.10	198.6787	19.484	0.2391
7	28	15.04	337.10	34374.09	193.6130	18.987	0.2395
8	28	15.05	320.65	32696.68	183.7370	18.018	0.2278
9	28	15.07	337.42	34406.72	193.0257	18.929	0.2907
10	28	15.03	327.13	33357.45	188.0117	18.438	0.3110
11	28	15.05	335.22	34182.38	192.0858	18.837	0.2376
12	28	15.02	327.12	33356.43	188.1938	18.456	0.2375
13	28	15.10	335.67	34228.27	191.0721	18.738	0.2321
14	28	15.05	315.98	32220.48	181.2415	17.774	0.2858
15	28	15.02	319.67	32596.75	183.9690	18.041	0.3200
16	28	15.05	345.12	35191.89	197.8901	19.406	0.2463
17	28	15.06	312.14	31828.92	178.6232	17.517	0.2310
18	28	15.02	324.73	33112.72	186.9432	18.333	0.2348
19	28	15.04	324.12	33050.52	186.1579	18.256	0.2893
20	28	15.06	333.56	34013.11	190.8809	18.719	0.2978

Fuente: Elaboración Propia

De los datos obtenidos tenemos que el Coeficiente de Poisson promedio del ensayo es: 0.2631. Este valor resulta ser superior al normalmente usado ya que el valor del Coeficiente de Poisson suele variar entre 0.15 y 0.20 (H. Kosmatka, Kerkhoff, C. Panarese, & Tanesi, 2004).

El concreto convencional, que es el normalmente usado en la construcción de edificios con muros de ductilidad limitada, tiene una Resistencia a la Compresión igual a 210 kg/cm² cuyo Coeficiente de Poisson generalmente oscila entre los valores de 0.15 y 0.20; comparado con el Coeficiente de Poisson calculado a partir de los ensayos para nuestro concreto celular vemos que es menor en relación al del concreto celular esto quiere decir que ante la aplicación de una carga axial a nuestro concreto celular presentara mayores deformaciones transversales de las cuales podrá recuperarse y volver a su estado inicial siempre que no se supere el rango elástico del material.

4.2.4 Ensayo de Coeficiente de Expansión Térmica

Tabla 20: Ensayo de Coeficiente de Expansión Térmica

N° ENSAYO	CTE-1	CTE-2	CTE PROM.
T-1	8.32E-06	9.72E-06	9.02E-06
T-2	9.86E-06	1.07E-05	1.03E-05
T-3	7.49E-06	9.74E-06	8.61E-06
T-4	7.43E-06	1.08E-05	9.10E-06
T-5	8.38E-06	1.03E-05	9.35E-06
T-6	7.99E-06	9.00E-06	8.49E-06
T-7	7.60E-06	1.06E-05	9.09E-06
T-8	9.12E-06	1.19E-05	1.05E-05
T-9	7.47E-06	9.43E-06	8.45E-06
T-10	6.95E-06	9.70E-06	8.32E-06
T-11	7.78E-06	1.06E-05	9.17E-06
T-12	7.03E-06	9.41E-06	8.22E-06
T-13	8.65E-06	1.19E-05	1.03E-05
T-14	7.90E-06	1.13E-05	9.59E-06
T-15	7.82E-06	1.07E-05	9.24E-06
T-16	7.91E-06	9.99E-06	8.95E-06
T-17	7.64E-06	1.05E-05	9.08E-06
T-18	9.16E-06	1.19E-05	1.05E-05
T-19	8.15E-06	1.09E-05	9.51E-06
T-20	7.62E-06	9.95E-06	8.78E-06
		CTE PROM.	9.23E-06

Fuente: Elaboración Propia

Del ensayo para la obtención del Coeficiente de Expansión Térmica, se obtiene un valor promedio de $9.23 \mu/^{\circ}\text{C}$. El valor en un concreto tradicional varía entre los $7 \mu/^{\circ}\text{C}$ y $12 \mu/^{\circ}\text{C}$ (Al-Ostaz, 2007), el concreto celular diseñado presenta un valor bajo debido a que no se usó agregado grueso para la mezcla, el cual es el factor de mayor influencia en el valor del Coeficiente de Expansión Térmica.

4.2.5 Ensayo de Resistencia a la Flexión

Tabla 21: Ensayo de Resistencia a la Flexión

CODIGO DE ESPECIMEN	L (cm)	b1 (cm)	b2 (cm)	b3 (cm)	h1 (cm)	h2 (cm)	h3 (cm)	P (KN)	Mr (Kg/cm2)	Mr (Mpa)
V-1	455.0	151.8	151.5	151.5	156.4	153.2	154.5	24,63	31.498	3.089
V-2	455.0	153.2	151.6	151.6	149.0	155.3	154.0	24,38	31.860	3.124
V-3	455.0	155.0	154.2	150.8	156.4	156.2	154.2	25,12	31.395	3.079
V-4	455.0	153.3	153.2	149.5	154.3	149.2	155.3	24,28	31.688	3.108
V-5	455.0	153.1	153.3	150.7	155.4	154.8	153.7	24,36	31.022	3.042
PROM									31.492	3.088

Fuente: Elaboración Propia

De los ensayos realizados se observa que el módulo de rotura representa un 15.90% de la resistencia a la compresión obtenida. Este valor se encuentra un concreto tradicional, en donde el módulo de rotura alcanza valores de 10% a 20% de su resistencia a la compresión (NRMCA, 2016).

CAPITULO V: APLICACIÓN DEL DISEÑO PROPUESTO EN EL ANÁLISIS SÍSMICO DE UN EDIFICIO CON MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA

5.1 Generalidades del Proyecto

El caso de estudio se trata de un edificio multifamiliar de seis niveles proyectado para ser construido en la ciudad de Arequipa.

El proyecto completo consta de dos edificios cuyo uso será para departamentos, un edificio se ubicará en la parte trasera del terreno y otro en la parte frontal del mismo. Las plantas de ambos edificios se tomarán como típicas para el resto, excepto la primera planta del edificio frontal de la cual se destinará un área para un hall de entrada.

Además de los dos edificios de departamentos en el medio de ambos se encontrará una estructura destinada para las escaleras y el ascensor, será sobre esta estructura donde estará ubicado el tanque elevado. Finalmente, en la parte frontal del edificio se encuentra un área destinada para acceso peatonal además de cuatro estacionamientos para vehículos.

El sistema empleado para la construcción de los edificios será el de muros de ductilidad limitada, con losas macizas, además será necesario el uso de espesores mayores donde sea requerido para el paso de las instalaciones sanitarias.

Todas las plantas tienen un área techada igual a 286.22 m².

Todos los cálculos y análisis realizados serán los correspondientes al edificio ubicado en la parte frontal del terreno.

5.2 Metrado de Cargas y Pre Dimensionamiento

5.2.1 Pre dimensionamiento de Losas

De acuerdo a las recomendaciones del Ingeniero Blanco, el espesor de la losa debe ser mayor a la relación del perímetro del paño más grande entre 180.

Para nuestro caso viene a ser el paño que se encuentra contenido entre los ejes 9-7 y J-L del edificio.

$$h = \frac{\textit{Perimetro}}{180}$$

Donde:

h = espesor de la losa

Perímetro = 18.68 m

Entonces:

$$h = 10.38 \text{ cm.}$$

Se optará por tomar una losa de 12.5 cm de espesor y adicionalmente un espesor de 20.0 cm en las losas de los baños, esto debido a que las instalaciones sanitarias necesitan un espesor extra por el paso de las tuberías requeridas durante el proceso constructivo.

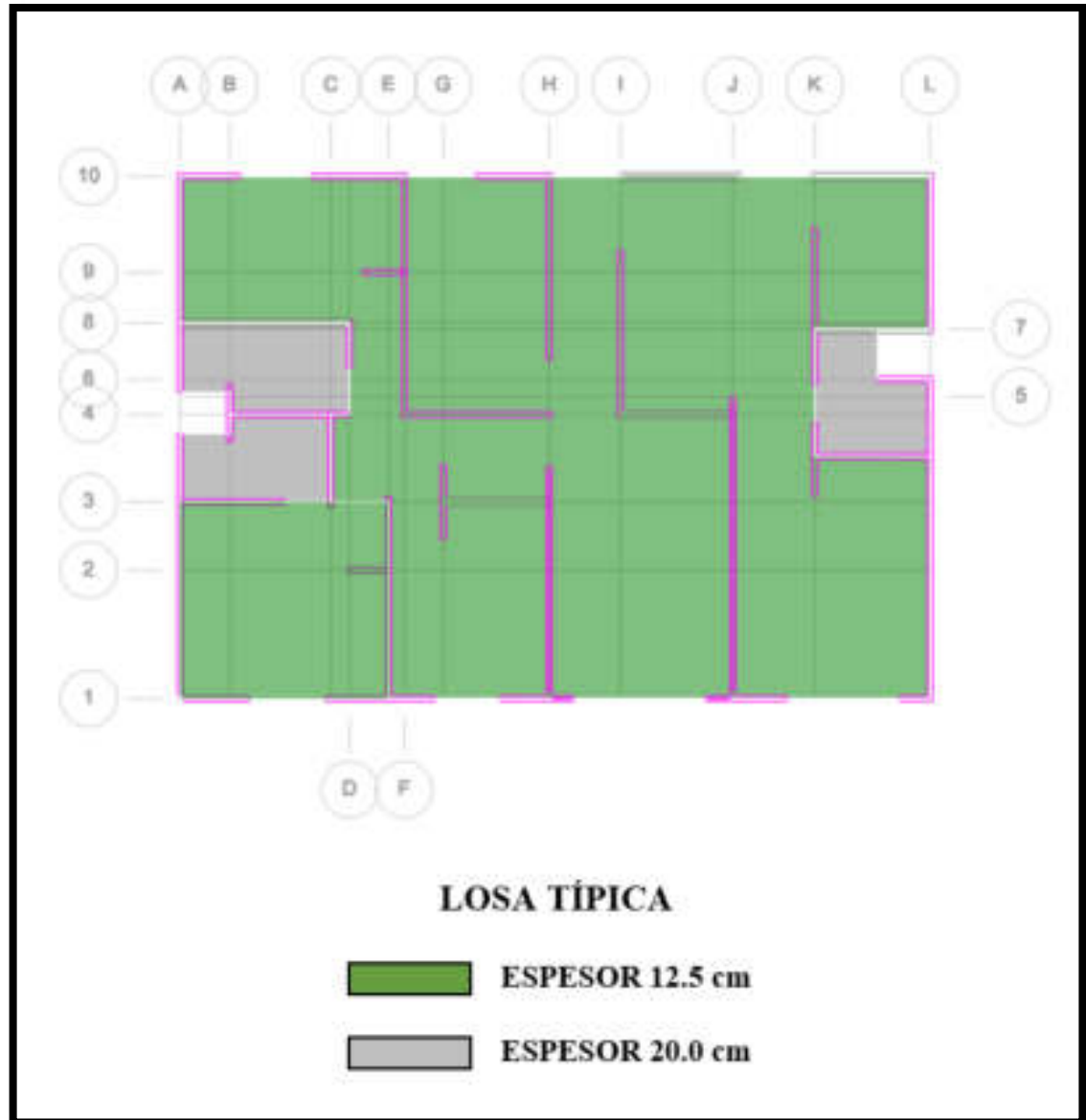


Figura 35: Plano de espesores de losas

Fuente: Elaboración Propia

5.2.2 Pre dimensionamiento de Muros

En el caso de los muros se considerará un espesor general de 10 cm, el cual deberá ser confirmado con los cálculos posteriores. Además, también será necesario considerar un ensanche de los muros hasta un espesor de 15 cm en los sectores en los que será necesario el paso de tuberías para las instalaciones sanitarias.



Figura 36: Distribución de muros

Fuente: Elaboración Propia

5.2.3 Medrado de cargas

5.2.3.1 Medrado de losas macizas

El valor de la densidad del concreto usado en el análisis sísmico, según la Norma E-020 Cargas, será el valor obtenido para el peso unitario del concreto celular más 100 kg/m³. Obteniéndose un valor igual a:

Densidad del concreto: $\rho = 1991.88 \text{ kg/m}^3$

- *Carga Muerta:*

Tabla 22: Metrados de Carga Muerta para Losa Típica

LOSA TÍPICA (espesor cm)	PESO PROPIO (Ton/m ²)	PISO TERMINADO (Ton/m ²)	AREA (m ²)	PESO (Ton)
H = 12.5	0.25	0.12	114.23	42.27
H = 20.0	0.40	0.12	15.32	7.97
			TOTAL =	50.23

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 23: Metrados de Carga Muerta para la Azotea

AZOTEA (espesor)	PESO PROPIO (Ton/m ²)	PISO TERMINADO (Ton/m ²)	AREA (m ²)	PESO (Ton)
H=12.5	0.25	0.12	129.55	47.93
			TOTAL =	47.93

Fuente: Elaboración Propia

- *Carga Viva:*

Tabla 24: Metrados de Carga Viva para Losas

LOSA	CV (Ton/m ²)	AREA (m ²)	PESO (Ton)
Losa típica	0.2	129.55	25.91
Azotea	0.1	129.55	12.96

Fuente: Elaboración Propia

5.2.3.2 Metrado de Muros de Ductilidad Limitada

- *Carga Muerta - Primera Planta:*

Tabla 25: Metrados de Carga Muerta para Muros de Ductilidad Limitada de la Primera Planta

DIRECCION	LONGITUD (m)	ESPESOR (m)	ALTURA (m)	PESO ESPECIFICO (Ton/m ³)	PESO (Ton)
X-X	20.40	0.10	2.30	1.99	9.34
X-X	13.88	0.15	2.30	1.99	9.53
Y-Y	49.81	0.10	2.30	1.99	22.80
				TOTAL	41.66

Fuente: Elaboración Propia

- *Carga Muerta - Segunda, Tercera, Cuarta, Quinta Y Sexta Planta*

Tabla 26: Metrados de Carga Muerta para Muros de Ductilidad Limitada de la Segunda, tercera, Cuarta, Quinta y Sexta Planta

DIRECCION	LONGITUD (m)	ESPESOR (m)	ALTURA (m)	PESO ESPECIFICO (Ton/m3)	PESO (Ton)
X-X	22.55	0.10	2.30	1.99	10.32
X-X	13.88	0.15	2.30	1.99	9.53
Y-Y	50.00	0.10	2.30	1.99	22.98
TOTAL					42.74

Fuente: Elaboración Propia

Metrado de Carga Total del Edificio

Tabla 27: Metrados de Carga Total del Edificio

PLANTA	CARGA MUERTA			CARGA VIVA
	MUROS (ton)	LOSA (Ton)	TOTAL (Ton)	TOTAL (Ton)
Piso 1	41.66	50.23	91.89	25.91
Piso 2	42.74	50.23	92.97	25.91
Piso 3	42.74	50.23	92.97	25.91
Piso 4	42.74	50.23	92.97	25.91
Piso 5	42.74	50.23	92.97	25.91
Piso 6	42.74	47.93	90.67	12.96
TOTAL			554.44	142.51

Fuente: Elaboración Propia

5.2.3.3 Metrado de cargas por sismo

De acuerdo a la norma E-030 la edificación será considerada como tipo C, por lo tanto, el peso (P) de la edificación se calculará tomando el 100% de la Carga Muerta y el 25 % de la Carga Viva.

$$P = 1.00CM + 0.25CV$$

Del metrado tenemos que:

Carga muerta CM = 445.06 ton

Carga viva CV = 142.51 ton

Entonces:

$$P = 590.07 \text{ ton}$$

Para obtener la cortante basal se considerará los requisitos y parámetros establecidos en la norma de diseño sísmo resistente E-030.

$$V = \frac{ZUCS}{R} * P$$

Tabla 28: Parámetros Utilizados para el Análisis Sísmico

Factor de zona	Z	0.35
Factor de uso	U	1.00
Factor de suelo	S	1.15
Coefficiente de reducción de fuerza sísmica	R	4.00
Coefficiente de ampliación sísmica	C	2.50

Fuente: Elaboración Propia

Reemplazando tenemos que:

$$V = 197.92 \text{ ton}$$

Para verificar la dimensión de los muros en ambas direcciones se supondrá que el 100% de la cortante será absorbida por la sección del concreto.

Se tendrá en cuenta que el peralte efectivo (d) será el 80% de la dimensión del muro de acuerdo a la siguiente expresión:

$$d = 0.80 * L$$

La cortante de diseño resulta de la siguiente ecuación:

$$V_c = 0.85 * 0.53 * \sqrt{f'c} * b * d$$

Despejando y reemplazando tenemos que:

$$L = \frac{V}{0.85 * 0.53 * \sqrt{f'c} * b * 0.80}$$

Sabemos que:

$$V = 197.92 \text{ ton}$$

$$f'c = 198 \text{ kg/cm}^2$$

$$b = 0.10 \text{ m}$$

Entonces:

$$L = 39.03 \text{ m}$$

A continuación, tenemos un cuadro en el cual se demuestra que el pre dimensionamiento de nuestros muros es el correcto al notarse que la longitud de muros en ambas direcciones es mayor a la mínima requerida.

Tabla 29: Longitud de Muros

DIRECCION	LONGITUD (m)
X-X	41.22
Y-Y	49.81

Fuente: Elaboración Propia

5.3 Análisis Sísmico

5.3.1 Modelo Estructural

El análisis sísmico de nuestro edificio se hará con un modelo tridimensional usando el programa ETABS.

Los muros asignados tienen espesores de 10.0 y 15.0 cm y las losas de 12.5 y 20.0 cm de acuerdo al pre dimensionamiento previamente realizado, además las losas serán asignadas como elementos membrana para que las cargas puedan ser transmitidas a los muros.

Cada piso se considerará como un diafragma rígido con tres grados de libertad y todos los muros serán restringidos en desplazamiento y rotación en la base.

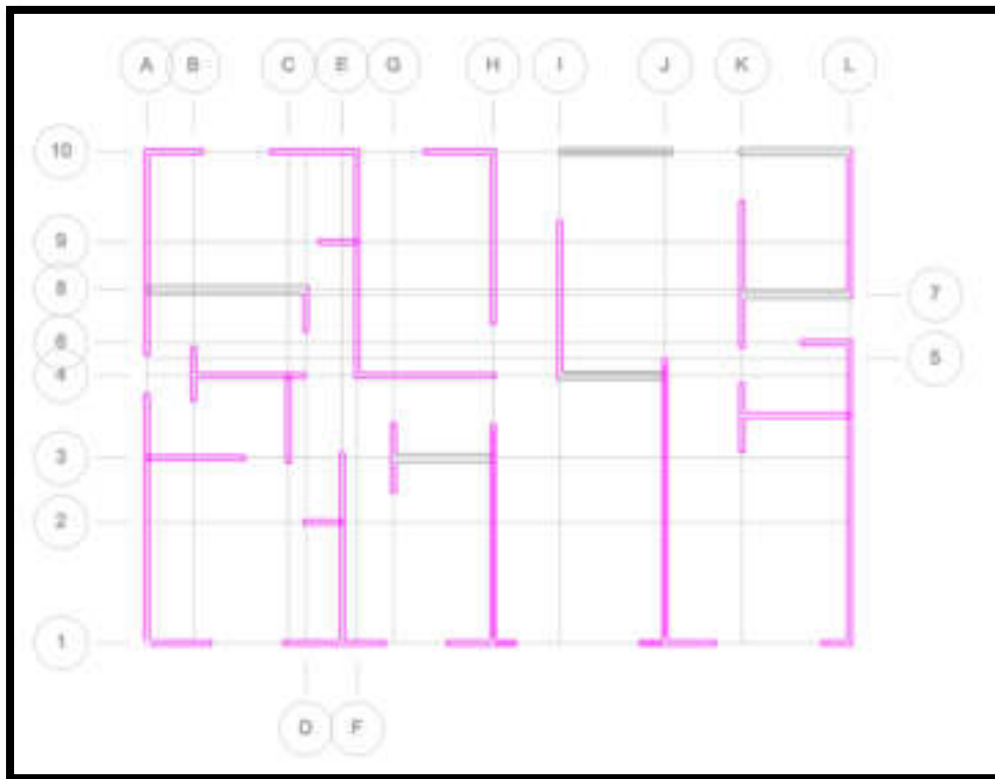


Figura 37: Vista en planta del modelo estructural

Fuente: Programa ETABS

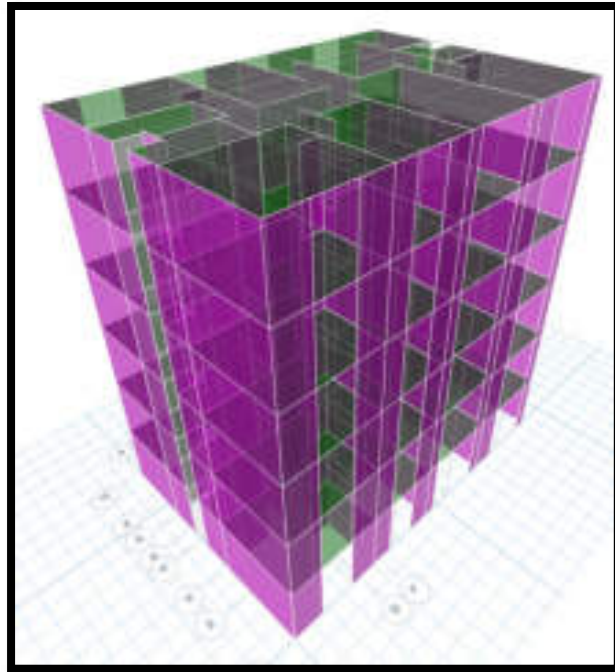


Figura 38: Vista tridimensional de modelo estructural

Fuente: Programa ETABS

5.3.2 Parámetros y Condiciones Generales

5.3.2.1 Parámetros de Sitio

- *Zonificación (Z):*

Arequipa, por su ubicación geográfica, se encuentra en la Zona 3; por lo tanto, de acuerdo a la norma tenemos que:

$$Z = 0.35$$

- *Condiciones Geotécnicas (S)*

Se considerará un suelo intermedio S2, que en conjunto con parámetro de zonificación correspondiente tenemos que:

$$S = 1.15$$

- *Factor de Amplificación Sísmica (C)*

De la norma y de acuerdo al tipo de suelo considerado tenemos que $T_p = 0.6$ y $T_I = 2.0$.

Para nuestro caso tenemos que $T < T_p$ entonces tenemos que:

$$C = 2.5$$

5.3.2.2 Requisitos Generales

- *Categoría de la Edificación:*

La categoría de nuestro edificio de acuerdo a la norma E-030 será considerada como una edificación común, por lo tanto:

$$U = 1.0$$

- *Sistema Estructural:*

La norma establece que el factor de reducción R será calculado de acuerdo a:

$$R = R_o * I_p * I_a$$

Por el sistema estructural tenemos que $R_o = 4$

La estructura no presenta irregularidades en altura por lo tanto $I_a = 1.00$. Por el contrario, si presenta irregularidad en planta por lo tanto será necesario un análisis para determinar el valor de I_p .

- *Irregularidad en Planta:*

Se realizará un análisis para confirmar si el edificio presenta irregularidad torsional o irregularidad torsional extrema de acuerdo a lo planteado por la norma E-030 que dice:

Tabla 30: Factor de Irregularidad en Planta

IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA	FACTOR DE IRREGULARIDAD I_p
<p>Irregularidad Torsional Existe irregularidad torsional cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio, calculado incluyendo excentricidad accidental ($\Delta_{m\acute{a}x}$), es mayor que 1.2 veces el desplazamiento relativo del centro de masas del mismo entrepiso para la misma condición de carga (Δ_{CM}). Este criterio sólo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y sólo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor que 50% del desplazamiento permisible indicado en la Tabla N° 11.</p>	0.75
<p>Irregularidad Torsional Extrema Existe irregularidad torsional extrema cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio, calculado incluyendo excentricidad accidental ($\Delta_{m\acute{a}x}$), es mayor que 1.5 veces el desplazamiento relativo promedio de los extremos del mismo entrepiso para la misma condición de carga (Δ_{Prom}). Este criterio sólo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y sólo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor que 50 % del desplazamiento permisible indicado en la Tabla N° 11.</p>	0.60

Fuente: NTE E 0.30 2018

De lo anterior podemos concluir que:

Irregularidad Torsional: $\frac{\Delta MAX}{hi} > 1.2 * \frac{\Delta CM}{hi}$ $I_p = 0.75$

Irregularidad Torsional: $\frac{\Delta MAX}{hi} > 1.5 * \frac{\Delta CM}{hi}$ $I_p = 0.60$

Además:

$$\frac{\Delta MAX}{hi} > 0.5 * \left(\frac{\Delta}{h}\right)_{permissible}$$

Tabla 31: Irregularidades en Planta en Dirección X-X

IRREGULARIDAD EN PLANTA DIRECCION X-X								
PISO	X-X				Y-Y			
	MAXIMA DERIVA	DERIVA CM	$\frac{\Delta MAX}{\Delta CM}$	$\frac{\Delta MAX}{\Delta CM} < 1.2$	MAXIMA DERIVA	DERIVA CM	$\frac{\Delta MAX}{\Delta CM}$	$\frac{\Delta MAX}{\Delta CM} < 1.2$
No.	ΔMAX	ΔCM			ΔMAX	ΔCM		
6	0.001017	0.001001	1.015	CUMPLE	0.000308	0.000279	1.105	CUMPLE
5	0.001016	0.001002	1.014	CUMPLE	0.000304	0.000276	1.099	CUMPLE
4	0.000966	0.000953	1.013	CUMPLE	0.000284	0.000260	1.092	CUMPLE
3	0.000841	0.000832	1.011	CUMPLE	0.000241	0.000222	1.082	CUMPLE
2	0.000632	0.000622	1.016	CUMPLE	0.000175	0.000162	1.081	CUMPLE
1	0.000273	0.000266	1.026	CUMPLE	0.000080	0.000071	1.128	CUMPLE

Fuente: Programa ETABS

Tabla 32: Factor de Irregularidad en Planta

IRREGULARIDAD EN PLANTA DIRECCION Y-Y								
PISO	X-X				Y-Y			
	MAXIMA DERIVA	DERIVA CM	$\frac{\Delta MAX}{\Delta CM}$	$\frac{\Delta MAX}{\Delta CM} < 1.2$	MAXIMA DERIVA	DERIVA CM	$\frac{\Delta MAX}{\Delta CM}$	$\frac{\Delta MAX}{\Delta CM} < 1.2$
No.	ΔMAX	ΔCM			ΔMAX	ΔCM		
6	0.000309	0.000275	1.122	CUMPLE	0.000348	0.000270	1.293	NO CUMPLE
5	0.000312	0.000277	1.126	CUMPLE	0.000354	0.000276	1.284	NO CUMPLE
4	0.000301	0.000266	1.130	CUMPLE	0.000341	0.000267	1.275	NO CUMPLE
3	0.000265	0.000234	1.134	CUMPLE	0.000299	0.000237	1.265	NO CUMPLE
2	0.000202	0.000177	1.142	CUMPLE	0.000227	0.000181	1.254	NO CUMPLE
1	0.000094	0.000080	1.178	CUMPLE	0.000114	0.000092	1.234	NO CUMPLE

Fuente: Programa ETABS

Notamos que no existe irregularidad torsional, por lo tanto:

$$I_p = 0.75$$

Entonces:

$$R = 4.00 * 1.00 * 0.75$$

$$R = 3$$

5.3.3 Análisis Estático

5.3.3.1 Periodo Fundamental

El periodo fundamental de la edificación se calcula con la expresión:

$$T = \frac{hn}{Ct}$$

Tenemos que:

$$Ct = 60, \text{ (norma E-030).}$$

$$hn = 15.30 \text{ m}$$

$$T = 0.255$$

Por lo tanto, el periodo fundamental para ambas direcciones X y Y será:

$$T_{xx} = T_{yy} = 0.255 \text{ s}$$

5.3.3.2 Cortante Estática en la Base

El cortante en la base, como ya se vio anteriormente, se obtiene de la ecuación:

$$V = \frac{ZUCS}{R} * P$$

Tenemos que:

Tabla 33: Parámetros Utilizados para el Análisis Sísmico

Z	0.35
U	1.00
S	1.15
R	4.00
C	2.50

Fuente: Elaboración Propia

Además, será necesario considerar que:

$$\frac{C}{R} \geq 0.125$$

Finalmente tenemos que la cortante estática en la base será:

$$V = 0.252 * P$$

Donde P es el peso sísmico de la edificación calculado anteriormente.

5.3.4 Análisis Dinámico

Para realizar el análisis dinámico de la estructura se procederá a lo establecido por la norma de diseño sismo resistente peruana E-030:2018.

5.3.4.1 Análisis de Modos de Vibración

Los modos de vibración dependen de la rigidez, la masa y el amortiguamiento de las edificaciones y su cantidad está en función de los grados de libertad que se consideren por cada nivel del edificio, que generalmente es de tres grados de libertad por piso.

A continuación, se presenta una tabla donde se aprecian los periodos y masas participativas de cada modo de vibración que en nuestro caso al ser una edificación de seis niveles por tres grados de libertad nos da un total de dieciocho grados de libertad.

Tabla 34: Periodos y Masas Participativas por Grado de Libertad

MODO	PERIODO	MASA PARTICIPATIVA X-X	MASA PARTICIPATIVA Y-Y
	(s)	(%)	(%)
1	0.319	0.065	0.038
2	0.186	0.013	0.203
3	0.149	0.029	0.470
4	0.063	0.195	0.010
5	0.042	0.001	0.076
6	0.037	0.009	0.121
7	0.027	0.060	0.003
8	0.020	0.000	0.025
9	0.018	0.002	0.025
10	0.017	0.026	0.001
11	0.013	0.000	0.013
12	0.012	0.000	0.006
13	0.012	0.011	0.000
14	0.010	0.000	0.007
15	0.010	0.003	0.000
16	0.010	0.001	0.001
17	0.009	0.000	0.002
18	0.008	0.000	0.000

Fuente: Programa ETABS

La norma indica que se deben tener en cuenta aquellos modos de vibración cuya suma de masas sea al menos el 90% de la masa total además que se tomara como mínimo los tres primeros modos predominantes en cada dirección.

A continuación, se muestran los modos de vibración considerados para cada dirección:

Tabla 35: Periodos y Masas Participativas en la Dirección X-X

MODOS DE VIBRACION PREDOMINANTES EN LA DIRECCION X-X		
MODO	PERIODO	MASA PARTICIPATIVA
1	0.319	65.00
4	0.063	19.50
7	0.027	6.00
TOTAL		90.50

Fuente: Programa ETABS

Tabla 36: Periodos y Masas Participativas en la Dirección Y-Y

MODOS DE VIBRACION PREDOMINANTES EN LA DIRECCION Y-Y		
MODO	PERIODO	MASA PARTICIPATIVA
1	0.319	3.80
2	0.186	20.30
3	0.029	47.00
5	0.042	7.60
6	0.037	12.10
TOTAL		90.80

Fuente: Programa ETABS

5.3.4.2 Análisis de la Aceleración Espectral

La norma indica que se debe considerar, para el análisis dinámico, un espectro inelástico de pseudo aceleración que se obtiene con la ecuación:

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} * g$$

A continuación, se presenta una tabla para los valores de S_a en función de los valores del periodo T y su respectivo gráfico.

Tabla 37: Valores de Sa en Función de los Valores del Periodo T

T	C	Sa	T	C	Sa	T	C	Sa
0.00	2.50	3.29	1.20	1.25	1.65	2.50	0.48	0.63
0.05	2.50	3.29	1.30	1.15	1.52	2.60	0.44	0.58
0.10	2.50	3.29	1.40	1.07	1.41	2.70	0.41	0.54
0.20	2.50	3.29	1.50	1.00	1.32	2.80	0.38	0.50
0.30	2.50	3.29	1.60	0.94	1.23	2.90	0.36	0.47
0.40	2.50	3.29	1.70	0.88	1.16	3.00	0.33	0.44
0.50	2.50	3.29	1.80	0.83	1.10	4.00	0.19	0.25
0.60	2.50	3.29	1.90	0.79	1.04	5.00	0.12	0.16
0.70	2.14	2.82	2.00	0.75	0.99	6.00	0.08	0.11
0.80	1.88	2.47	2.10	0.68	0.90	7.00	0.06	0.08
0.90	1.67	2.19	2.20	0.62	0.82	8.00	0.05	0.06
1.00	1.50	1.97	2.30	0.57	0.75	9.00	0.04	0.05
1.10	1.36	1.79	2.40	0.52	0.69	10.00	0.03	0.04

Fuente: Elaboración Propia



Figura 39: Espectro de Respuesta de Pseudo-Aceleraciones

Fuente: Elaboración Propia

5.3.4.3 Desplazamientos de la Edificación

Para tener la seguridad que nuestra edificación sea lo suficientemente rígida ante la presencia de fuerzas laterales, es decir que no presente desplazamientos excesivos, la norma indica en sus artículos 5.1 y 5.2 que:

- **Artículo 5.1: Determinación de Desplazamientos Laterales**

Para estructuras regulares, los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando por 0.75 R los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las sollicitaciones sísmicas reducidas. Para estructuras irregulares, los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando por 0.85 R los resultados obtenidos del análisis lineal elástico.

Para el cálculo de los desplazamientos laterales no se considerarán los valores mínimos de C/R indicados en el numeral 4.5.2 ni el cortante mínimo en la base especificado en el numeral 4.6.4.

- **Artículo 5.2: Desplazamientos Laterales Relativos Admisibles**

El máximo desplazamiento relativo de entrepiso, calculado según el numeral 5.1, no deberá exceder la fracción de la altura de entrepiso (distorsión) que se indica en la Tabla N° 39.

Tabla 38: Limites para la Distorsión del Entrepiso

MATERIAL PREDOMINANTE	(Δ_i/h_{ei})
CONCRETO ARMADO	0.007
ACERO	0.010
ALBAÑILERIA	0.005
MADERA	0.010
EDIFICIOS DE CONCRETO ARMADO CON MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA	0.005

Fuente: NTE E 0.30 2018

A continuación, se presentan las tablas para las máximas derivas y desplazamientos para la dirección X.

Tabla 39: Máximas Derivas en la Dirección X-X

MAXIMAS DERIVAS X-X				
PISO	COMBINACION	DIRECCION	DERIVA	DERIVA LIMITE
6	Sismo X	Diafragma X	0.0026	0.0050
6	Sismo X	Diafragma Y	0.0008	0.0050
5	Sismo X	Diafragma X	0.0026	0.0050
5	Sismo X	Diafragma Y	0.0008	0.0050
4	Sismo X	Diafragma X	0.0025	0.0050
4	Sismo X	Diafragma Y	0.0007	0.0050
3	Sismo X	Diafragma X	0.0021	0.0050
3	Sismo X	Diafragma Y	0.0006	0.0050
2	Sismo X	Diafragma X	0.0016	0.0050
2	Sismo X	Diafragma Y	0.0004	0.0050
1	Sismo X	Diafragma X	0.0007	0.0050
1	Sismo X	Diafragma Y	0.0002	0.0050

Fuente: Programa ETABS

Por la tabla anterior notamos que ninguna de las derivas máximas calculadas supera a la deriva limite (0.005) por lo tanto se cumple con los requisitos de la norma.

Ahora se muestra una tabla con el máximo desplazamiento X-X.

Tabla 40: Máximo Desplazamiento en la Dirección X-X

PISO	COMBINACION	DESPLAZAMIENTO MAXIMO (mm)
6	Sismo X	15.03

Fuente: Programa ETABS

Las Máximas derivas y desplazamientos para la dirección Y se presenta a continuación.

Tabla 41: Máximas Derivas y Desplazamientos en la Dirección Y-Y

MAXIMAS DERIVAS Y-Y				
PISO	COMBINACION	DIRECCION	DERIVA	DERIVA LIMITE
6	Sismo Y	Diafragma X	0.0023	0.0050
6	Sismo Y	Diafragma Y	0.0026	0.0050
5	Sismo Y	Diafragma X	0.0024	0.0050
5	Sismo Y	Diafragma Y	0.0027	0.0050
4	Sismo Y	Diafragma X	0.0023	0.0050
4	Sismo Y	Diafragma Y	0.0026	0.0050
3	Sismo Y	Diafragma X	0.0020	0.0050
3	Sismo Y	Diafragma Y	0.0023	0.0050
2	Sismo Y	Diafragma X	0.0015	0.0050
2	Sismo Y	Diafragma Y	0.0017	0.0050
1	Sismo Y	Diafragma X	0.0007	0.0050
1	Sismo Y	Diafragma Y	0.0009	0.0050

Fuente: Programa ETABS

Por la tabla anterior notamos que ninguna de las derivas máximas calculadas supera a la deriva limite (0.005) por lo tanto se cumple con los requisitos de la norma.

Ahora se muestra una tabla con el máximo desplazamiento Y-Y.

Tabla 42: Máximo Desplazamiento en la Dirección Y-Y

PISO	COMBINACION	DESPLAZAMIENTO MAXIMO (mm)
6	Sismo Y	4.43

Fuente: Programa ETABS

5.3.4.4 Cortante Elástica en la Base

La norma indica que, para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante elástica no deberá ser menor que el 80% de la fuerza cortante estática calculada para estructuras regulares.

Y en el caso de estructuras irregulares no deberá ser menor que el 90%.

De ser necesario se incrementará el cortante elástico hasta cumplir los mínimos señalados.

De acuerdo a lo indicado tenemos que:

$$V_{Elastic} \geq \begin{cases} 0.80 V_{Estatico}, & Regular \\ 0.90 V_{Estatico}, & Irregular \end{cases}$$

A continuación, presentamos una tabla con los cortantes estáticos y dinámicos en ambas direcciones y el factor de escala para la cortante dinámica.

Tabla 43: Cortantes Estáticos y Dinámicos, y Factor de Escala

DIRECCION	CORTANTE ESTATICO (ton)	CORTANTE ESTATICO AL 90% (ton)	CORTANTE DINAMICO (ton)	FACTOR DE ESCALA
X-X	197.92	178.13	139.13	1.28
Y-Y	197.92	178.13	116.46	1.53

Fuente: Programa ETABS

5.4 Diseño de Concreto Armado usando Concreto Celular en Edificios de Muros de ductilidad Limitada

5.4.1 Diseño de Losas Macizas

Cuando la losa es armada en dos sentidos y además posee forma regular se puede usar el método de los coeficientes propuesto por la norma R.N.E (E.060), en este caso se tiene losas de longitudes y formas irregulares la cual dificultará los cálculos. Por tal motivo se usa el programa SAFE para el análisis estructural de las losas.

El modelamiento de las losas en el programa SAFE se realizará exportando datos del programa Etabs, el cual considerará las cargas actuantes en dichas losas. También se tendrá en cuenta que las losas tienen un comportamiento influenciado por las cargas de gravedad ya que se comportan como diafragmas rígidos. Por eso, las cargas de diseño son

las cargas estáticas amplificadas 1.4 CM +1.7 CV. Para el análisis de las losas maciza se utiliza franjas de 1m de ancho, ya que en el diseño proporcionamos áreas de acero por un ancho unitario.

5.4.1.1 Diseño por flexión

Para el diseño por flexión se tendrá en cuenta lo siguiente:

- La cuantía mínima para losas macizas será: $\rho_{min} = 0.0018$.
- El recubrimiento será de 2.5 cm.
- En las losas de 12.5 cm de espesor el acero de refuerzo será distribuido en una sola capa y en las losas de 20.0 cm de espesor será de dos capas.

El diseño por flexión trabaja con la siguiente formula:

$$k_u = \frac{M_u}{b * d^2}$$

Donde b es el ancho unitario de la franja considerada para el diseño (100 cm) y d es el peralte efectivo de la losa.

Para cada valor k_u le corresponde una cuantía requerida (ρ), como en nuestro caso se iniciará con la cuantía mínima requerida se procederá al cálculo de acero requerido para cada espesor de losa haciendo uso de la fórmula:

$$A_s = \rho * b * d$$

Tabla 44: Acero Mínimo para Losas

LOSA (cm)	$A_{smin}=0.0018*b*d$ (cm ²)
12.5	2.25
20.0	3.60

Fuente: Elaboración Propia

Se optará por hacer uso de un acero de diámetro de 8 mm con un $A_s = 0.5$ cm² de modo que se procede al cálculo del espaciamiento S de barras con la siguiente formula:

$$S = \frac{A_s \phi}{A_{smin}}$$

Para la losa de espesor de 12.5 cm tenemos:

$$S = \frac{0.5 \text{ cm}^2}{2.25 \text{ cm}^2/\text{m}}$$

$$S = 0.22 \text{ m}$$

Se tomará una distribución de acero con un espaciamiento igual a 20,0 cm, por lo tanto, el acero en la losa de 12.5 cm de espesor quedará de la siguiente manera:

$$1 \phi 8 \text{ mm @ } 20.0 \text{ cm}$$

A continuación, se hará el diseño de un paño representativo:

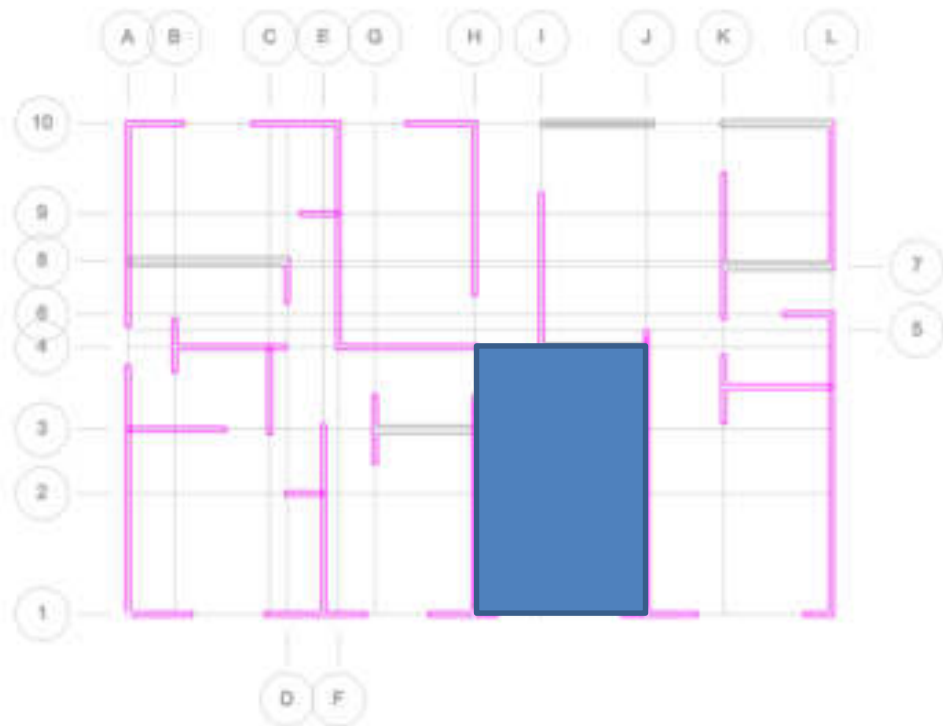


Figura 40: Paño Representativo de la Losa

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 45: Momentos Últimos del Paño Representativo

LOSA (12.5 cm)	MOMENTOS ÚLTIMOS M_u (Ton*m)		
	Sala comedor	Dirección X	Mu máx. (+)
Mu min. (-)			0.40
Dirección Y		Mu máx. (+)	0.08
		Mu min. (-)	0.22

Fuente: Programa SAFE

Lo que se busca es que se cumpla la relación $\phi M_n \geq M_u$, se hará un chequeo para cumplir los requerimientos de flexión.

Tabla 46: Verificación de Acero Requerido

M_u (Ton*m)	k_u	ρ	As req (cm ²)	As min (cm ²)	As adicional (cm ²)
0.22	2.316	0.0006	0.6	2.25	0
0.40	4.211	0.0011	1.1	2.25	0
0.08	0.842	0.0002	0.2	2.25	0
0.22	2.316	0.0006	0.6	2.25	0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 47: Verificación de Momentos

MOMENTOS ÚLTIMOS (Ton*m)	ϕM_n (Ton*m)	VERIFICACIÓN	
Mu máx. (+)	0.22	0.83	CORRECTO
Mu min. (-)	0.40	0.83	CORRECTO
Mu máx. (+)	0.08	0.83	CORRECTO
Mu min. (-)	0.22	0.83	CORRECTO

Fuente: Elaboración Propia

5.4.1.2 Verificación por corte

La verificación por corte se hará suponiendo que toda la sección de concreto soportará las fuerzas de corte, esta sección estará determinada mediante un ancho y el peralte efectivo de la losa maciza.

Se deberá cumplir la siguiente relación:

$$\phi V_n \geq V_u$$

Siendo el valor de $\phi = 0.85$ para las sollicitaciones de corte según la norma E-060

Del análisis de la losa tenemos que la cortante máxima es:

$$V_u = 0.70 \text{ Ton}$$

$$V_n = 0.53 * \sqrt{f_c} * b * d$$

$$V_n = 7.46 \text{ Ton}$$

Haciendo la comparación, tenemos que:

$$0.85 * 7.46 \geq 0.70$$

$$6.34 \text{ Ton} \geq 0.70 \text{ Ton}$$

El cortante proporcionado por la sección de concreto de la losa maciza es mayor al cortante último del análisis, por lo tanto, podemos decir que el espesor de la losa es el adecuado.

5.4.2 Diseño de muros de Ductilidad Limitada

5.4.2.1 Diseño por Flexocompresión

El objetivo será que se cumpla el diseño por flexocompresión usando los diagramas de interacción que se tiene que graficar a partir de las combinaciones de fuerza normal (P) y momento (M) que agotan la capacidad de la sección.

El primer paso para el diseño por flexocompresión será conocer las fuerzas de diseño utilizando las combinaciones de carga del análisis estructural.

Luego se hace una primera aproximación de acero vertical con la cuantía mínima (ρ_{minv}), además de considerar que la máxima separación entre varillas debe ser menor que tres veces el espesor del muro o 40 cm:

$$Si V_u \geq 0.5 \phi V_c \begin{cases} \rho_{vertical} \geq 0.0025 \\ \rho_{horizontal} \geq 0.0025 \end{cases}$$

ó

$$\text{Si } Vu \leq 0.5 \phi V_c \begin{cases} \rho_{\text{vertical}} \geq 0.0015 \\ \rho_{\text{horizontal}} \geq 0.0020 \end{cases}$$

También:

$$\text{Si } \frac{hm}{lm} \leq 2 \rightarrow \rho_{\text{vertical}} > \rho_{\text{horizontal}}$$

Para hacer uso del diagrama de interacción se requiere asignar un armado de refuerzo para la sección propuesta, después de esto se generará el respectivo diagrama el cual llevará a un proceso iterativo hasta que el armado de refuerzo cumpla con lo estipulado en la norma E-030.

También será necesario verificar, en edificios mayores a tres pisos, que el refuerzo necesario debe cumplir que $M_n \geq 1.2 M_{cr}$ por lo menos para los dos primeros pisos de la parte inferior.

$$M_{cr} = S * (2\sqrt{f_c} + \frac{P}{A})$$

El diseño por flexo compresión se realizará para el muro mostrado en la figura.

Iniciamos con una tabla donde se muestra las fuerzas internas correspondientes al muro de diseño obtenidas del análisis realizado con el programa ETABS.

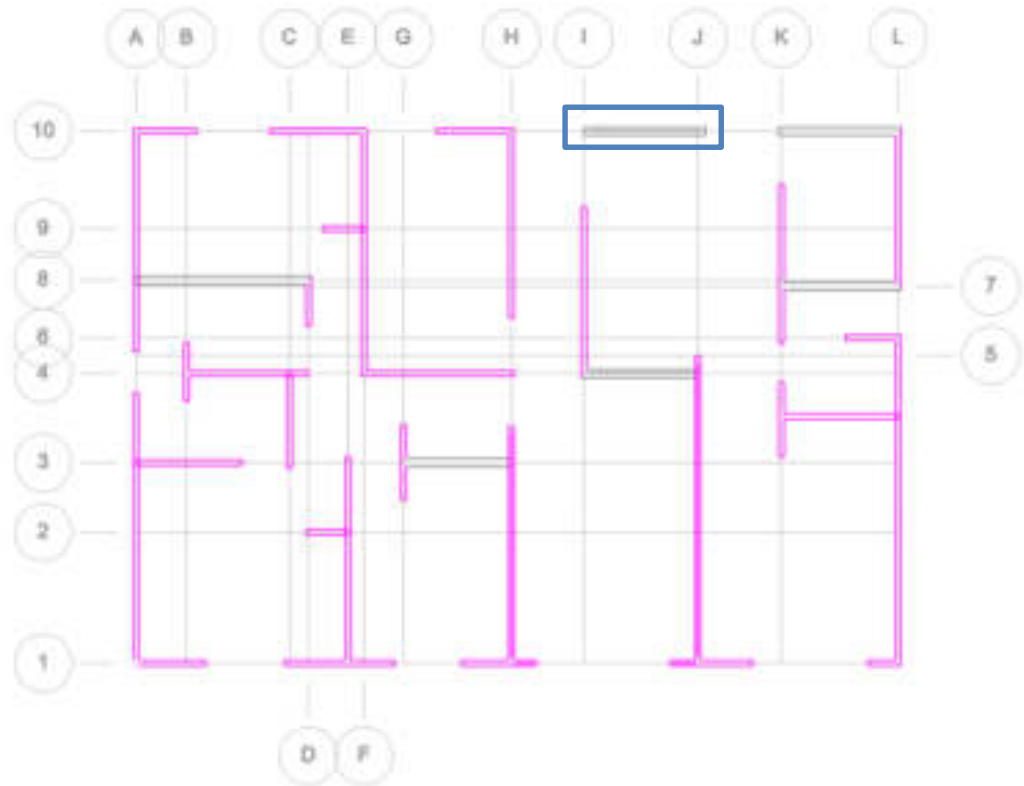


Figura 41: Muro de Diseño

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 48: Fuerzas Internas del Muro de Diseño

CARGA	Vx (Ton)	Vy (Ton)	Mx (Ton*m)	My (Ton*m)
CM	0.23	0.04	-0.07	-1.58
CV	0.13	0.02	-0.04	-0.56
SISD X	10.44	0.03	0.11	67.40
SISD Y	5.55	0.06	0.16	27.56

Fuente: Programa ETABS

En la siguiente tabla se muestra las combinaciones de carga debido a las fuerzas internas en ambas direcciones.

Tabla 49: Combinaciones de Carga

COMBINACIONES	Vu x-x (Ton)	Vu y-y (Ton)	Mx (Ton*m)	My (Ton*m)
1.4CM+1.7CV	0.55	0.10	-0.17	-3.16
1.25(CM+CV)+SX	10.90	0.11	-0.03	64.72
1.25(CM+CV)-SX	-9.98	0.04	-0.25	-70.07
0.9CM+SX	10.65	0.07	0.04	65.98
0.9CM-SX	-10.23	0.00	-0.17	-68.82
1.25(CM+CV)+SY	6.01	0.14	0.02	24.88
1.25(CM+CV)-SY	-5.09	0.02	-0.30	-30.23
0.9CM+SY	5.76	0.10	0.10	26.14
0.9CM-SY	-5.34	-0.02	-0.23	-28.98

Fuente: Elaboración Propia

Se realiza el diseño por Flexocompresión de acuerdo a los parámetros ya desarrollados.

$$hm = 15.30 \text{ m (altura del muro)}$$

$$lm = 2.55 \text{ m (longitud de muro)}$$

$$e = 0.15 \text{ m (espesor de muro)}$$

$$\frac{hm}{lm} = 6.0 > 2.50 \rightarrow \alpha = 0.53$$

$$\phi Vc = \phi * Acw * \alpha * \sqrt{fc}$$

$$\phi Vc = 0.85 * (0.8 * 2.55 * 0.15) * 0.53 * \sqrt{198}$$

$$\phi Vc = 19.40 \text{ ton}$$

A continuación, realizaremos el cálculo de la cuantía necesaria del refuerzo:

$$\frac{\phi Vc}{2} = 9.70 \text{ ton}$$

$$Vu = 10.90 \text{ ton (tabla)}$$

$$\text{Como } \frac{\phi Vc}{2} < Vu \rightarrow \rho_{vertical} = 0.0025$$

Calculo del acero necesario:

$$As = 0.0025 * 15 * 100$$

$$As = 3.75 \text{ cm}^2$$

Para el caso de un muro de 15 cm el acero se colocará en dos hileras, haciendo uso de refuerzo de $\phi = 8 \text{ mm}$, tenemos que:

$$\text{No de aceros} = \frac{\left(\frac{3.75}{2}\right)}{0.5} = 3.75$$

Entonces para un metro de ancho de muro tendremos el refuerzo distribuido de la siguiente manera:

$$\phi = 8 \text{ mm @ } 0.25 \text{ m}$$

Haciendo uso del programa Etabs y CSI Col se construyen los diagramas de interacción y las combinaciones de carga para el muro propuesto.

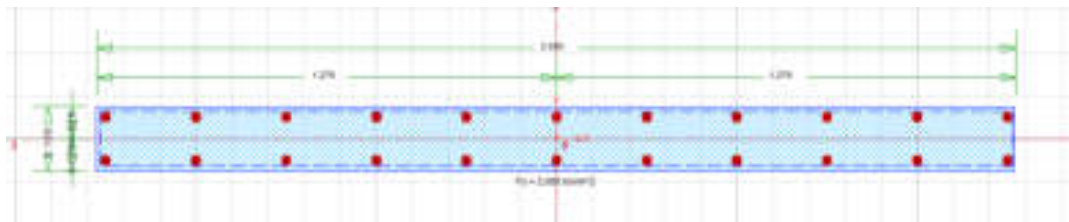


Figura 42: Sección Transversal del Muro de Diseño

Fuente: Programa CSI Col 9

Tabla 50: Tabla de Combinación para Fuerza Axial y Momentos en la dirección X e Y

COMBINACIONES	Pu (Ton)	Mx (Ton*m)	My (Ton*m)
1.4CM+1.7CV	38.16	-0.17	-3.16
1.25(CM+CV)+SX	31.85	-0.03	64.72
1.25(CM+CV)-SX	33.54	-0.25	-70.07
0.9CM+SX	18.05	0.04	65.98
0.9CM-SX	19.75	-0.17	-68.82
1.25(CM+CV)+SY	31.10	0.02	24.88
1.25(CM+CV)-SY	34.29	-0.30	-30.23
0.9CM+SY	17.30	0.10	26.14
0.9CM-SY	20.50	-0.23	-28.98

Fuente: Elaboración Propia

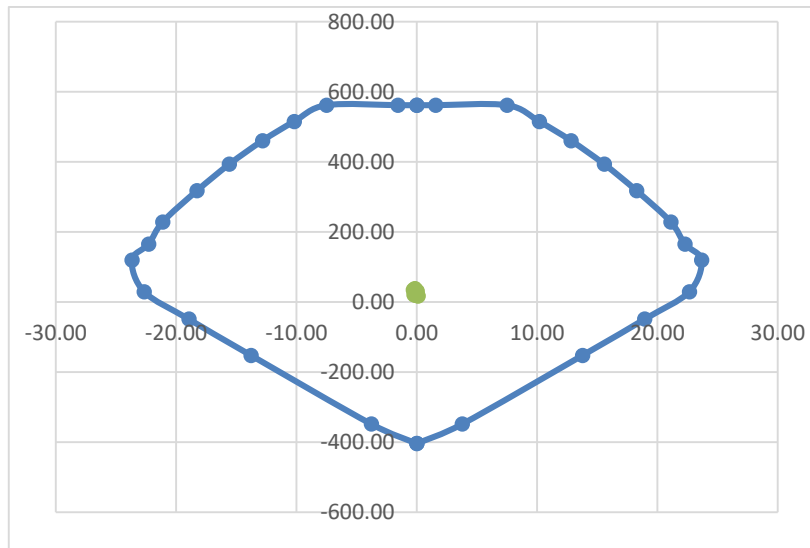


Figura 43: Diagrama de interacción en la dirección X

Fuente: Programa CSI Col 9

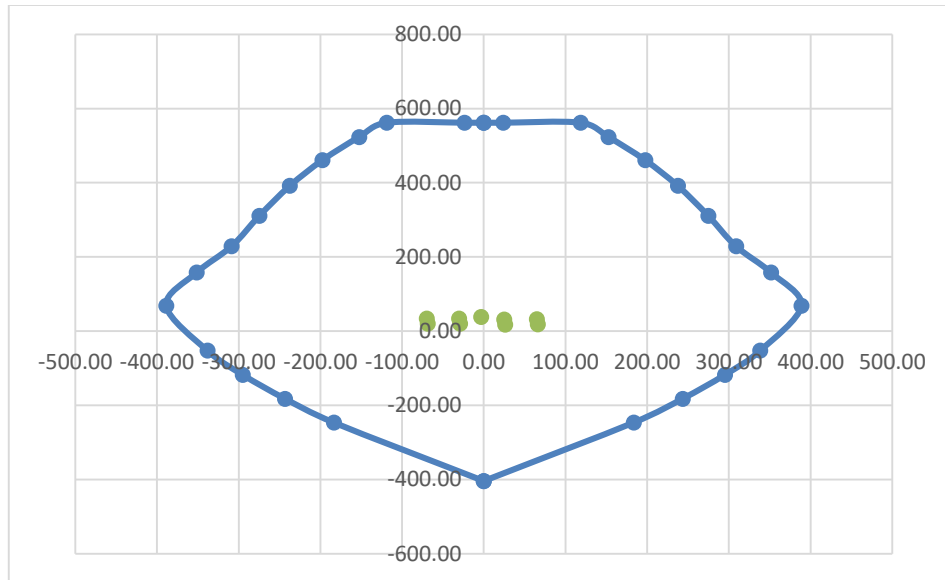


Figura 44: Diagrama de interacción en la dirección Y

Fuente: Programa CSI Col 9

Se verifica que todos los puntos de las combinaciones se ubican dentro de los diagramas de interacción para ambas direcciones con lo cual concluimos que la distribución de acero propuesta es la correcta.

Se hará la verificación del momento de agrietamiento ($\phi M_n \geq 1.2 M_{cr}$) para ambas direcciones del muro.

Dirección X:

$$A = 0.3825 \text{ m}^2$$

$$I_x = 0.000717188$$

$$X_{cg} = 0.075 \text{ m}$$

$$M_{cr} = S * \left(2 * \sqrt{f_c} + \frac{P}{A} \right)$$

$$M_{cr} = \frac{0.000717188 * 10^8}{7.5} * \left(2 * \sqrt{198} + \frac{38160}{3825} \right)$$

$$M_{cr} = 3.64 \text{ ton.m}$$

$$1.2Mcr = 4.37 \text{ ton.m}$$

Del diagrama de interacción:

$$Pu = 38.16 \text{ ton} \rightarrow \varphi Mn = 20.0 \text{ ton.m}$$

Se cumple que:

$$\varphi Mn = 20.0 \text{ ton.m} > 1.2Mcr = 4.37 \text{ ton.m}$$

Dirección Y:

$$A = 0.3825 \text{ m}^2$$

$$Ix = 0.207267$$

$$Ycg = 1.275 \text{ m}$$

$$Mcr = S * (2 * \sqrt{fc} + \frac{P}{A})$$

$$Mcr = \frac{0.207267 * 10^8}{127.5} * (2 * \sqrt{198} + \frac{38160}{3825})$$

$$Mcr = 61.98 \text{ ton.m}$$

$$1.2Mcr = 74.36 \text{ ton.m}$$

Del diagrama de interacción:

$$Pu = 38.16 \text{ ton} \rightarrow \varphi Mn = 390.0 \text{ ton.m}$$

Se cumple que:

$$\varphi Mn = 390.0 \text{ ton.m} > 1.2Mcr = 74.36 \text{ ton.m}$$

5.4.2.2 Diseño por cortante

La norma E-060 señala que la fuerza cortante ultima de diseño debe ajustarse a la capacidad en flexión instalada en el muro.

$$V_u \geq V_{ua} \left(\frac{M_n}{M_{ua}} \right); \frac{M_n}{M_{ua}} \leq R$$

Luego se procede a calcular el valor de:

$$\phi V_c = \phi * A_{cw} * \alpha * \sqrt{f_c} \text{ (kg/cm)}^2$$

Donde:

Φ : Factor de reducción por corte, 0.85.

A_{cw} : Área de corte de la sección analizada, $0.8 * L$.

α : Coeficiente que relaciona la altura del muro (hm) con su longitud (lm).

$$\text{Si } \frac{hm}{lm} \leq 1.5 \rightarrow \alpha = 0.80$$

$$\text{Si } \frac{hm}{lm} \geq 2.5 \rightarrow \alpha = 0.53$$

También si $V_u > \phi V_c$ se tiene que obtener el valor de $V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi}$ para después conseguir la cuantía horizontal $\rho h = \frac{V_s}{A_{cw} * f_y}$

Con los valores conseguidos V_s y V_c se tiene $V_n = V_c + V_s$, y se procede a realizar la comprobación:

$$V_n < 2.7 * A_{cw} * \sqrt{f_c} \text{ (kg/cm)}^2$$

Finalmente se debe verificar que cumpla la cortante por fricción para dar seguridad que la base del muro resista de una forma eficaz, para esto se aplica la siguiente ecuación.

$$\phi V_n = \phi * \mu * (N_u + A_v * f_y)$$

Donde

Φ : Factor de reducción de resistencia a la cortante, 0.85.

μ : Modulo de fricción del concreto endurecido, 0.60.

N_u : Fuerza nominal ultima en función de la carga muerta, $0.9 * N_m$.

Av: Area de refuerzo vertical, $\rho_v * t * 100$

Nm: Fuerza normal debido a la carga.

ρ_v : Cuantía vertical de acero.

t: Espesor de muro.

A continuación, desarrollaremos el diseño por cortante de nuestro muro elegido.

En dirección x:

$$V_u = V_{ua} \left(\frac{M_n}{M_{ua}} \right)$$

$$V_{ua} = 10.90 \text{ ton}$$

$$M_{ua} = 0.30 \text{ ton.m}$$

$$M_n = 23.5 \text{ ton.m}$$

$$\frac{M_n}{M_{ua}} = 78.3 > R = 3, \text{ por lo que se tomara el valor de } 3$$

$$V_u = 10.90 * 3 = 32.70 \text{ ton}$$

$$\phi V_c = 0.85 * 2.7 * 0.8(255 * 15) * \sqrt{198}$$

$$\phi V_c = 19.39 \text{ ton}$$

$$V_s = \frac{32.70 - 19.39}{0.85} = 15.66 \text{ ton}$$

$$\rho = \frac{15.66 * 1000}{0.8 * 255 * 15 * 4200} = 0.0012 < \rho_{hmin} = 0.0025$$

Como podemos trabajar con la cuantía mínima tenemos que el acero horizontal se distribuirá en una malla doble usando ϕ 8mm @ 0.25 m.

Finalmente se hace la verificación de diseño por fricción.

$$N_u = 0.9 * N_m = 0.9 * 21.0 = 18.9 \text{ ton}$$

$$A_v = \rho_v * t * 100 = 0.0025 * 15 * 100 = 3.75$$

$$\phi V_n = 0.85 * 0.60 * (18.9 + 3.75 * 4200)$$

$$\phi V_n = 17.67$$

Se comprueba que $V_u = 10.90 \text{ ton} < \phi V_n = 17.67 \text{ ton}$, con lo que el análisis del diseño cumple con los requisitos necesarios para su uso.

CONCLUSIONES

1. Se logró realizar un diseño de mezclas de un concreto celular para su uso en Edificaciones con Sistema de Muros de Ductilidad Limitada, mediante la aplicación de diferentes estudios e investigaciones.
2. El diseño de mezclas propuesto para un metro cubico de concreto celular, está compuesto de 25.6% de cemento, 11.6% de agua y 62.8% de arena. Los aditivos no se consideran dentro de estos valores, utilizándose la dosificación recomendada del producto.
3. El concreto celular obtenido dio como resultado un peso unitario igual a 1891.88 kg/m³. Clasifica como un Concreto Celular Arenado cuya máxima densidad es igual a 1900 kg/m³ de acuerdo a la clasificación existente.
4. La Resistencia a la Compresión del Concreto Celular obtenido es 19.42 Mpa, con lo cual concluimos que el diseño de mezcla utilizado es el apropiado para la obtención de un concreto celular usado con fines estructurales en edificios con muros de ductilidad limitada.
5. El desarrollo de la curva de resistencia refleja que, para el concreto celular diseñado, no se presentan inconvenientes.
6. El Módulo de Elasticidad del Concreto Celular obtenido es de 16834.7 Mpa, un 9% mayor que el valor obtenido según la formula dada por el ACI 318-08 para concretos ligeros.
7. El Módulo de Elasticidad del Concreto Celular obtenido es de 16834.7 Mpa, es claramente inferior a la de un concreto convencional, que es 21326 MPa, con lo cual concluimos que nuestro concreto presentara mayores deformaciones ante la acción de cargas.
8. El Coeficiente de Poisson del Concreto Celular obtenido es de 0.2631, siendo superior al Módulo de Poisson de un concreto convencional que se encuentra en el rango de 0.15 y 0.20. Ante la aplicación de una carga axial, nuestro concreto presentara mayores deformaciones transversales.
9. El Coeficiente de Expansión Térmica del Concreto Celular obtenido es de un valor promedio de 9.23 $\mu/^{\circ}\text{C}$, encontrándose dentro del rango dado para un concreto ligero, en el cual el Coeficiente de Expansión Térmica varía desde los 8 $\mu/^{\circ}\text{C}$ hasta los 12 $\mu/^{\circ}\text{C}$.
10. La Resistencia a la Flexión promedio obtenida es de 3.088 MPa que como porcentaje representa el 15.90% de la Resistencia a la Compresión del concreto, se concluye que

nuestro diseño de mezclas es correcto, siendo la resistencia a la flexión un valor que oscila entre el 15 y 20% de la resistencia a la compresión.

11. Del análisis realizado se obtuvo que la deriva máxima en la dirección X-X es 0.0026 y en la dirección Y-Y es 0.0027 siendo ambas menores a 0.0050 que es el valor máximo permitido por la norma peruana sismo resistente E-30, con lo cual concluimos que el pre dimensionamiento de losas y muros, así como el uso de concreto celular en estos elementos, es adecuado para su aplicación en un edificio con muros de ductilidad limitada.
12. Del análisis dinámico realizado, y para cumplir el requerimiento de la norma sismo resistente E-030, la cual indica que la fuerza cortante dinámica será como mínimo el 90% de la cortante estática calculada, obtenemos los factores de escala para las fuerzas sísmicas en las direcciones X e Y, que son 1.28 y 1.53 respectivamente.
13. Del diseño realizado para losa y muro del edificio analizado concluimos que tanto las sollicitaciones de flexocompresión y cortante pueden ser cubiertas haciendo uso de la cuantía mínima de acero requerido.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el uso de concreto celular para edificaciones con un sistema de muros de ductilidad limitada, debido a que al ser más ligero produce menores cargas de gravedad en comparación al concreto convencional.
2. Realizar los ensayos en ambiente con temperatura y ventilación controlada, con instalaciones y equipos adecuados, para evitar variaciones en los resultados y asegurarnos que estos sean confiables.
3. Se requiere un estricto control de calidad para la fabricación de concreto celular, cualquier variación en la dosificación o tiempos de mezclado de los materiales puede resultar en un concreto diferente al que fue previsto según el diseño de mezcla.
4. Durante el ensayo de obtención del Coeficiente de Expansión Térmica es imprescindible estar atento a las lecturas debido al cambio rápido de los datos obtenidos. Así mismo planificar bien el tiempo del ensayo, debido a su larga duración.
5. Se recomienda investigar otras propiedades del concreto celular con otras dosificaciones de aditivo espumante y/o tiempo de mezclado.
6. Se recomienda realizar investigaciones del concreto celular con añadido de micro y nano sílice para estudiar la influencia de estos materiales en las propiedades mecánicas del concreto como son la Resistencia a la Compresión, el Modulo de Elasticidad y el Coeficiente de Poisson del concreto.
7. La presente investigación se limita a realizar un análisis sísmico estático y dinámico para verificar que nuestro edificio cumpla con los requerimientos de la norma peruana sismo resistente E-030 2018, se recomienda realizar un estudio comparativo de un edificio con el uso concreto celular respecto a un edificio con el uso de concreto convencional, para conocer las variaciones de cantidades de acero y cómo puede afectar en el costo final de la edificación.

BIBLIOGRAFIA

- Egoabil Apolinarez, X. L. (2019). *Análisis y diseño estructural de un edificio de viviendas multifamiliares de 6 pisos con muros de ductilidad limitada*. Huancayo, Perú: Universidad Continental.
- Barragan Pumacajia, E. (2019). *Análisis y Diseño Sismorresistente de un Edificio de Muros de Ductilidad Limitada de Siete niveles en el distrito de Miraflores, Arequipa - Peru*. Arequipa, Perú: Universidad Nacional de San Agustín.
- YURA. (2019). *Cemento multi-propósito Yura HE*. Retrieved from <https://www.yura.com.pe>
- Pacheco Tinoco, R. (2018). *“Propiedades físico-mecánicas del concreto celular con poliestireno expandido y su aplicación en la industria de la construcción”*. Lima: Universidad César Vallejo.
- Sullca Vilca, L. A., & Condori Mayta, C. C. (2018). *Estudio comparativo de costos, programación, diseño sismorresistente, entre el sistema dual y muros de ductilidad limitada de un Edificio Multifamiliar de 7 pisos ubicado en Cerro Colorado - Arequipa*. Arequipa, Perú: Universidad Nacional de San Agustín.
- Ytong España/ Grupo Xella. (2018). *Hormigón celular YTONG, material de construcción*. Retrieved from Ytong España/ Grupo Xella: https://www.ytong.es/proceso_productivo.php
- Cotrado Flores, D. M. (2017). *Elaboración de Curvas de Fragilidad de Muros de Ductilidad Limitada de 10 cm de espesor, basados en ensayos experimentales, periodo 2011-2015*. Tacna, Perú: Universidad Privada de Tacna.
- Lazo Arraya, J. (2017). *“Diseño de concreto celular para diferentes densidades, análisis de sus propiedades y sus aplicaciones”*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín.
- NRMCA. (2016). *Concrete in Practice*. National Ready Mixed Concrete Association.
- Cifuentes, M., Estuardo, D., Mijangos, E., Armando, E., & Vladimir, J. (2015). *Fundamentos, especificaciones, usos y futuro del concreto celular en Guatemala*. Quetzaltenango: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Gongora Rojas, H. P., & Huaman Mas, F. (2015). *Análisis y diseño estructural comparativo de una vivienda multifamiliar de Muros de Ductilidad Limitada de Concreto Celular y Concreto Estructural en Chachapoyas - 2015*. Chachapoyas, Perú: Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.
- Gongora Rojas, H. P., & Huaman Mas, F. (2015). *Análisis y diseño estructural comparativo de una vivienda multifamiliar de Muros de Ductilidad Limitada de Concreto Celular y*

- Concreto Estructural en Chachapoyas - 2015*. Chachapoyas, peru: Universidad Nacional Toribio Rodriguez de Mendoza de Amazonas.
- Zamora Terrones, L. (2015). "*Diseño de un bloque de concreto celular y su aplicación como unidad de albañilería no estructural*". Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Urquiza Surco, M. (2014). *Estudio Comparativo y Diseño Estructural entre el Sistema Dual y de Muros de Ductilidad Limitada de un edificio multifamiliar de 8 pisos en la ciudad de Arequipa*. Arequipa, Perú: Universidad Católica de Santa María.
- Solís, C., & Zamora, C. (2013). "*Diseño de un bloque de concreto celular con la utilización de materiales locales alternativos*". Ecuador: Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.
- Blanco Blasco, A. (2011). *Estructuración y Diseño de Edificaciones de Concreto Armado*. Lima-Peru.
- Martínez Duguet, A. (2009). "*Análisis comparativo de costos entre albañilería de bloques macizos de hormigón celular y de bloques huecos de hormigón de cemento, utilizado como material alternativo en la construcción de muros y antepechos en obra ampliación Mall Plaza de los Ríos*". Valdivia: Universidad Austral de Chile.
- Silva Núñez, S. R. (2009). "*Albañilería de bloques de Hormigón Celular Autoclavado (HCA): Estabilidad Dimensional y Control de Fisuración*". Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Cervantes Abarca, A. (2008). Nuevas tecnologías en concretos. Concreto celular- Concreto reforzado con fibra-Concreto ligero estructural. *Memorias 2008. CONGRESO NACIONAL DE ADMINISTRACIÓN Y TECNOLOGÍA PARA LA ARQUITECTURA, INGENIERÍA Y DISEÑO* (pp. 141-162). México: Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco.
- Al-Ostaz, A. (2007). *EFFECT OF MOISTURE CONTENT ON THE COEFFICIENT OF THERMAL EXPANSION OF CONCRETE*. Mississippi: University of Mississippi.
- Delgado Ehni, R. J., & Rodríguez Larraín, C. P. (2006). *Edificios Peruanos con Muros de Concreto de Ductilidad Limitada*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Jones, & McCarthy. (2005). Preliminary views on the potential of foamed concrete as a structural material. *Magazine of Concrete Research*, 11.
- H. Kosmatka, S., Kerkhoff, B., C. Panarese, W., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Portland Cement Association.
- Sánchez de Guzman, D. (2004). Nuevas tendencias en la especificación y diseño de mezclas de concreto. *Memorias técnicas: X Reunión del concreto. Cartagena (Colombia)* .
- EMB Construcción. (2003). "Las propiedades acústicas del hormigón". *EMB Construcción*. Retrieved from

<http://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=2152&edi=102&xit=las-propiedades-acusticas-del-hormigon>

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. (1999). Curado del concreto fresco.

Revista Construcción y Tecnología. Retrieved from

<http://www.imcyc.com/revista/1999/mayo/curado1.htm>

P. Lawrence, E. R. (1999). Materials and Structures/Matériaux et Constructions. In L. L.

(LMDC), *Materials and Structures/Matériaux et Constructions* (pp. 618-621). Ranguel, Francia.

Pasquel Carbajal, E. (1999). *Tópicos de Tecnología de Concreto del Perú*. Lima - Peru: Colegio de Ingenieros del Peru.

National Research Council. (1961). *Structural Foams*. Washington: The National Academies Press.

Valore, R. C. (1954, Marzo). CELLULAR CONCRETES. *Journal of the American Concrete Institute*, 50, 773-796.

Velarde Huapaya, R. L. (1984). *Estudio sobre concretos celulares*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

ANEXOS

A. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

- **A.1 GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO**
- **A.2 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO**
- **A.3 CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO**
- **A.4 ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO**
- **A.5 PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO FINO**
- **A.6 PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO**
- **A.7 CONTENIDO DE VACIOS DEL AGREGADO FINO**

A.1 GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO

Tabla A.1: Granulometría del Agregado Fino - Muestra A-1

TAMIZ SERIE AMERICANA		PESO INICIAL = 1000 gr		
ABERTURA		PESO RET	RETENIDO	PASANTE
pulg	mm	gr	%	%
				100,00
1/4"	6,35	0,00	0,00	100,00
N° 4	4,76	53,06	5,31	94,69
N° 8	2,38	104,80	10,48	84,21
N° 10	2,00	93,45	9,35	74,87
N°16	1,19	112,53	11,25	63,62
N° 30	0,59	180,81	18,08	45,53
N° 40	0,43	114,89	11,49	34,05
N° 50	0,30	100,42	10,04	24,00
N° 80	0,18	98,07	9,81	14,20
N° 100	0,15	47,31	4,73	9,47
N° 200	0,07	85,71	8,57	0,89
FONDO		8,94	0,89	0,00
TOTAL		1000,00	100,00	-

Fuente: Elaboración Propia

Módulo de Fineza: 2.78

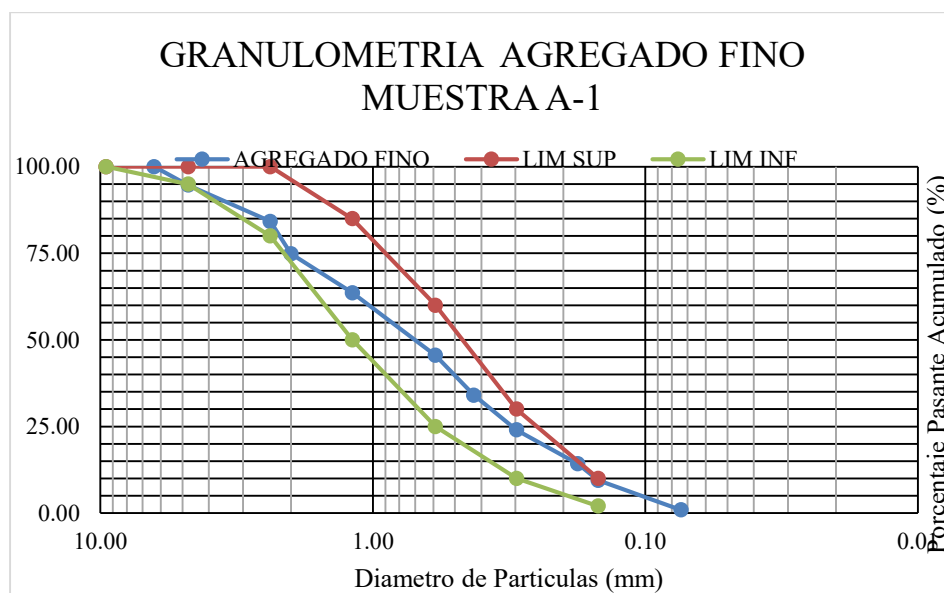


Figura A.1: Curva Granulométrica del Agregado Fino - Muestra A-1

Fuente: Elaboración Propia

Tabla A.2: Granulometría del Agregado Fino - Muestra A-1

TAMIZ SERIE AMERICANA		PESO INICIAL = 1000 gr		
ABERTURA		PESO RET	RETENIDO	PASANTE
pulg	mm	gr	%	%
				100,00
1/4"	6,35	0,00	0,00	100,00
N° 4	4,76	35,46	3,55	96,45
N° 8	2,38	95,48	9,55	86,91
N° 10	2,00	90,65	9,07	77,84
N° 16	1,19	110,26	11,03	66,81
N° 30	0,59	190,56	19,06	47,76
N° 40	0,43	126,78	12,68	35,08
N° 50	0,30	110,32	11,03	24,05
N° 80	0,18	95,81	9,58	14,47
N° 100	0,15	50,23	5,02	9,44
N° 200	0,07	80,23	8,02	1,42
FONDO		14,22	1,42	0,00
TOTAL		1000,00	100,00	-

Fuente: Elaboración Propia

Módulo de Fineza: 2.68

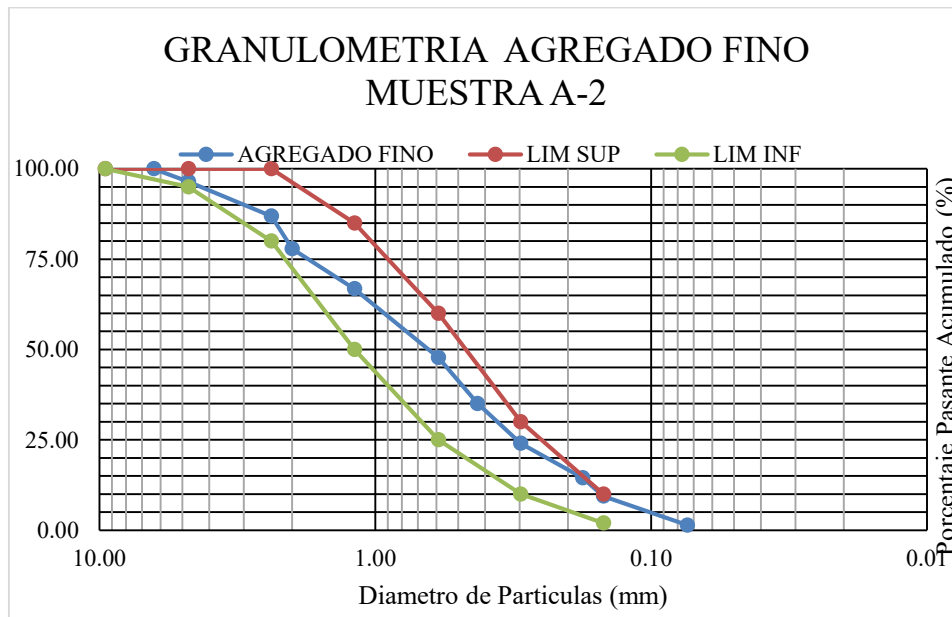


Figura A.2: Curva Granulométrica del Agregado Fino - Muestra A-2

Fuente: Elaboración Propia

Tabla A.3: Granulometría del Agregado Fino – Muestra A-1

TAMIZ SERIE AMERICANA		PESO INICIAL = 1000 gr		
ABERTURA		PESO RET	RETENIDO	PASANTE
pulg	mm	gr	%	%
				100,00
1/4"	6,35	0,00	0,00	100,00
N° 4	4,76	40,23	4,02	95,98
N° 8	2,38	101,23	10,12	85,85
N° 10	2,00	91,56	9,16	76,70
N°16	1,19	116,45	11,65	65,05
N° 30	0,59	185,46	18,55	46,51
N° 40	0,43	109,97	11,00	35,51
N° 50	0,30	98,69	9,87	25,64
N° 80	0,18	105,48	10,55	15,09
N° 100	0,15	55,23	5,52	9,57
N° 200	0,07	87,65	8,77	0,80
FONDO		8,05	0,81	0,00
TOTAL		1000,00	100,00	-

Fuente: Elaboración Propia

Módulo de Fineza: 2.71

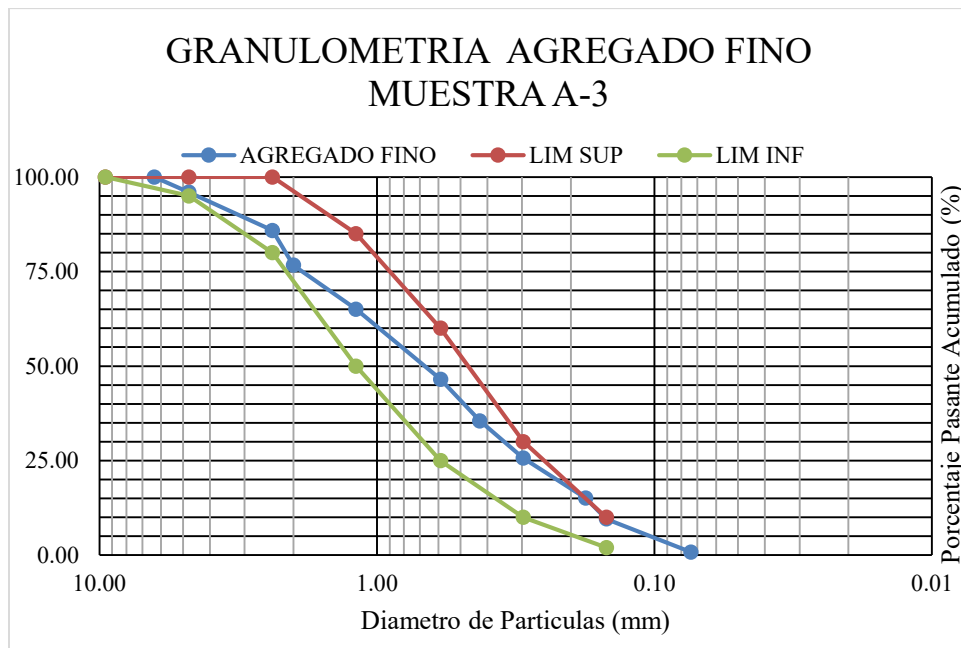


Figura A.3: Curva Granulométrica del Agregado Fino - Muestra A-3

Fuente: Elaboración Propia

A.2 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO

Tabla A.4: Ensayo del Peso Específico del Agregado Fino

MUESTRA	M-1	M-2	M-3	UNIDADES
Fa	1358,15	1322,15	1346,74	g
Fam	1659,10	1619,06	1628,57	g
Msss	500,00	500,00	500,00	g
Ms	485,32	485,23	485,29	g
Pesss	2511,93	2461,96	2291,79	kg/m3
Peseco	2438,18	2389,24	2224,37	kg/m3

Fuente: Elaboración Propia

A.3 CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO

Tabla A.5: Ensayo del Contenido de Humedad del Agregado Fino

MUESTRA	M-1	M-2	M-3	UNIDADES
wh	500,01	499,99	500,01	g
ws	495,81	495,96	495,68	g
w	0,85	0,81	0,87	%

Fuente: Elaboración Propia

A.4 ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

Tabla A.6: Ensayo de Absorción del Agregado Fino

MUESTRA	M-1	M-2	M-3	UNIDADES
Msss	500,00	500,00	500,00	g
Ms	485,32	485,23	485,29	g
Absorción	3,02	3,04	3,03	%

Fuente: Elaboración Propia

A.5 PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO FINO

Tabla A.7: Ensayo de Peso Unitario Suelto del Agregado Fino

MUESTRA	M-1	M-2	M-3	UNIDADES
Wmo	8,681	8,681	8,681	kg
D	15,15	15,13	15,16	cm
H	17,65	17,65	17,65	cm
VOL	0,003182	0,003173	0,003186	m ³
Wmo+mu	13,475	13,406	13,560	kg
P.U.S.	1506,74	1488,98	1531,43	kg/m ³

Fuente: Elaboración Propia

A.6 PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO

Tabla A.8: Ensayo de Peso Unitario Compactado del Agregado Fino

MUESTRA	M-1	M-2	M-3	UNIDADES
Wmo	8,681	8,681	8,681	kg
D	15,15	15,13	15,16	cm
H	17,65	17,65	17,65	cm
VOL	0,003182	0,003173	0,003186	m ³
Wmo+mu	13,750	13,844	13,887	kg
P.U.C.	1593,17	1627,01	1634,07	kg/m ³

Fuente: Elaboración Propia

A.7 CONTENIDO DE VACIOS DEL AGREGADO FINO

Tabla A.9: Ensayo de Contenido de Vacíos

MUESTRA	M-1	M-2	M-3	UNIDADES
Pe	2511,932	2461,963	2291,791	kg
P.U.S.	1506,74	1488,98	1531,43	kg/m ³
%Vacíos	0,40	0,40	0,33	%

Fuente: Elaboración Propia

B. PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

- **B.1 PESO UNITARIO DEL CONCRETO**
- **B.2 ASENTAMIENTO DEL CONCRETO**

B.1 PESO UNITARIO DEL CONCRETO

Tabla B.1: Peso Unitario del Concreto

DIAMETRO	(cm)	d1 =	23.50
		d2 =	23.30
DIAMETRO PROMEDIO	(cm)	Dprom =	23.40
ALTURA	(cm)	h1 =	21.80
		h2 =	21.80
ALTURA PROMEDIO	(cm)	Hprom =	21.80
VOLUMEN	(m3)	V =	0.00937515
PESO DE RECIPIENTE	(kg)	PR =	8.14
PESO DE RECIPIENTE Y CONCRETO	(kg)	PR+M1 =	25.90
		PR+M2 =	25.86
		PR+M3 =	25.87
PESO UNITARIO	(kg/m3)	PU =	1891.88

Fuente: Elaboración Propia

B.2 ASENTAMIENTO DEL CONCRETO

Tabla B.2: Control de Asentamiento

1° MEDICION	2° MEDICION	PROMEDIO
Pulgadas	Pulgadas	Pulgadas
7 1/2	7	7 1/4

Fuente: Elaboración Propia

C. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

- **C.1 RESULTADOS Y PROCESAMIENTO DE DATOS DEL ENSAYO A COMPRESION**

C.1 RESULTADOS Y PROCESAMIENTO DEL DATOS DE ENSAYO A COMPRESION

PROBETAS DE CONCRETO $f'c=175$ kg/cm

Tabla C.1: Resultados de Ensayo a la Compresión $f'c=175$ kg/cm² a los 7 días

CODIGO DE PROBETA	D1	D2	D3	D4	AREA SUP.	AREA INF.	AREA PROM.	CARGA	RESISTENCIA	
	cm	cm	cm	cm	cm ²	cm ²	cm ²		KN	Kg/cm ²
P-1	15.01	15.02	14.99	14.97	177.07	176.24	176.66	260.97	150.64	14.773
P-2	14.97	15.03	14.98	15.01	176.71	176.60	176.66	270.46	156.12	156.12
P-3	14.93	15.11	15.08	14.97	177.19	177.30	177.25	272.14	156.56	156.56
P-4	14.91	15.15	14.95	15.16	177.42	178.01	177.72	279.54	160.39	160.39
P-5	15.03	14.93	15.07	15.12	176.24	178.96	177.60	269.57	154.77	154.77

Fuente: Elaboración Propia

Tabla C.2: Resultados de Ensayo a la Compresión $f'c=175$ kg/cm² a los 14 días

CODIGO DE PROBETA	D1	D2	D3	D4	AREA SUP.	AREA INF.	AREA PROM.	CARGA	RESISTENCIA	
	cm	cm	cm	cm	cm ²	cm ²	cm ²		KN	Kg/cm ²
P-6	15.03	15.02	15.01	15.08	177.30	177.78	177.54	291.28	167.30	16.407
P-7	15.15	15.08	15.03	14.90	179.43	175.89	177.66	287.69	165.12	16.193
P-8	15.19	15.08	15.17	15.02	179.91	178.96	179.43	295.34	167.84	16.459
P-9	14.91	15.03	15.12	15.04	176.01	178.60	177.31	300.07	172.57	19.923
P-10	15.16	15.09	14.95	14.90	179.67	174.95	177.31	314.67	180.96	17.746

Fuente: Elaboración Propia

Tabla C.3: Resultados de Ensayo a la Compresión $f'c=175$ kg/cm² a los 28 días

CODIGO DE PROBETA	D1	D2	D3	D4	AREA SUP.	AREA INF.	AREA PROM.	CARGA	RESISTENCIA	
	cm	cm	cm	cm	cm ²	cm ²	cm ²		KN	Kg/cm ²
P-11	14.94	15.11	15.04	15.15	177.30	178.96	178.13	335.78	192.21	18.849
P-12	14.97	14.94	15.20	15.16	175.66	180.98	178.32	342.89	196.08	19.229
P-13	15.16	15.11	15.12	15.08	179.91	179.08	179.49	357.24	202.95	19.903
P-14	15.10	15.19	15.13	14.95	180.15	177.66	178.90	292.87	166.93	16.370
P-15	15.12	15.04	15.10	15.07	178.60	178.72	178.66	417.59	238.33	23.372
P-16	15.06	15.15	15.06	15.13	179.20	178.96	179.08	339.43	193.28	18.954
P-17	15.01	15.17	15.08	15.07	178.84	178.49	178.66	297.42	169.75	16.647
P-18	15.08	15.12	14.96	15.20	179.08	178.60	178.84	340.18	193.96	19.021
P-19	15.14	15.06	15.05	15.08	179.08	178.25	178.66	408.14	232.94	22.844
P-20	15.18	15.02	14.93	14.98	179.08	175.66	177.37	336.67	193.55	18.891

Fuente: Elaboración Propia

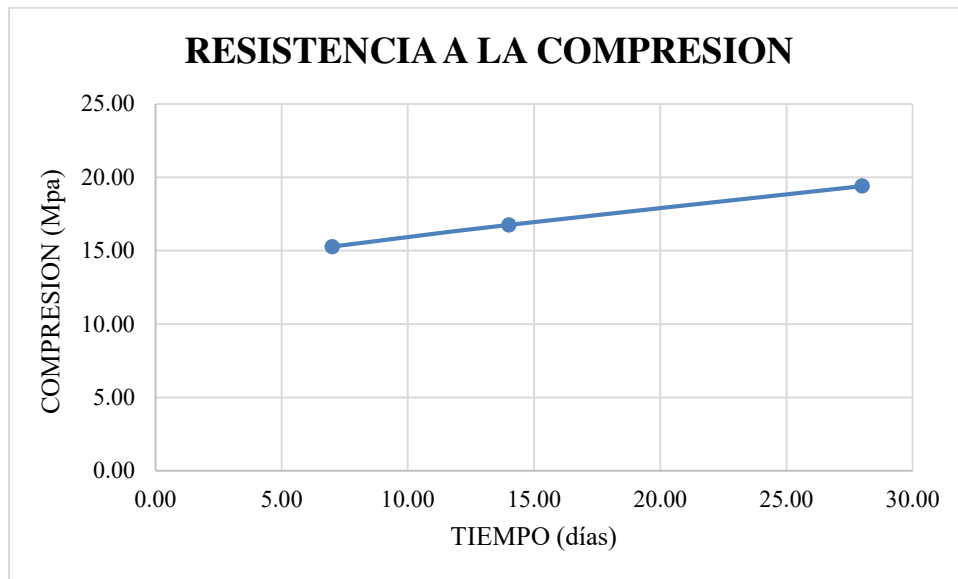


Figura C.1: Curva Esfuerzo – Edad de rotura Compresión $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$
Fuente: Elaboración Propia

D. MODULO DE ELASTICIDAD

- **D.1 RESULTADOS Y PROCESAMIENTO DE DATOS DEL ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD**

D.1 RESULTADOS Y PROCESAMIENTO DE DATOS DEL ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD

1) Ensayo Probeta 1

a) Toma de datos

Tabla D.1: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 1 y la lectura promedio

ENSAYO PROBETA 1					
CARGA C (KN)	LECTURA 1		LECTURA 2		LECTURA PROMEDIO Lp
	DIAL 1	DIAL 2	DIAL 1	DIAL 2	
	L1	L2	L3	L4	
20	4	3	4	5	4
40	13	15	11	15	13.5
60	23	24	25	24	24
80	31	35	32	36	33.5
100	42	45	43	48	44.5
120	55	60	55	60	57.5
140	66	69	65	70	67.5

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Tabla D.2: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 1

DIAMETRO SUPERIOR		DIAMETRO INFERIOR		DIAMETRO PROMEDIO Dp (cm)	AREA A (cm ²)	DISTANCIA ENTRE ANILLOS D (cm)	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
MEDIDA 1 D1 (cm)	MEDIDA 2 D2 (cm)	MEDIDA 1 D3 (cm)	MEDIDA 2 D4 (cm)				CARGA C (KN)	CARGA P (Kg)	f c (Kg/cm ²)
15.07	15.12	15.02	15.04	15.04	178.37	15.00	343.30	35006.30	196.26

Fuente: Elaboración Propia

Tabla D.3: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 1

ENSAYO PROBETA 1				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
20	2039.40	11.43	0.0040	2.6578E-05
40	4078.80	22.87	0.0135	8.9701E-05
60	6118.20	34.30	0.0240	1.5947E-04
80	8157.60	45.73	0.0335	2.2259E-04
100	10197.00	57.17	0.0445	2.9568E-04
120	12236.40	68.60	0.0575	3.8206E-04
140	14275.80	80.04	0.0675	4.4850E-04

Fuente: Elaboración Propia

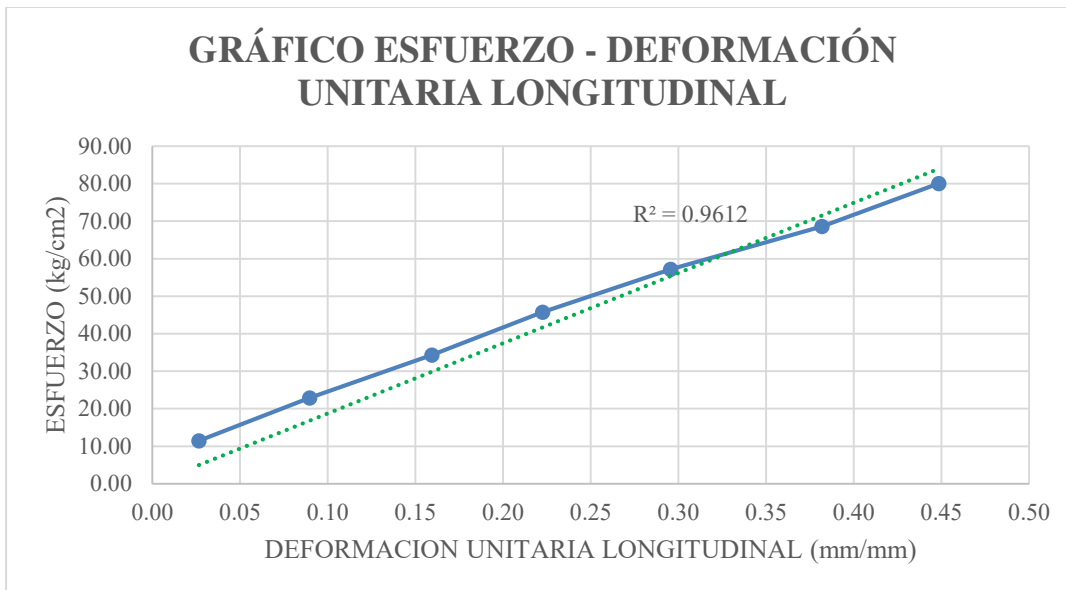


Figura D.1: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 1

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Deformación base	E1= 0.00005000 m/m
Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima	S2= 78.50 kg/cm2

Interpolación del Esfuerzo para una deformación de 0.00005 m/m

0.00002658 m/m	-	11.43 kg/cm2	
0.00005000 m/m	-	S1	
0.00008970 m/m	-	22.87 kg/cm2	S1=15.68 kg/cm2

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima.

68.60 kg/cm2	-	0.00038206 m/m	
78.50 kg/cm2	-	E2	
80.04 kg/cm2	-	0.00044850 m/m	E2=0.00043960 m/m

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$E = \frac{S2 - S1}{E2 - E1}$$

Módulo de Elasticidad E= 161260.92 kg/cm2

2) Ensayo Probeta 2

a) Toma de datos

Tabla D.4: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 2 y la lectura promedio

ENSAYO PROBETA 2					
CARGA C (KN)	LECTURA 1		LECTURA 2		LECTURA PROMEDIO Lp
	DIAL 1 L1	DIAL 2 L2	DIAL 1 L3	DIAL 2 L4	
20	7	3	5	5	5
40	16	12	13	15	14
60	23	22	24	21	22.5
80	33	29	30	32	31
100	42	41	43	40	41.5
120	53	50	52	51	51.5
140	63	64	62	65	63.5

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Tabla D.5: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 2

DIAMETRO SUPERIOR		DIAMETRO INFERIOR		DIAMETRO PROMEDIO	AREA A (cm ²)	DISTANCIA ENTRE ANILLOS D (cm)	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
MEDIDA 1 D1 (cm)	MEDIDA 2 D2 (cm)	MEDIDA 1 D1 (cm)	MEDIDA 2 D2 (cm)	Dp (cm)			CARGA C (KN)	CARGA P (Kg)	f _c (Kg/cm ²)
14.88	15.15	15.11	15.07	15.05	177.95	15.00	340.95	34766.67	195.37

Fuente: Elaboración Propia

Tabla D.6: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 2

ENSAYO PROBETA 2				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
20	2039.40	11.43	0.0050	3.3333E-05
40	4078.80	22.87	0.0140	9.3333E-05
60	6118.20	34.30	0.0225	1.5000E-04
80	8157.60	45.73	0.0310	2.0667E-04
100	10197.00	57.17	0.0415	2.7667E-04
120	12236.40	68.60	0.0515	3.4333E-04
140	14275.80	80.04	0.0635	4.2333E-04

Fuente: Elaboración Propia

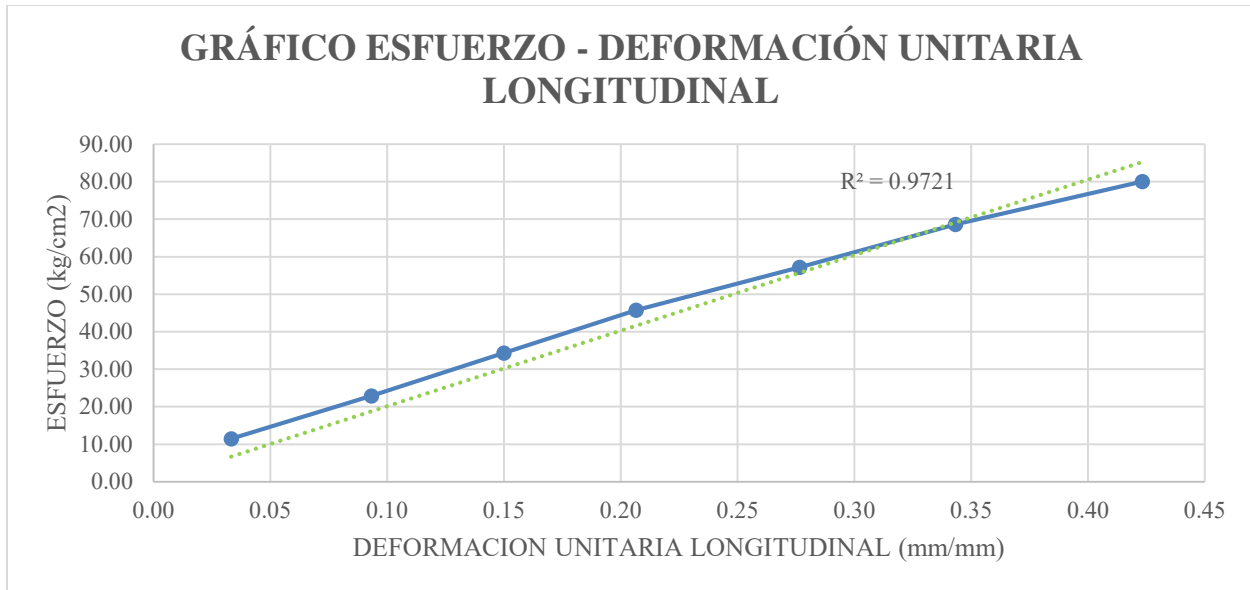


Figura D.2: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 2

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Deformación base	E1= 0.00005000 m/m
Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima	S2= 78.15 kg/cm2

Interpolación del Esfuerzo para una deformación de 0.00005 m/m

0.00003333 m/m	-	11.43 kg/cm2	
0.00005000 m/m	-	S1	
0.00009333 m/m	-	22.87 kg/cm2	S1=14.61 kg/cm2

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima.

68.60 kg/cm2	-	0.00034333 m/m	
78.15 kg/cm2	-	E2	
80.04 kg/cm2	-	0.00042333 m/m	E2=0.00041012 m/m

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$E = \frac{S2 - S1}{E2 - E1}$$

Módulo de Elasticidad E= 176434.27 kg/cm2

3) Ensayo Probeta 3

a) Toma de datos

Tabla D.7: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 3 y la lectura promedio

ENSAYO PROBETA 3					
CARGA C (KN)	LECTURA 1		LECTURA 2		LECTURA PROMEDIO Lp
	DIAL 1 L1	DIAL 2 L2	DIAL 1 L3	DIAL 2 L4	
20	6	8	7	7	7
40	18	21	17	20	19
60	31	33	31	35	32.5
80	46	50	48	50	48.5
100	66	69	66	67	67
120	83	84	83	84	83.5
140	110	106	105	111	108

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Tabla D.8: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 3

DIAMETRO SUPERIOR		DIAMETRO INFERIOR		DIAMETRO PROMEDIO	AREA A (cm ²)	DISTANCIA ENTRE ANILLOS D (cm)	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
MEDIDA 1 D1 (cm)	MEDIDA 2 D2 (cm)	MEDIDA 1 D3 (cm)	MEDIDA 2 D4 (cm)	Dp (cm)			CARGA C (KN)	CARGA P (Kg)	f c (Kg/cm ²)
15.16	14.91	14.80	15.10	14.99	176.54	15.00	319.87	32617.14	184.76

Fuente: Elaboración Propia

Tabla D.9: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 3

ENSAYO PROBETA 3				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
20	2039.40	11.43	0.0070	4.6667E-05
40	4078.80	22.87	0.0190	1.2667E-04
60	6118.20	34.30	0.0325	2.1667E-04
80	8157.60	45.73	0.0485	3.2333E-04
100	10197.00	57.17	0.0670	4.4667E-04
120	12236.40	68.60	0.0835	5.5667E-04
140	14275.80	80.04	0.1080	7.2000E-04

Fuente: Elaboración Propia

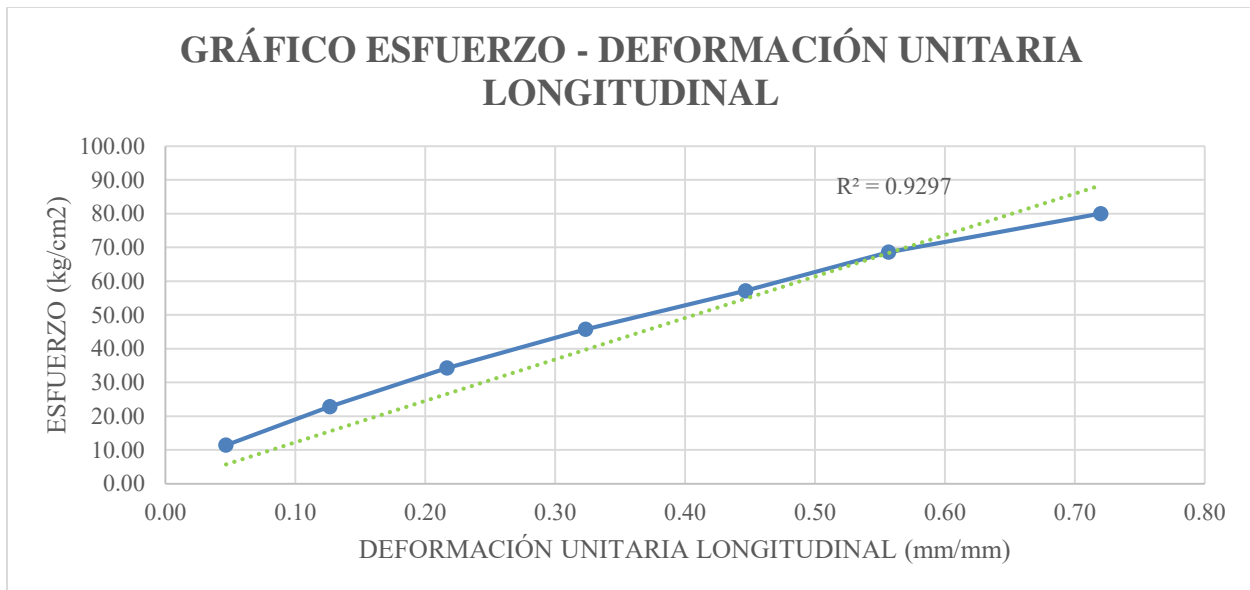


Figura D.3: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 3
Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Deformación base	E1= 0.00005000 m/m
Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima	S2= 73.90 kg/cm2

Interpolación del Esfuerzo para una deformación de 0.00005 m/m

0.00004667 m/m	-	11.43 kg/cm2	
0.00005000 m/m	-	S1	
0.00012667 m/m	-	22.87 kg/cm2	S1=11.91 kg/cm2

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima.

68.60 kg/cm2	-	0.00055667 m/m	
73.90 kg/cm2	-	E2	
80.04 kg/cm2	-	0.00072000 m/m	E2=0.00063241 m/m

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$E = \frac{S2 - S1}{E2 - E1}$$

Módulo de Elasticidad E= 106444.49 kg/cm2

4) Ensayo Probeta 4

a) Toma de datos

Tabla D.10: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 4 y la lectura promedio

ENSAYO PROBETA 4					
CARGA C (KN)	LECTURA 1		LECTURA 2		LECTURA PROMEDIO Lp
	DIAL 1 L1	DIAL 2 L2	DIAL 1 L3	DIAL 2 L4	
20	3	4	5	4	4
40	10	14	11	13	12
60	20	21	22	19	20.5
80	28	30	27	31	29
100	36	39	37	38	37.5
120	46	47	45	48	46.5
140	53	57	54	56	55

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Tabla D.11: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 4

DIAMETRO SUPERIOR		DIAMETRO INFERIOR		DIAMETRO PROMEDIO	AREA A (cm ²)	DISTANCIA ENTRE ANILLOS D (cm)	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
MEDIDA 1 D1 (cm)	MEDIDA 2 D2 (cm)	MEDIDA 1 D3 (cm)	MEDIDA 2 D4 (cm)	Dp (cm)			CARGA C (KN)	CARGA P (Kg)	f _c (Kg/cm ²)
14.93	15.12	15.15	14.86	15.02	177.07	15.00	347.32	35416.22	200.01

Fuente: Elaboración Propia

Tabla D.12: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 4

ENSAYO PROBETA 4				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
20	2039.40	11.43	0.0040	2.6667E-05
40	4078.80	22.87	0.0120	8.0000E-05
60	6118.20	34.30	0.0205	1.3667E-04
80	8157.60	45.73	0.0290	1.9333E-04
100	10197.00	57.17	0.0375	2.5000E-04
120	12236.40	68.60	0.0465	3.1000E-04
140	14275.80	80.04	0.0550	3.6667E-04

Fuente: Elaboración Propia

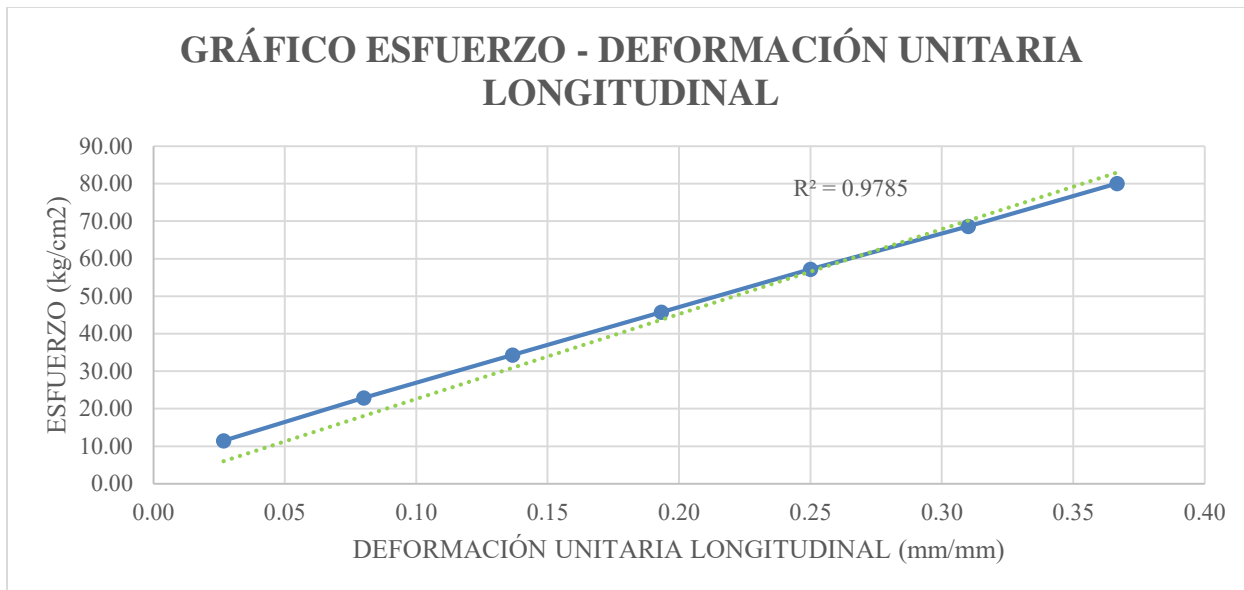


Figura D.4: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 4

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Deformación base	E1= 0.00005000 m/m
Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima	S2= 80.01 kg/cm2

Interpolación del Esfuerzo para una deformación de 0.00005 m/m

0.00002667 m/m	-	11.43 kg/cm2	
0.00005000 m/m	-	S1	
0.00008000 m/m	-	22.87 kg/cm2	S1=16.44 kg/cm2

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima.

68.60 kg/cm2	-	0.00031000 m/m	
80.01 kg/cm2	-	E2	
80.04 kg/cm2	-	0.00036667 m/m	E2=0.00036652 m/m

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$E = \frac{S2 - S1}{E2 - E1}$$

Módulo de Elasticidad E= 200841.18 kg/cm2

5) Ensayo Probeta 5

a) Toma de datos

Tabla D.13: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 5 y la lectura promedio

ENSAYO PROBETA 5					
CARGA C (KN)	LECTURA 1		LECTURA 2		LECTURA PROMEDIO Lp
	DIAL 1 L1	DIAL 2 L2	DIAL 1 L3	DIAL 2 L4	
20	5	6	6	5	5.5
40	13	15	14	14	14
60	24	22	25	21	23
80	29	34	30	33	31.5
100	40	40	38	42	40
120	48	52	49	53	50.5
140	59	61	58	60	59.5

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Tabla D.14: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 5

DIAMETRO SUPERIOR		DIAMETRO INFERIOR		DIAMETRO PROMEDIO Dp (cm)	AREA A (cm ²)	DISTANCIA ENTRE ANILLOS D (cm)	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
MEDIDA 1 D1 (cm)	MEDIDA 2 D2 (cm)	MEDIDA 1 D3 (cm)	MEDIDA 2 D4 (cm)				CARGA C (KN)	CARGA P (Kg)	f _c (Kg/cm ²)
15.10	15.02	14.85	15.21	15.05	177.78	15	336.45	34307.81	192.98

Fuente: Elaboración Propia

Tabla D.15: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 5

ENSAYO PROBETA 5				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
20	2039.40	11.43	0.0055	3.6667E-05
40	4078.80	22.87	0.0140	9.3333E-05
60	6118.20	34.30	0.0230	1.5333E-04
80	8157.60	45.73	0.0315	2.1000E-04
100	10197.00	57.17	0.0400	2.6667E-04
120	12236.40	68.60	0.0505	3.3667E-04
140	14275.80	80.04	0.0595	3.9667E-04

Fuente: Elaboración Propia

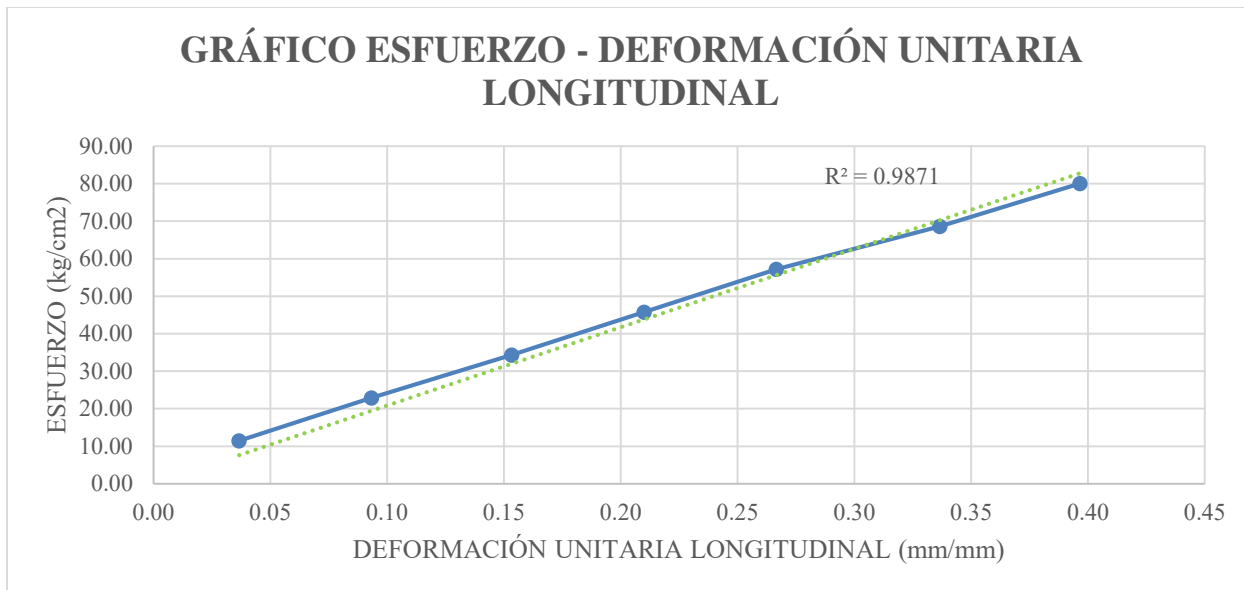


Figura D.5: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 5
Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Deformación base	E1= 0.00005000 m/m
Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima	S2= 77.19 kg/cm2

Interpolación del Esfuerzo para una deformación de 0.00005 m/m

0.00003667 m/m	-	11.43 kg/cm2	
0.00005000 m/m	-	S1	
0.00009333 m/m	-	22.87 kg/cm2	S1=14.12 kg/cm2

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima.

68.60 kg/cm2	-	0.00033667 m/m	
77.19 kg/cm2	-	E2	
80.04 kg/cm2	-	0.00039667 m/m	E2=0.00038175 m/m

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$E = \frac{S2 - S1}{E2 - E1}$$

Módulo de Elasticidad E= 190110.81 kg/cm2

6) Ensayo Probeta 6

a) Toma de datos

Tabla D.16: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 6 y la lectura promedio

ENSAYO PROBETA 6					
CARGA C (KN)	LECTURA 1		LECTURA 2		LECTURA PROMEDIO Lp
	DIAL 1 L1	DIAL 2 L2	DIAL 1 L3	DIAL 2 L4	
20	5	4	3	3	3.75
40	14	11	13	12	12.5
60	24	23	23	23	23.25
80	36	35	31	34	34
100	42	48	48	44	45.5
120	58	58	59	55	57.5
140	65	65	65	70	66.25

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Tabla D.17: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 6

DIAMETRO SUPERIOR		DIAMETRO INFERIOR		DIAMETRO PROMEDIO Dp (cm)	AREA A (cm ²)	DISTANCIA ENTRE ANILLOS D (cm)	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
MEDIDA 1 D1 (cm)	MEDIDA 2 D2 (cm)	MEDIDA 1 D3 (cm)	MEDIDA 2 D4 (cm)				CARGA C (KN)	CARGA P (Kg)	f _c (Kg/cm ²)
14.92	15.10	15.05	15.01	15.02	177.19	15.00	345.23	35203.10	198.68

Fuente: Elaboración Propia

Tabla D.18: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 6

ENSAYO PROBETA 6				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
20	2039.40	11.43	0.0038	2.5000E-05
40	4078.80	22.87	0.0125	8.3333E-05
60	6118.20	34.30	0.0233	1.5500E-04
80	8157.60	45.73	0.0340	2.2667E-04
100	10197.00	57.17	0.0455	3.0333E-04
120	12236.40	68.60	0.0575	3.8333E-04
140	14275.80	80.04	0.0663	4.4167E-04

Fuente: Elaboración Propia

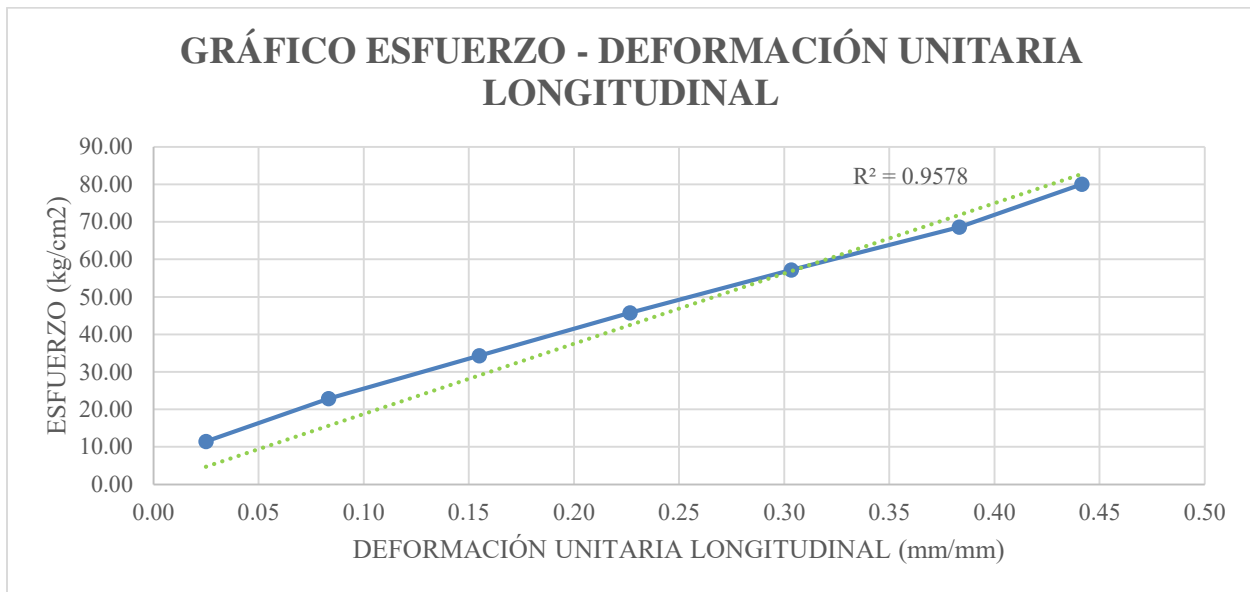


Figura D.6: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 6
Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Deformación base	E1= 0.00005000 m/m
Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima	S2= 79.47 kg/cm2

Interpolación del Esfuerzo para una deformación de 0.00005 m/m

0.00002500 m/m	-	11.43 kg/cm2	
0.00005000 m/m	-	S1	
0.00008333 m/m	-	22.87 kg/cm2	S1=16.33 kg/cm2

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima.

68.60 kg/cm2	-	0.00038333 m/m	
79.47 kg/cm2	-	E2	
80.04 kg/cm2	-	0.00044167 m/m	E2=0.00043879 m/m

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$E = \frac{S2 - S1}{E2 - E1}$$

Módulo de Elasticidad E= 162396.17 kg/cm2

7) Ensayo Probeta 7

a) Toma de datos

Tabla D.19: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 7 y la lectura promedio

ENSAYO PROBETA 7					
CARGA C (KN)	LECTURA 1		LECTURA 2		LECTURA PROMEDIO Lp
	DIAL 1 L1	DIAL 2 L2	DIAL 1 L3	DIAL 2 L4	
20	6	7	4	6	5.75
40	14	14	15	15	14.5
60	23	21	21	21	21.5
80	33	29	32	33	31.75
100	42	40	41	40	40.75
120	58	58	58	57	57.75
140	64	65	63	65	64.25

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Tabla D.20: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 7

DIAMETRO SUPERIOR		DIAMETRO INFERIOR		DIAMETRO PROMEDIO Dp (cm)	AREA A (cm ²)	DISTANCIA ENTRE ANILLOS D (cm)	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
MEDIDA 1 D1 (cm)	MEDIDA 2 D2 (cm)	MEDIDA 1 D3 (cm)	MEDIDA 2 D4 (cm)				CARGA C (KN)	CARGA P (Kg)	f c (Kg/cm ²)
14.98	15.05	15.01	15.10	15.04	177.54	15.00	337.10	34374.09	193.61

Fuente: Elaboración Propia

Tabla D.21: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 7

ENSAYO PROBETA 7				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
20	2039.40	11.43	0.0058	3.8333E-05
40	4078.80	22.87	0.0145	9.6667E-05
60	6118.20	34.30	0.0215	1.4333E-04
80	8157.60	45.73	0.0318	2.1167E-04
100	10197.00	57.17	0.0408	2.7167E-04
120	12236.40	68.60	0.0578	3.8500E-04
140	14275.80	80.04	0.0643	4.2833E-04

Fuente: Elaboración Propia

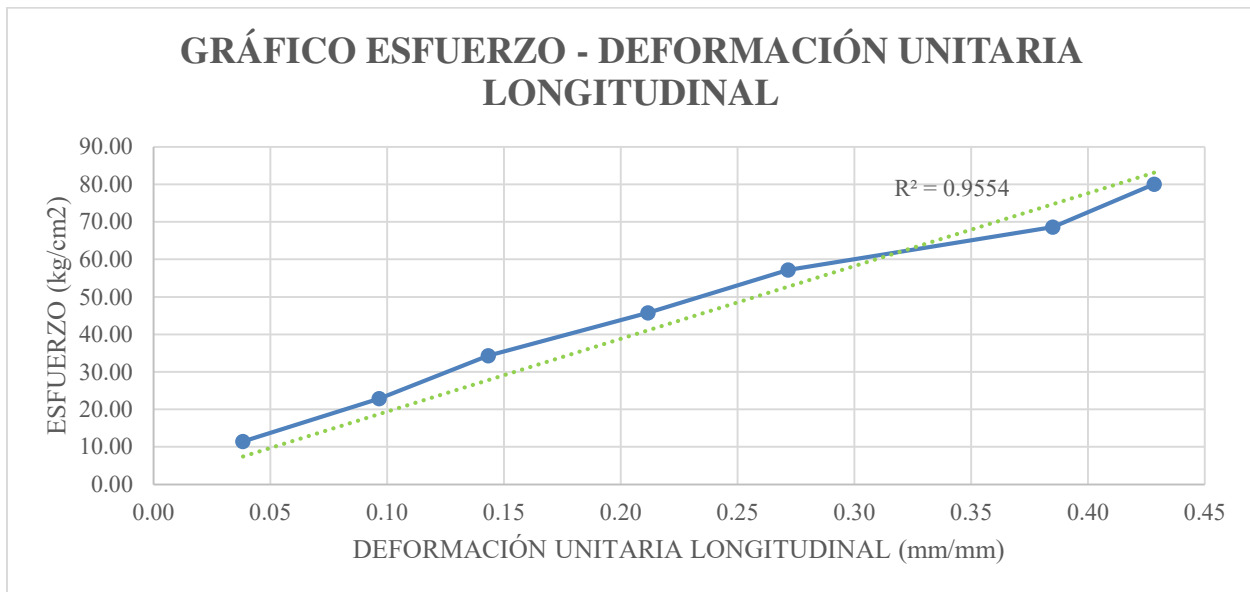


Figura D.7: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 7
Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Deformación base	E1= 0.00005000 m/m
Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima	S2= 77.45 kg/cm2

Interpolación del Esfuerzo para una deformación de 0.00005 m/m

0.00003833 m/m	-	11.43 kg/cm2	
0.00005000 m/m	-	S1	
0.00009667 m/m	-	22.87 kg/cm2	S1=13.72 kg/cm2

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima.

68.60 kg/cm2	-	0.00038500 m/m	
77.45 kg/cm2	-	E2	
80.04 kg/cm2	-	0.00042833 m/m	E2=0.00041852 m/m

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$E = \frac{S2 - S1}{E2 - E1}$$

Módulo de Elasticidad E= 172923.07 kg/cm2

8) Ensayo Probeta 8

a) Toma de datos

Tabla D.22: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 8 y la lectura promedio

ENSAYO PROBETA 8					
CARGA C (KN)	LECTURA 1		LECTURA 2		LECTURA PROMEDIO Lp
	DIAL 1 L1	DIAL 2 L2	DIAL 1 L3	DIAL 2 L4	
20	7	8	7	6	7
40	17	20	19	19	18.75
60	24	24	23	23	23.5
80	47	47	47	49	47.5
100	66	67	69	68	67.5
120	84	84	84	83	83.75
140	105	107	108	108	107

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Tabla D.23: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 8

DIAMETRO SUPERIOR		DIAMETRO INFERIOR		DIAMETRO PROMEDIO Dp (cm)	AREA A (cm ²)	DISTANCIA ENTRE ANILLOS D (cm)	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
MEDIDA 1 D1 (cm)	MEDIDA 2 D2 (cm)	MEDIDA 1 D3 (cm)	MEDIDA 2 D4 (cm)				CARGA C (KN)	CARGA P (Kg)	f c (Kg/cm ²)
14.88	15.15	15.11	15.07	15.05	177.95	15.00	320.65	32696.68	183.74

Fuente: Elaboración Propia

Tabla D.24: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 8

ENSAYO PROBETA 8				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO E (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
20	2039.40	11.43	0.0070	4.6667E-05
40	4078.80	22.87	0.0188	1.2500E-04
60	6118.20	34.30	0.0235	1.5667E-04
80	8157.60	45.73	0.0475	3.1667E-04
100	10197.00	57.17	0.0675	4.5000E-04
120	12236.40	68.60	0.0838	5.5833E-04
140	14275.80	80.04	0.1070	7.1333E-04

Fuente: Elaboración Propia

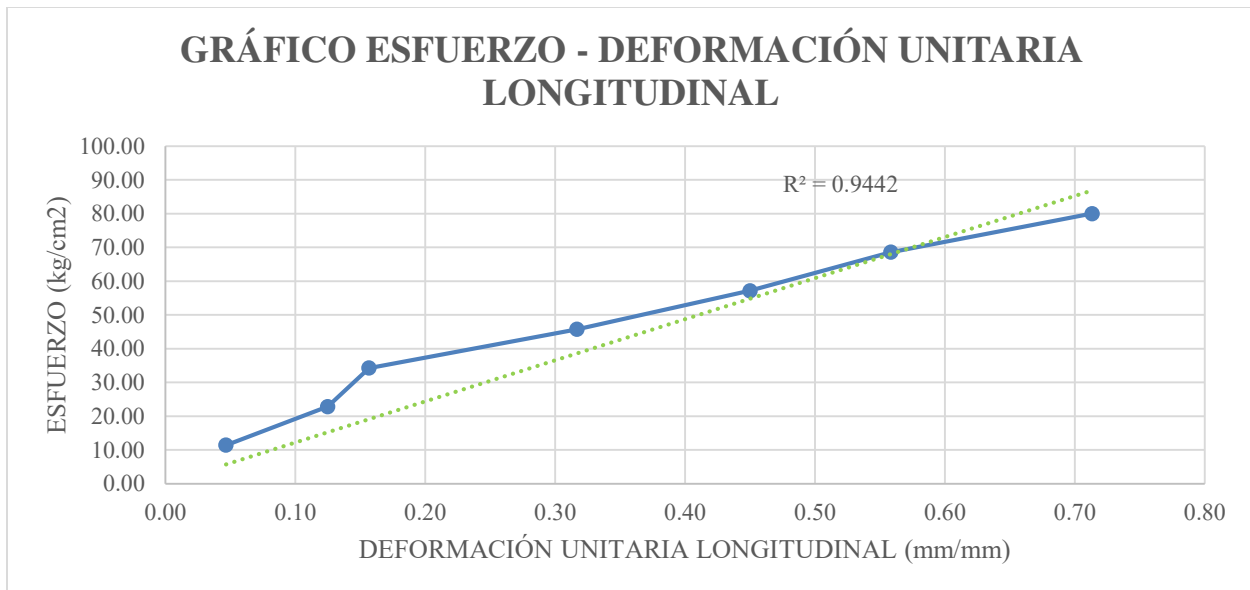


Figura D.8: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 8

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Deformación base	E1= 0.00005000 m/m
Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima	S2= 73.49 kg/cm2

Interpolación del Esfuerzo para una deformación de 0.00005 m/m

0.00004667 m/m	-	11.43 kg/cm2	
0.00005000 m/m	-	S1	
0.00012500 m/m	-	22.87 kg/cm2	S1=11.92 kg/cm2

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima.

68.60 kg/cm2	-	0.00055833 m/m	
73.49 kg/cm2	-	E2	
80.04 kg/cm2	-	0.00071333 m/m	E2=0.00062466 m/m

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$E = \frac{S2 - S1}{E2 - E1}$$

Módulo de Elasticidad E= 107149.37 kg/cm2

9) Ensayo Probeta 9

a) Toma de datos

Tabla D.25: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 9 y la lectura promedio

ENSAYO PROBETA 9					
CARGA C (KN)	LECTURA 1		LECTURA 2		LECTURA PROMEDIO Lp
	DIAL 1 L1	DIAL 2 L2	DIAL 1 L3	DIAL 2 L4	
20	3	3	5	4	3.75
40	12	10	12	14	12
60	21	20	22	20	20.75
80	28	27	29	29	28.25
100	37	38	36	39	37.5
120	48	46	47	47	47
140	54	55	54	53	54

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Tabla D.26: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 9

DIAMETRO SUPERIOR		DIAMETRO INFERIOR		DIAMETRO PROMEDIO Dp (cm)	AREA A (cm ²)	DISTANCIA ENTRE ANILLOS D (cm)	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
MEDIDA 1 D1 (cm)	MEDIDA 2 D2 (cm)	MEDIDA 1 D3 (cm)	MEDIDA 2 D4 (cm)				CARGA C (KN)	CARGA P (Kg)	f _c (Kg/cm ²)
15.08	14.98	15.06	15.14	15.07	178.25	15.00	337.42	34406.72	193.03

Fuente: Elaboración Propia

Tabla D.27: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 9

ENSAYO PROBETA 9				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
20	2039.40	11.43	0.0038	2.5000E-05
40	4078.80	22.87	0.0120	8.0000E-05
60	6118.20	34.30	0.0208	1.3833E-04
80	8157.60	45.73	0.0283	1.8833E-04
100	10197.00	57.17	0.0375	2.5000E-04
120	12236.40	68.60	0.0470	3.1333E-04
140	14275.80	80.04	0.0540	3.6000E-04

Fuente: Elaboración Propia

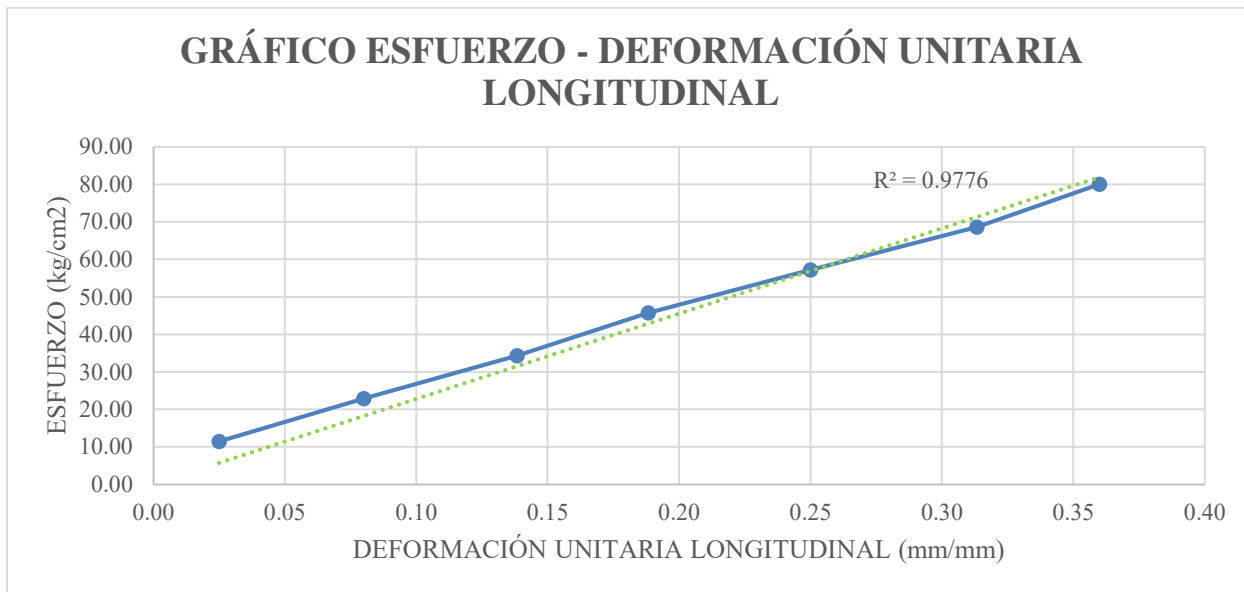


Figura D.9: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 9
Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Deformación base	E1= 0.00005000 m/m
Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima	S2= 77.21 kg/cm2

Interpolación del Esfuerzo para una deformación de 0.00005 m/m

0.00002500 m/m	-	11.43 kg/cm2	
0.00005000 m/m	-	S1	
0.00008000 m/m	-	22.87 kg/cm2	S1=16.63 kg/cm2

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima.

68.60 kg/cm2	-	0.00031333 m/m	
77.21 kg/cm2	-	E2	
80.04 kg/cm2	-	0.00036000 m/m	E2=0.00034847 m/m

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$E = \frac{S2 - S1}{E2 - E1}$$

Módulo de Elasticidad E= 202968.21 kg/cm2

10) Ensayo Probeta 10

a) Toma de datos

Tabla D.28: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 10 y la lectura promedio

ENSAYO PROBETA 10					
CARGA C (KN)	LECTURA 1		LECTURA 2		LECTURA PROMEDIO Lp
	DIAL 1 L1	DIAL 2 L2	DIAL 1 L3	DIAL 2 L4	
20	5	6	5	6	5.5
40	14	15	13	15	14.25
60	21	24	24	21	22.5
80	34	32	29	31	31.5
100	42	39	39	40	40
120	52	49	50	50	50.25
140	58	60	61	60	59.75

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Tabla D.29: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 10

DIAMETRO SUPERIOR		DIAMETRO INFERIOR		DIAMETRO PROMEDIO Dp (cm)	AREA A (cm ²)	DISTANCIA ENTRE ANILLOS D (cm)	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
MEDIDA 1 D1 (cm)	MEDIDA 2 D2 (cm)	MEDIDA 1 D3 (cm)	MEDIDA 2 D4 (cm)				CARGA C (KN)	CARGA P (Kg)	f _c (Kg/cm ²)
15.12	14.89	15.02	15.09	15.03	177.42	15.00	327.13	33357.45	188.01

Fuente: Elaboración Propia

Tabla D.30: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 10

ENSAYO PROBETA 10				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
20	2039.40	11.43	0.0055	3.6667E-05
40	4078.80	22.87	0.0143	9.5000E-05
60	6118.20	34.30	0.0225	1.5000E-04
80	8157.60	45.73	0.0315	2.1000E-04
100	10197.00	57.17	0.0400	2.6667E-04
120	12236.40	68.60	0.0503	3.3500E-04
140	14275.80	80.04	0.0598	3.9833E-04

Fuente: Elaboración Propia

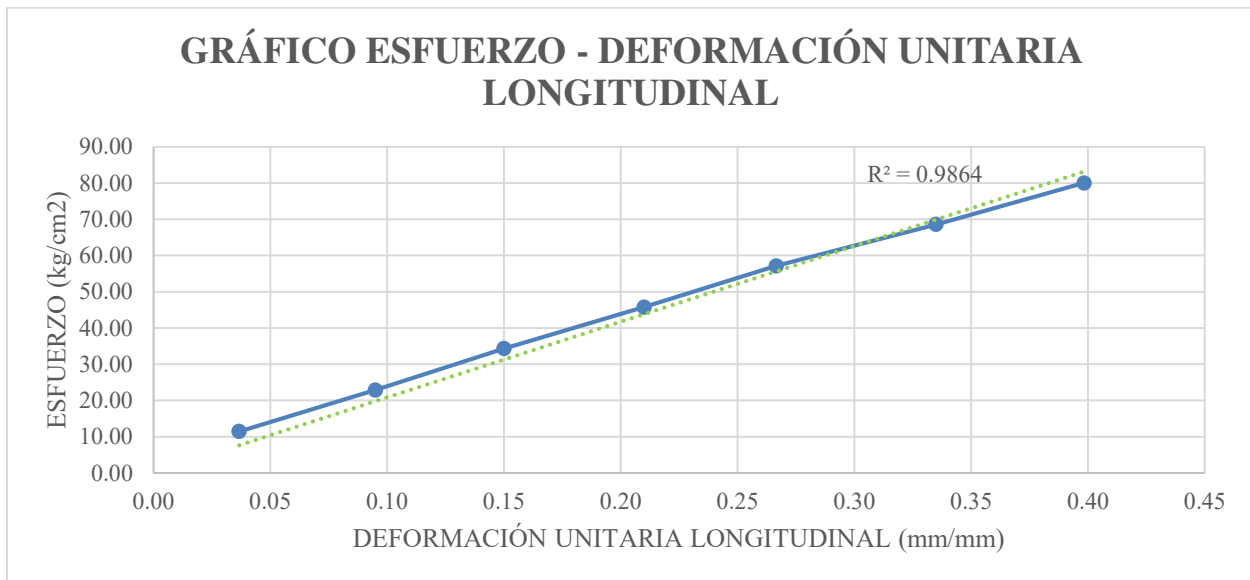


Figura D.10: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 10
Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Deformación base $E1 = 0.00005000 \text{ m/m}$
 Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima $S2 = 75.20 \text{ kg/cm}^2$

Interpolación del Esfuerzo para una deformación de 0.00005 m/m

0.00003667 m/m - 11.43 kg/cm^2
 0.00005000 m/m - $S1$
 0.00009500 m/m - 22.87 kg/cm^2 $S1 = 14.05 \text{ kg/cm}^2$

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima.

68.60 kg/cm^2 - 0.00033500 m/m
 75.20 kg/cm^2 - $E2$
 80.04 kg/cm^2 - 0.00039833 m/m $E2 = 0.00037157 \text{ m/m}$

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$E = \frac{S2 - S1}{E2 - E1}$$

Módulo de Elasticidad $E = 190182.55 \text{ kg/cm}^2$

11) Ensayo Probeta 11

a) Toma de datos

Tabla D.31: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 11 y la lectura promedio

ENSAYO PROBETA 11					
CARGA C (KN)	LECTURA 1		LECTURA 2		LECTURA PROMEDIO Lp
	DIAL 1 L1	DIAL 2 L2	DIAL 1 L3	DIAL 2 L4	
20	5	5	5	3	4.5
40	15	13	12	14	13.5
60	25	25	23	25	24.5
80	33	34	36	31	33.5
100	42	48	47	46	45.75
120	57	57	55	58	56.75
140	69	68	70	65	68

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Tabla D.32: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 11

DIAMETRO SUPERIOR		DIAMETRO INFERIOR		DIAMETRO PROMEDIO	AREA A (cm ²)	DISTANCIA ENTRE ANILLOS D (cm)	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
MEDIDA 1 D1 (cm)	MEDIDA 2 D2 (cm)	MEDIDA 1 D3(cm)	MEDIDA 2 D4 (cm)	Dp (cm)			CARGA C (KN)	CARGA P (Kg)	f c (Kg/cm ²)
15.10	15.04	14.95	15.12	15.05	177.95	15.00	335.22	34182.38	192.09

Fuente: Elaboración Propia

Tabla D.33: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 11

ENSAYO PROBETA 11				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
20	2039.40	11.43	0.0045	3.0000E-05
40	4078.80	22.87	0.0135	9.0000E-05
60	6118.20	34.30	0.0245	1.6333E-04
80	8157.60	45.73	0.0335	2.2333E-04
100	10197.00	57.17	0.0458	3.0500E-04
120	12236.40	68.60	0.0568	3.7833E-04
140	14275.80	80.04	0.0680	4.5333E-04

Fuente: Elaboración Propia

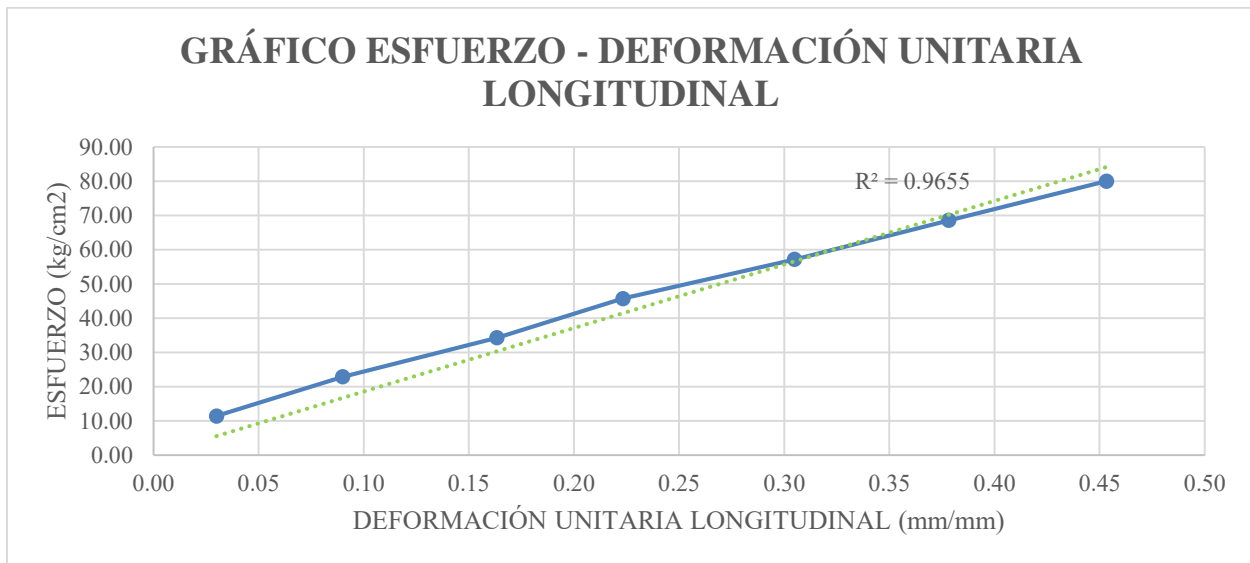


Figura D.11: Gráfico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 11
Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Deformación base	E1= 0.00005000 m/m
Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima	S2= 76.83 kg/cm2

Interpolación del Esfuerzo para una deformación de 0.00005 m/m

0.00003000 m/m	-	11.43 kg/cm2	
0.00005000 m/m	-	S1	
0.00009000 m/m	-	22.87 kg/cm2	S1=15.24 kg/cm2

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima.

68.60 kg/cm2	-	0.00037833 m/m	
76.83 kg/cm2	-	E2	
80.04 kg/cm2	-	0.00045333 m/m	E2=0.00043233 m/m

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$E = \frac{S2 - S1}{E2 - E1}$$

Módulo de Elasticidad E= 161088.29 kg/cm2

12) Ensayo Probeta 12

a) Toma de datos

Tabla D.34: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 12 y la lectura promedio

ENSAYO PROBETA 12					
CARGA C (KN)	LECTURA 1		LECTURA 2		LECTURA PROMEDIO Lp
	DIAL 1 L1	DIAL 2 L2	DIAL 1 L3	DIAL 2 L4	
20	7	4	4	3	4.5
40	13	12	14	12	12.75
60	24	22	24	22	23
80	29	30	32	32	30.75
100	40	43	42	43	42
120	60	57	56	59	58
140	64	63	65	63	63.75

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Tabla D.35: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 12

DIAMETRO SUPERIOR		DIAMETRO INFERIOR		DIAMETRO PROMEDIO	AREA A (cm ²)	DISTANCIA ENTRE ANILLOS D (cm)	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
MEDIDA 1 D1 (cm)	MEDIDA 2 D2 (cm)	MEDIDA 1 D3 (cm)	MEDIDA 2 D4 (cm)	Dp (cm)			CARGA C (KN)	CARGA P (Kg)	f c (Kg/cm ²)
15.06	15.01	14.99	15.03	15.02	177.25	15.00	327.12	33356.43	188.19

Fuente: Elaboración Propia

Tabla D.36: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 12

ENSAYO PROBETA 12				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
20	2039.40	11.43	0.0045	3.0000E-05
40	4078.80	22.87	0.0128	8.5000E-05
60	6118.20	34.30	0.0230	1.5333E-04
80	8157.60	45.73	0.0308	2.0500E-04
100	10197.00	57.17	0.0420	2.8000E-04
120	12236.40	68.60	0.0580	3.8667E-04
140	14275.80	80.04	0.0638	4.2500E-04

Fuente: Elaboración Propia

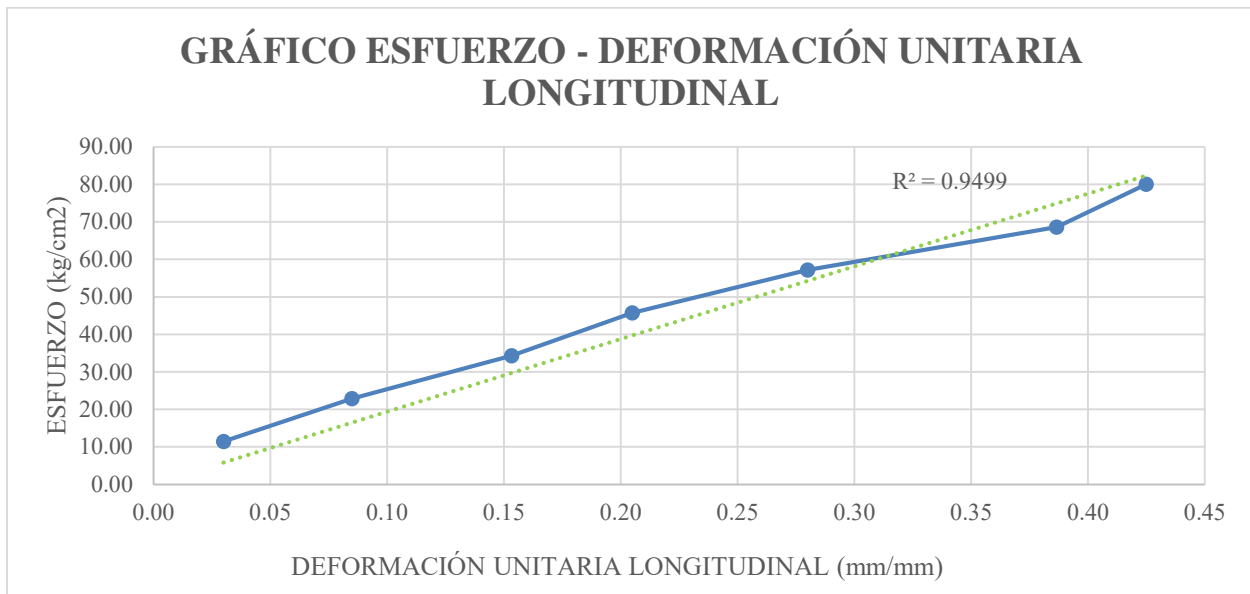


Figura D.12: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 12
Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Deformación base	$E1 = 0.00005000 \text{ m/m}$
Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima	$S2 = 75.28 \text{ kg/cm}^2$

Interpolación del Esfuerzo para una deformación de 0.00005 m/m

0.00003000 m/m	-	11.43 kg/cm ²	
0.00005000 m/m	-	S1	
0.00008500 m/m	-	22.87 kg/cm ²	$S1 = 15.59 \text{ kg/cm}^2$

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima.

68.60 kg/cm ²	-	0.00038667 m/m	
75.28 kg/cm ²	-	E2	
80.04 kg/cm ²	-	0.00042500 m/m	$E2 = 0.00040905 \text{ m/m}$

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$E = \frac{S2 - S1}{E2 - E1}$$

Módulo de Elasticidad $E = 166234.77 \text{ kg/cm}^2$

13) Ensayo Probeta 13

a) Toma de datos

Tabla D.37: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 13 y la lectura promedio

ENSAYO PROBETA 13					
CARGA C (KN)	LECTURA 1		LECTURA 2		LECTURA PROMEDIO Lp
	DIAL 1 L1	DIAL 2 L2	DIAL 1 L3	DIAL 2 L3	
20	4	3	5	4	4
40	14	14	11	14	13.25
60	23	24	24	25	24
80	36	32	34	35	34.25
100	45	43	48	46	45.5
120	55	60	59	58	58
140	67	66	70	67	67.5

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Tabla D.38: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 13

DIAMETRO SUPERIOR		DIAMETRO INFERIOR		DIAMETRO PROMEDIO	AREA A (cm ²)	DISTANCIA ENTRE ANILLOS D (cm)	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
MEDIDA 1 D1 (cm)	MEDIDA 2 D2 (cm)	MEDIDA 1 D3 (cm)	MEDIDA 2 D4 (cm)	Dp (cm)			CARGA C (KN)	CARGA P (Kg)	f c (Kg/cm ²)
15.22	15.04	15.06	15.09	15.10	179.14	15.00	335.67	34228.27	191.07

Fuente: Elaboración Propia

Tabla D.39: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 13

ENSAYO PROBETA 13				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
20	2039.40	11.43	0.0040	2.6667E-05
40	4078.80	22.87	0.0133	8.8333E-05
60	6118.20	34.30	0.0240	1.6000E-04
80	8157.60	45.73	0.0343	2.2833E-04
100	10197.00	57.17	0.0455	3.0333E-04
120	12236.40	68.60	0.0580	3.8667E-04
140	14275.80	80.04	0.0675	4.5000E-04

Fuente: Elaboración Propia

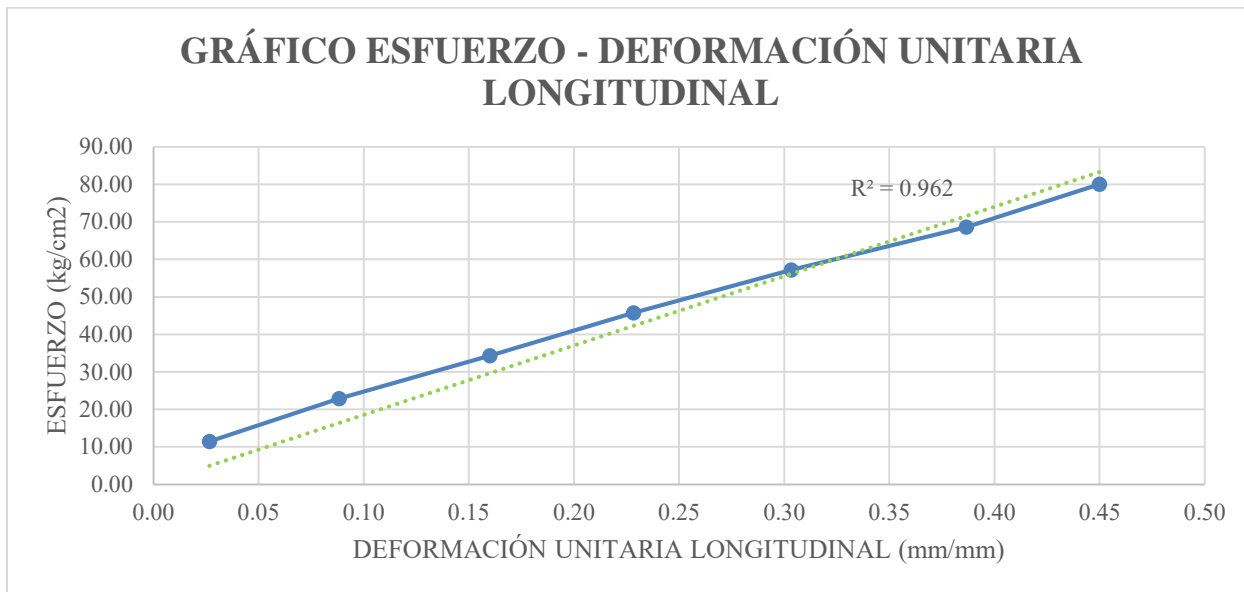


Figura D.13: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 13

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Deformación base	E1= 0.00005000 m/m
Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima	S2= 76.43 kg/cm2

Interpolación del Esfuerzo para una deformación de 0.00005 m/m

0.00002667 m/m	-	11.43 kg/cm2	
0.00005000 m/m	-	S1	
0.00008833 m/m	-	22.87 kg/cm2	S1=15.76 kg/cm2

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima.

68.60 kg/cm2	-	0.00038667 m/m	
76.43 kg/cm2	-	E2	
80.04 kg/cm2	-	0.00045000 m/m	E2=0.00043002 m/m

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$E = \frac{S2 - S1}{E2 - E1}$$

Módulo de Elasticidad E= 159646.36 kg/cm2

14) Ensayo Probeta 14

a) Toma de datos

Tabla D.40: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 14 y la lectura promedio

ENSAYO PROBETA 14					
CARGA C (KN)	LECTURA 1		LECTURA 2		LECTURA PROMEDIO Lp
	DIAL 1 L1	DIAL 2 L2	DIAL 1 L3	DIAL 2 L4	
20	4	5	4	3	4
40	12	10	14	11	11.75
60	22	21	22	21	21.5
80	31	28	29	30	29.5
100	38	37	38	38	37.75
120	46	45	46	47	46
140	53	57	57	57	56

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Tabla D.41: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 14

DIAMETRO SUPERIOR		DIAMETRO INFERIOR		DIAMETRO PROMEDIO Dp (cm)	AREA A (cm ²)	DISTANCIA ENTRE ANILLOS D (cm)	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
MEDIDA 1 D1 (cm)	MEDIDA 2 D2 (cm)	MEDIDA 1 D3 (cm)	MEDIDA 2 D4 (cm)				CARGA C (KN)	CARGA P (Kg)	f _c (Kg/cm ²)
15.03	15.08	15.12	14.95	15.05	177.78	15.00	315.98	32220.48	181.24

Fuente: Elaboración Propia

Tabla D.42: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 14

ENSAYO PROBETA 14				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
20	2039.40	11.43	0.0040	2.6667E-05
40	4078.80	22.87	0.0118	7.8333E-05
60	6118.20	34.30	0.0215	1.4333E-04
80	8157.60	45.73	0.0295	1.9667E-04
100	10197.00	57.17	0.0378	2.5167E-04
120	12236.40	68.60	0.0460	3.0667E-04
140	14275.80	80.04	0.0560	3.7333E-04

Fuente: Elaboración Propia

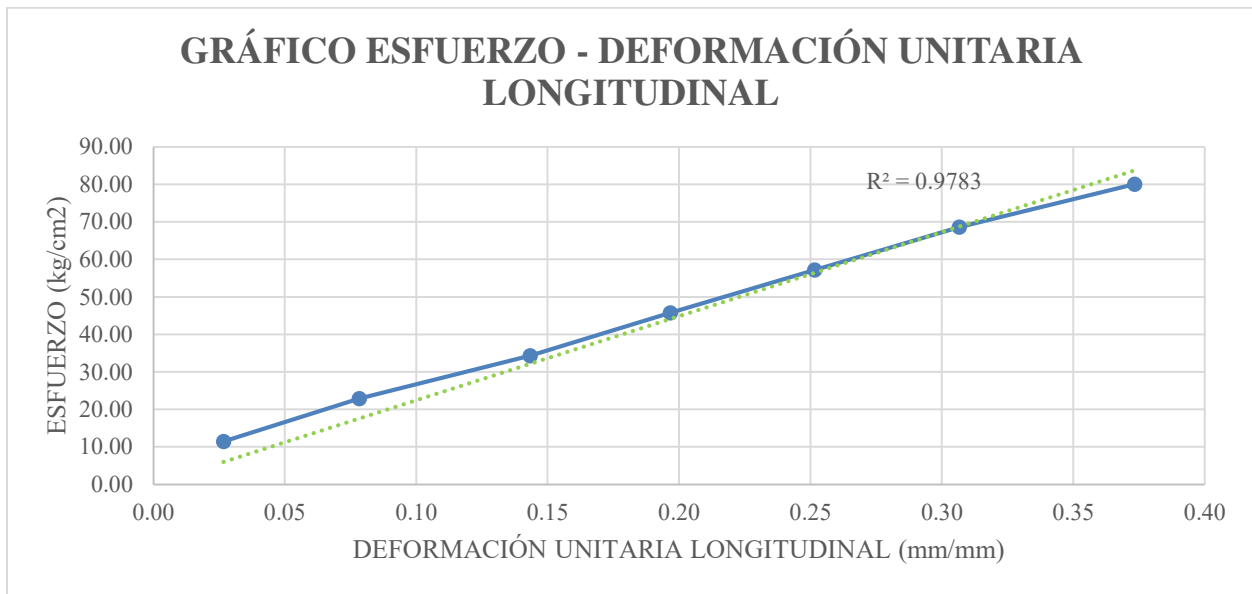


Figura D.14: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 14
Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Deformación base	E1= 0.00005000 m/m
Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima	S2= 72.50 kg/cm2

Interpolación del Esfuerzo para una deformación de 0.00005 m/m

0.00002667 m/m	-	11.43 kg/cm2	
0.00005000 m/m	-	S1	
0.00007833 m/m	-	22.87 kg/cm2	S1=16.60 kg/cm2

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima.

68.60 kg/cm2	-	0.00030667 m/m	
72.50 kg/cm2	-	E2	
80.04 kg/cm2	-	0.00037333 m/m	E2=0.00032937 m/m

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$E = \frac{S2 - S1}{E2 - E1}$$

Módulo de Elasticidad E= 200087.37 kg/cm2

15) Ensayo Probeta 15

a) Toma de datos

Tabla D.43: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 15 y la lectura promedio

ENSAYO PROBETA 15					
CARGA C (KN)	LECTURA 1		LECTURA 2		LECTURA PROMEDIO Lp
	DIAL 1 L1	DIAL 2 L2	DIAL 1 L3	DIAL 2 L4	
20	6	6	6	5	5.75
40	14	14	14	15	14.25
60	22	22	21	23	22
80	31	30	34	29	31
100	41	42	39	38	40
120	48	48	49	51	49
140	59	58	61	59	59.25

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Tabla D.44: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 15

DIAMETRO SUPERIOR		DIAMETRO INFERIOR		DIAMETRO PROMEDIO Dp (cm)	AREA A (cm ²)	DISTANCIA ENTRE ANILLOS D (cm)	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
MEDIDA 1 D1 (cm)	MEDIDA 2 D2 (cm)	MEDIDA 1 D3 (cm)	MEDIDA 2 D4 (cm)				CARGA C (KN)	CARGA P (Kg)	f c (Kg/cm ²)
14.99	15.13	14.95	15.01	15.02	177.19	15.00	319.67	32596.75	183.97

Fuente: Elaboración Propia

Tabla D.45: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 15

ENSAYO PROBETA 15				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
20	2039.40	11.43	0.0058	3.8333E-05
40	4078.80	22.87	0.0143	9.5000E-05
60	6118.20	34.30	0.0220	1.4667E-04
80	8157.60	45.73	0.0310	2.0667E-04
100	10197.00	57.17	0.0400	2.6667E-04
120	12236.40	68.60	0.0490	3.2667E-04
140	14275.80	80.04	0.0593	3.9500E-04

Fuente: Elaboración Propia

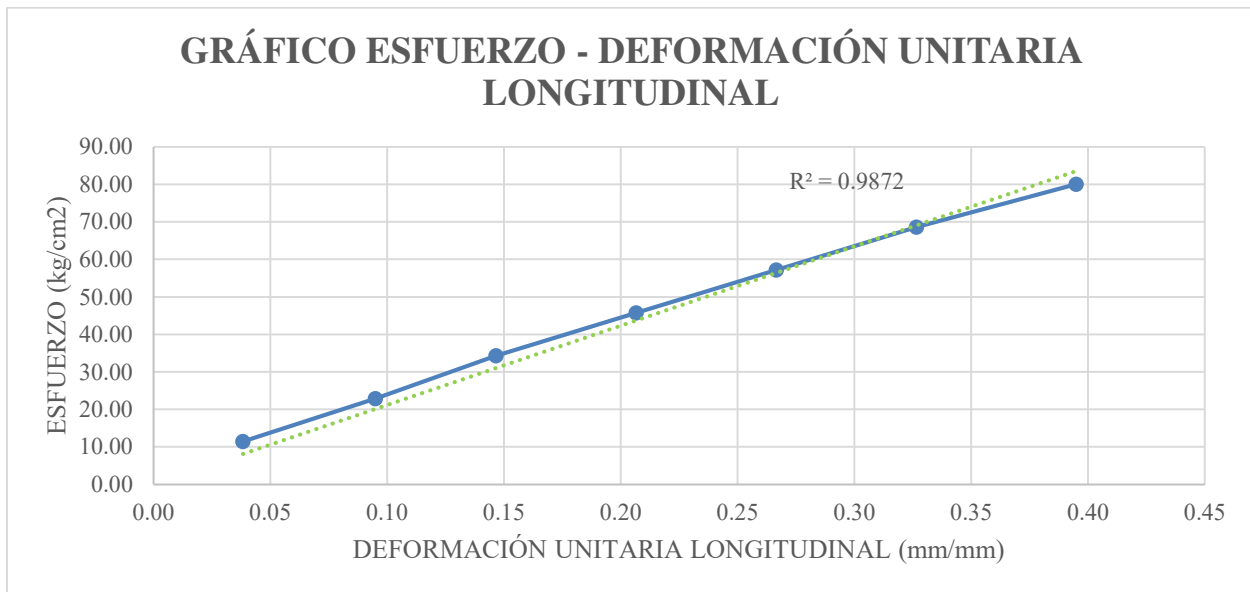


Figura D.15: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 15
Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Deformación base	E1= 0.00005000 m/m
Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima	S2= 73.59 kg/cm2

Interpolación del Esfuerzo para una deformación de 0.00005 m/m

0.00003833 m/m	-	11.43 kg/cm2	
0.00005000 m/m	-	S1	
0.00009500 m/m	-	22.87 kg/cm2	S1=13.79 kg/cm2

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima.

68.60 kg/cm2	-	0.00032667 m/m	
73.59 kg/cm2	-	E2	
80.04 kg/cm2	-	0.00039500 m/m	E2=0.00035646 m/m

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$E = \frac{S2 - S1}{E2 - E1}$$

Módulo de Elasticidad E= 195129.61 kg/cm2

16) Ensayo Probeta 16

a) Toma de datos

Tabla D.46: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 16 y la lectura promedio

ENSAYO PROBETA 16					
CARGA C (KN)	LECTURA 1		LECTURA 2		LECTURA PROMEDIO Lp
	DIAL 1 L1	DIAL 2 L2	DIAL 1 L3	DIAL 2 L4	
20	3	5	4	4	4
40	13	12	15	15	13.75
60	25	24	23	24	24
80	33	33	36	36	34.5
100	48	46	42	46	45.5
120	56	57	55	55	55.75
140	64	70	65	70	67.25

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Tabla D.47: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 16

DIAMETRO SUPERIOR		DIAMETRO INFERIOR		DIAMETRO PROMEDIO Dp (cm)	AREA A (cm ²)	DISTANCIA ENTRE ANILLOS D (cm)	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
MEDIDA 1 D1 (cm)	MEDIDA 2 D2 (cm)	MEDIDA 1 D3 (cm)	MEDIDA 2 D4 (cm)				CARGA C (KN)	CARGA P (Kg)	f c (Kg/cm ²)
14.96	15.06	15.02	15.15	15.05	177.84	15.00	345.12	35191.89	197.89

Fuente: Elaboración Propia

Tabla D.48: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 16

ENSAYO PROBETA 16				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
20	2039.40	11.43	0.0040	2.6667E-05
40	4078.80	22.87	0.0138	9.1667E-05
60	6118.20	34.30	0.0240	1.6000E-04
80	8157.60	45.73	0.0345	2.3000E-04
100	10197.00	57.17	0.0455	3.0333E-04
120	12236.40	68.60	0.0558	3.7167E-04
140	14275.80	80.04	0.0673	4.4833E-04

Fuente: Elaboración Propia

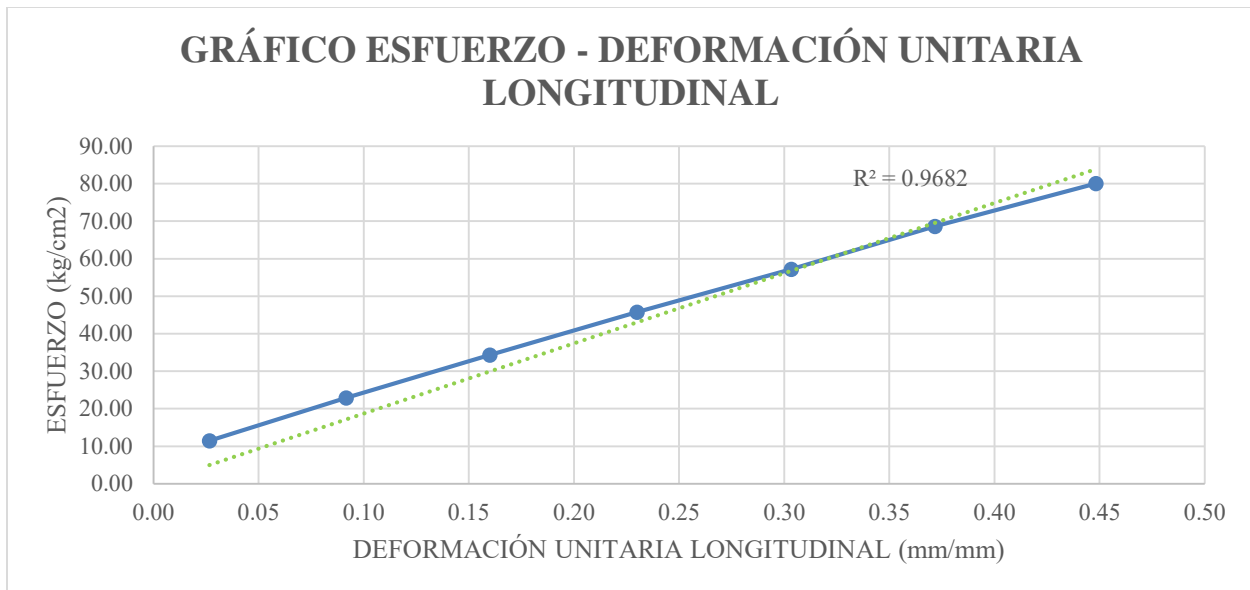


Figura D.16: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 16

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Deformación base	E1= 0.00005000 m/m
Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima	S2= 79.16 kg/cm2

Interpolación del Esfuerzo para una deformación de 0.00005 m/m

0.00002667 m/m	-	11.43 kg/cm2	
0.00005000 m/m	-	S1	
0.00009167 m/m	-	22.87 kg/cm2	S1=15.54 kg/cm2

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima.

68.60 kg/cm2	-	0.00037167 m/m	
79.16 kg/cm2	-	E2	
80.04 kg/cm2	-	0.00044833 m/m	E2=0.00044833 m/m

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$E = \frac{S2 - S1}{E2 - E1}$$

Módulo de Elasticidad E= 162111.03 kg/cm2

17) Ensayo Probeta 17

a) Toma de datos

Tabla D.49: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 17 y la lectura promedio

ENSAYO PROBETA 17					
CARGA C (KN)	LECTURA 1		LECTURA 2		LECTURA PROMEDIO Lp
	DIAL 1 L1	DIAL 2 L2	DIAL 1 L3	DIAL 2 L4	
20	3	6	6	4	4.75
40	12	15	13	16	14
60	21	23	24	24	23
80	33	32	30	30	31.25
100	40	43	42	42	41.75
120	60	56	56	60	58
140	63	65	63	62	63.25

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Tabla D.50: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 17

DIAMETRO SUPERIOR		DIAMETRO INFERIOR		DIAMETRO PROMEDIO Dp (cm)	AREA A (cm ²)	DISTANCIA ENTRE ANILLOS D (cm)	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
MEDIDA 1 D1 (cm)	MEDIDA 2 D2 (cm)	MEDIDA 1 D3 (cm)	MEDIDA 2 D4 (cm)				CARGA C (KN)	CARGA P (Kg)	f c (Kg/cm ²)
15.15	15.14	15.01	14.95	15.06	178.19	15.00	312.14	31828.92	178.62

Fuente: Elaboración Propia

Tabla D.51: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 17

ENSAYO PROBETA 17				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
20	2039.40	11.43	0.0048	3.1667E-05
40	4078.80	22.87	0.0140	9.3333E-05
60	6118.20	34.30	0.0230	1.5333E-04
80	8157.60	45.73	0.0313	2.0833E-04
100	10197.00	57.17	0.0418	2.7833E-04
120	12236.40	68.60	0.0580	3.8667E-04
140	14275.80	80.04	0.0633	4.2167E-04

Fuente: Elaboración Propia

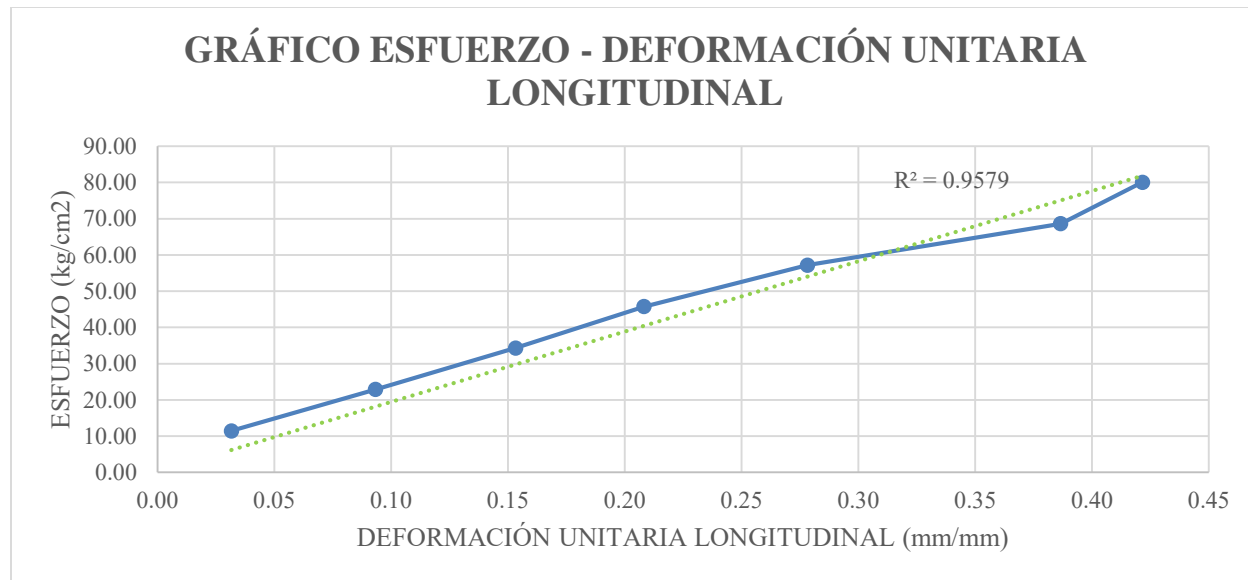


Figura D.17: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 17
Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Deformación base	E1= 0.00005000 m/m
Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima	S2= 71.45 kg/cm2

Interpolación del Esfuerzo para una deformación de 0.00005 m/m

0.00003167 m/m	-	11.43 kg/cm2	
0.00005000 m/m	-	S1	
0.00009333 m/m	-	22.87 kg/cm2	S1=14.83 kg/cm2

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima.

68.60 kg/cm2	-	0.00038667 m/m	
71.45 kg/cm2	-	E2	
80.04 kg/cm2	-	0.00042167 m/m	E2=0.00039538 m/m

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$E = \frac{S2 - S1}{E2 - E1}$$

Módulo de Elasticidad E= 163923.84 kg/cm2

18) Ensayo Probeta 18

a) Toma de datos

Tabla D.52: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 18 y la lectura promedio

ENSAYO PROBETA 18					
CARGA C (KN)	LECTURA 1		LECTURA 2		LECTURA PROMEDIO Lp
	DIAL 1 L1	DIAL 2 L2	DIAL 1 L3	DIAL 2 L4	
20	5	7	6	4	5.5
40	13	15	15	13	14
60	22	24	22	24	23
80	31	32	30	29	30.5
100	41	43	41	40	41.25
120	57	60	59	55	57.75
140	62	62	65	65	63.5

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Tabla D.53: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 18

DIAMETRO SUPERIOR		DIAMETRO INFERIOR		DIAMETRO PROMEDIO	AREA A (cm ²)	DISTANCIA ENTRE ANILLOS D (cm)	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
MEDIDA 1 D1 (cm)	MEDIDA 2 D2 (cm)	MEDIDA 1 D3 (cm)	MEDIDA 2 D4 (cm)	Dp (cm)			CARGA C (KN)	CARGA P (Kg)	f c (Kg/cm ²)
14.97	14.92	15.12	15.06	15.02	177.13	15.00	324.73	33112.72	186.94

Fuente: Elaboración Propia

Tabla D.54: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 18

ENSAYO PROBETA 18				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
20	2039.40	11.43	0.0055	3.6667E-05
40	4078.80	22.87	0.0140	9.3333E-05
60	6118.20	34.30	0.0230	1.5333E-04
80	8157.60	45.73	0.0305	2.0333E-04
100	10197.00	57.17	0.0413	2.7500E-04
120	12236.40	68.60	0.0578	3.8500E-04
140	14275.80	80.04	0.0635	4.2333E-04

Fuente: Elaboración Propia

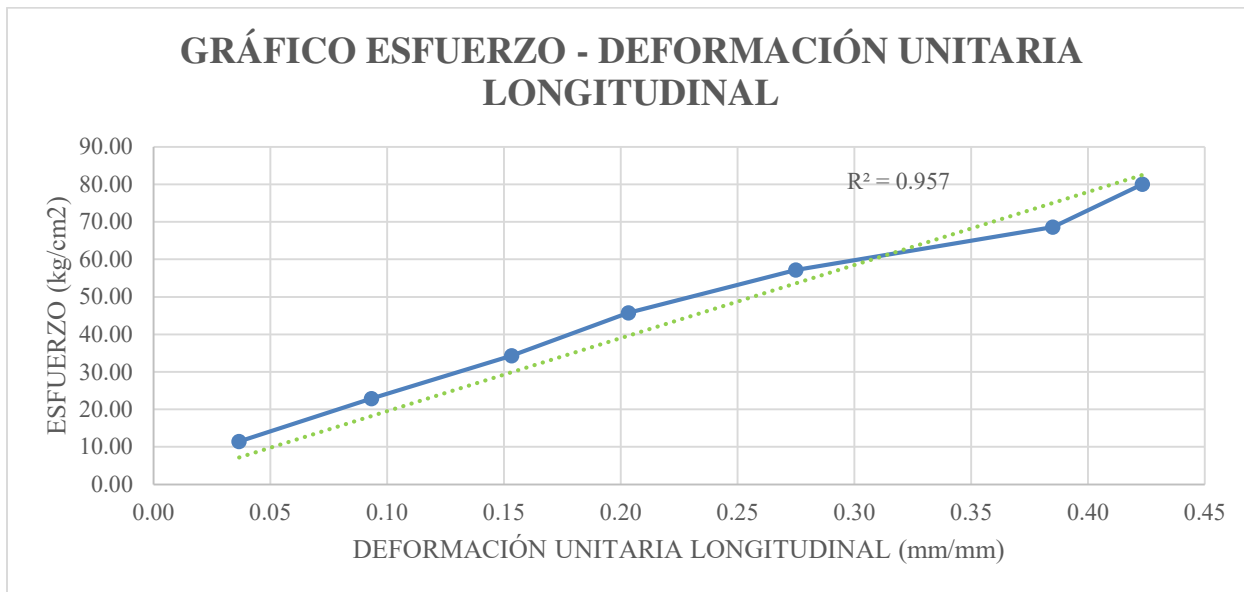


Figura D.18: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 18

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Deformación base	E1= 0.00005000 m/m
Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima	S2= 74.78 kg/cm2

Interpolación del Esfuerzo para una deformación de 0.00005 m/m

0.00003667 m/m	-	11.43 kg/cm2	
0.00005000 m/m	-	S1	
0.00009333 m/m	-	22.87 kg/cm2	S1=14.12 kg/cm2

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima.

68.60 kg/cm2	-	0.00038500 m/m	
74.78 kg/cm2	-	E2	
80.04 kg/cm2	-	0.00042333 m/m	E2=0.00040570 m/m

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$E = \frac{S2 - S1}{E2 - E1}$$

Módulo de Elasticidad E= 170516.57 kg/cm2

19) Ensayo Probeta 19

a) Toma de datos

Tabla D.55: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 19 y la lectura promedio

ENSAYO PROBETA 19					
CARGA C (KN)	LECTURA 1		LECTURA 2		LECTURA PROMEDIO Lp
	DIAL 1 L1	DIAL 2 L2	DIAL 1 L3	DIAL 2 L4	
20	3	5	4	4	4
40	10	14	14	10	12
60	21	22	21	19	20.75
80	27	29	31	31	29.5
100	36	37	39	39	37.75
120	48	48	46	48	47.5
140	57	57	57	53	56

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Tabla D.56: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 19

DIAMETRO SUPERIOR		DIAMETRO INFERIOR		DIAMETRO PROMEDIO Dp (cm)	AREA A (cm ²)	DISTANCIA ENTRE ANILLOS D (cm)	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
MEDIDA 1 D1 (cm)	MEDIDA 2 D2 (cm)	MEDIDA 1 D3 (cm)	MEDIDA 2 D4 (cm)				CARGA C (KN)	CARGA P (Kg)	f _c (Kg/cm ²)
15.05	15.08	15.02	14.99	15.04	177.54	15.00	324.12	33050.52	186.16

Fuente: Elaboración Propia

Tabla D.57: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 19

ENSAYO PROBETA 19				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
20	2039.40	11.43	0.0040	2.6667E-05
40	4078.80	22.87	0.0120	8.0000E-05
60	6118.20	34.30	0.0208	1.3833E-04
80	8157.60	45.73	0.0295	1.9667E-04
100	10197.00	57.17	0.0378	2.5167E-04
120	12236.40	68.60	0.0475	3.1667E-04
140	14275.80	80.04	0.0560	3.7333E-04

Fuente: Elaboración Propia

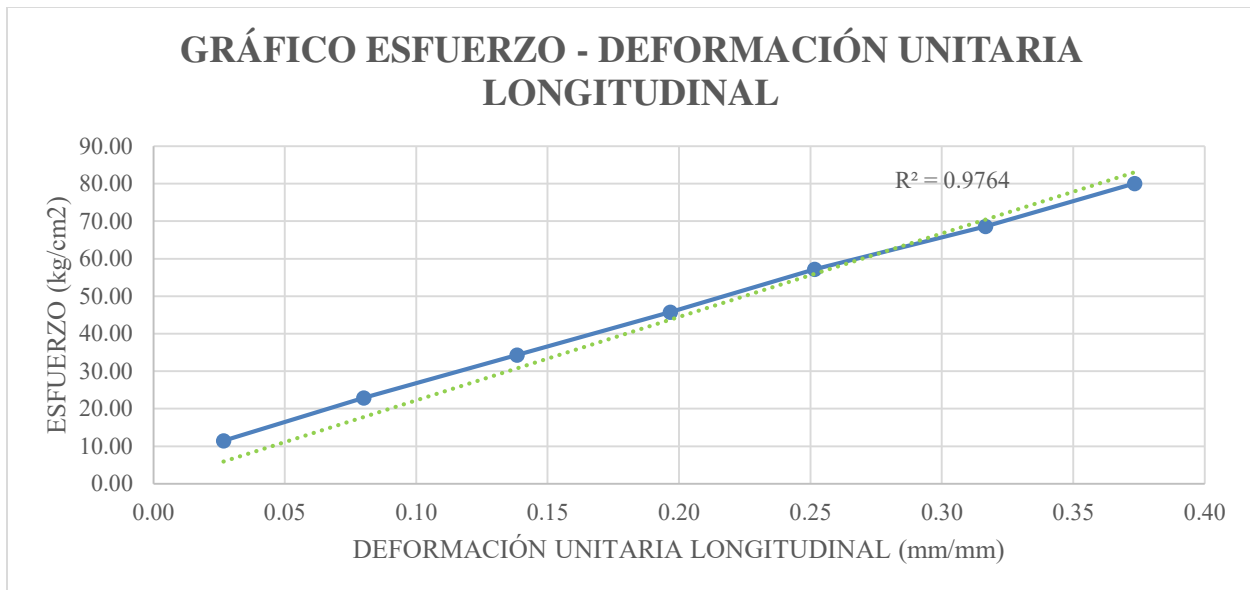


Figura D.19: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 19

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Deformación base	E1= 0.00005000 m/m
Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima	S2= 74.46 kg/cm2

Interpolación del Esfuerzo para una deformación de 0.00005 m/m

0.00002667 m/m	-	11.43 kg/cm2	
0.00005000 m/m	-	S1	
0.00008000 m/m	-	22.87 kg/cm2	S1=16.44 kg/cm2

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima.

68.60 kg/cm2	-	0.00031667 m/m	
74.46 kg/cm2	-	E2	
80.04 kg/cm2	-	0.00037333 m/m	E2=0.00034571 m/m

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$E = \frac{S2 - S1}{E2 - E1}$$

Módulo de Elasticidad E= 196227.01 kg/cm2

20) Ensayo Probeta 20

a) Toma de datos

Tabla D.58: Lectura de los diales 1 y 2 correspondientes al primer y segundo ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 20 y la lectura promedio

ENSAYO PROBETA 20					
CARGA C (KN)	LECTURA 1		LECTURA 2		LECTURA PROMEDIO Lp
	DIAL 1 L1	DIAL 2 L2	DIAL 1 L3	DIAL 2 L4	
20	5	6	5	5	5.25
40	14	14	15	14	14.25
60	25	23	24	24	24
80	30	33	33	33	32.25
100	41	42	40	39	40.5
120	48	52	52	50	50.5
140	60	60	60	61	60.25

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Tabla D.59: Datos para el ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 20

DIAMETRO SUPERIOR		DIAMETRO INFERIOR		DIAMETRO PROMEDIO Dp (cm)	AREA A (cm ²)	DISTANCIA ENTRE ANILLOS D (cm)	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
MEDIDA 1 D1 (cm)	MEDIDA 2 D2 (cm)	MEDIDA 1 D3 (cm)	MEDIDA 2 D4 (cm)				CARGA C (KN)	CARGA P (Kg)	f c (Kg/cm ²)
15.06	15.02	15.05	15.12	15.06	178.19	15.00	333.56	34013.11	190.88

Fuente: Elaboración Propia

Tabla D.60: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Modulo de Elasticidad de la Probeta 20

ENSAYO PROBETA 20				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
20	2039.40	11.43	0.0053	3.5000E-05
40	4078.80	22.87	0.0143	9.5000E-05
60	6118.20	34.30	0.0240	1.6000E-04
80	8157.60	45.73	0.0323	2.1500E-04
100	10197.00	57.17	0.0405	2.7000E-04
120	12236.40	68.60	0.0505	3.3667E-04
140	14275.80	80.04	0.0603	4.0167E-04

Fuente: Elaboración Propia

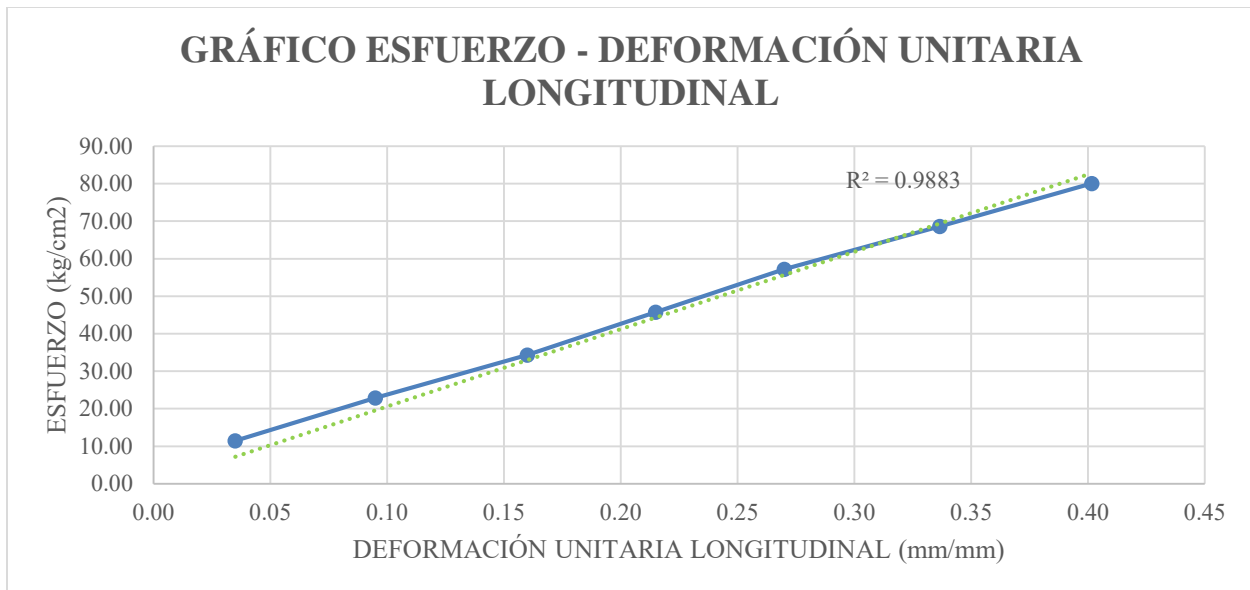


Figura D.20: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Longitudinal del ensayo de Modulo de Elasticidad Probeta 20

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Deformación base	E1= 0.00005000 m/m
Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima	S2= 76.35 kg/cm2

Interpolación del Esfuerzo para una deformación de 0.00005 m/m

0.00003500 m/m	-	11.43 kg/cm2	
0.00005000 m/m	-	S1	
0.00009500 m/m	-	22.87 kg/cm2	S1=14.29 kg/cm2

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima.

68.60 kg/cm2	-	0.00033667 m/m	
76.35 kg/cm2	-	E2	
80.04 kg/cm2	-	0.00040167 m/m	E2=0.00038073 m/m

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$E = \frac{S2 - S1}{E2 - E1}$$

Módulo de Elasticidad E= 187648.18 kg/cm2

E. MODULO DE POISSON

- **E.1 RESULTADOS Y PROCESAMIENTO DE DATOS DEL ENSAYO DE MÓDULO DE POISSON**

E.1 RESULTADOS Y PROCESAMIENTO DE DATOS DEL ENSAYO DE MÓDULO DE POISSON

1) Ensayo Probeta 1

a) Toma de datos

Tabla E.1: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 1

PROBETA 1					
CARGA C (KN)	ENSAYO 1 L1	ENSAYO 2 L2	LECTURA PROMEDIO Lp	DEF. EJE	DEF. EJE (mm)
15	0	0	0.00	0.00	0.0000
30	0	1	0.50	0.13	0.0001
45	6	5	5.50	1.38	0.0014
60	15	16	15.50	3.88	0.0039
75	25	23	24.00	6.00	0.0060
90	31	30	30.50	7.63	0.0076
105	37	38	37.50	9.38	0.0094
120	46	45	45.50	11.38	0.0114
135	54	52	53.00	13.25	0.0133
150	64	65	64.50	16.13	0.0161

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Del ensayo de módulo de elasticidad tenemos:

- Diámetro $D_p = 15.07 \text{ cm}$
- Área $A_p = 178.37 \text{ cm}^2$
- Resistencia a la Compresión $f_c = 196.26 \text{ kg/cm}^2$
- Deformación Longitudinal $E_1 = 0.00005 \text{ m/m}$
- Def. Long. al 40% de la Resistencia Ultima $E_2 = 0.00044 \text{ m/m}$

Tabla E.2: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 1

ENSAYO PROBETA 1				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DP (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
1				
5	1529.55	8.58	0.0000	0.00000000
30	3059.10	17.15	0.0001	0.00000083
45	4588.65	25.73	0.0014	0.00000912
60	6118.20	34.30	0.0039	0.00002571
75	7647.75	42.88	0.0060	0.00003981
90	9177.30	51.45	0.0076	0.00005060
105	10706.85	60.03	0.0094	0.00006221
120	12236.40	68.60	0.0114	0.00007548
135	13765.95	77.18	0.0133	0.00008792
150	15295.50	85.75	0.0161	0.00010700

Fuente: Elaboración Propia

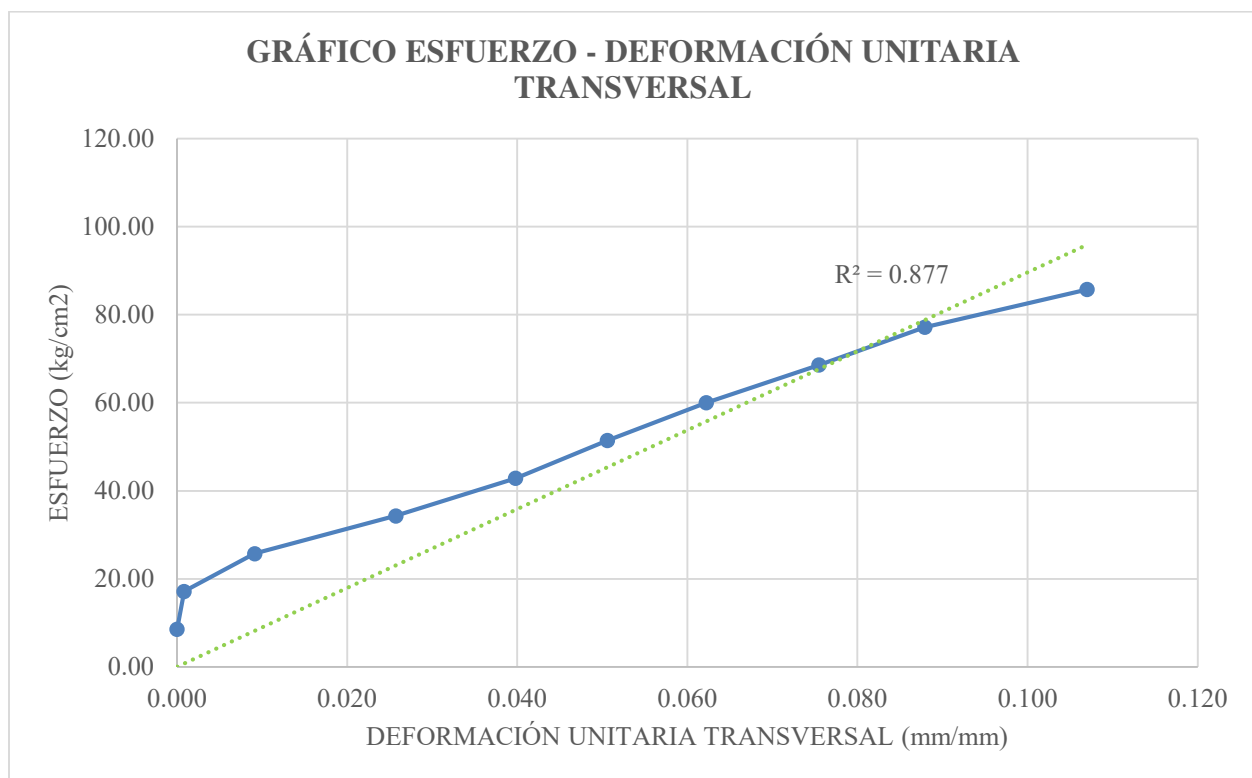


Figura E.1: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 1

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Esfuerzo para una Deformación Longitudinal de 0.05 mm/mm S1= 15.68 kg/cm²
Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima S2= 78.50 kg/cm²

Interpolación de la Deformación Unitaria para una Deformación Longitudinal de 0.00005 m/m:

08.58 kg/cm ²	-	0.00000000 m/m	
15.68 kg/cm ²	-	E2	
17.15 kg/cm ²	-	0.00000083 m/m	ET1=0.00000069 m/m

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima:

77.18 kg/cm ²	-	0.00008792 m/m	
79.16 kg/cm ²	-	E2	
85.75 kg/cm ²	-	0.00010700 m/m	ET2=0.00009087 m/m

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$\nu = \frac{ET2 - ET1}{E2 - E1}$$

$$E1 = 0.00005000 \text{ m/m}$$

$$ET1 = 0.00000069 \text{ m/m}$$

$$E2 = 0.00043960 \text{ m/m}$$

$$ET2 = 0.00009087 \text{ m/m}$$

Módulo de Poisson $\nu = 0.23$

2) Ensayo Probeta 2

a) Toma de datos

Tabla E.3: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 2

ENSAYO PROBETA 2					
CARGA C (KN)	ENSAYO 1 L1	ENSAYO 2 L2	LECTURA PROMEDIO	DEF. EJE	DEF. EJE (mm)
15	5	4	4.50	1.13	0.0011
30	9	10	9.50	2.38	0.0024
45	17	18	17.50	4.38	0.0044
60	24	26	25.00	6.25	0.0063
75	30	28	29.00	7.25	0.0073
90	38	37	37.50	9.38	0.0094
105	45	43	44.00	11.00	0.0110
120	52	51	51.50	12.88	0.0129
135	59	60	59.50	14.88	0.0149
150	67	65	66.00	16.50	0.0165

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Del ensayo de módulo de elasticidad tenemos:

- Diámetro $D_p = 15.05 \text{ cm}$
- Área $A_p = 177.95 \text{ cm}^2$
- Resistencia a la Compresión $f_c = 195.37 \text{ kg/cm}^2$
- Deformación Longitudinal $E_1 = 0.00005 \text{ m/m}$
- Def. Long. al 40% de la Resistencia Ultima $E_2 = 0.00040 \text{ m/m}$

Tabla E.4: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 2

ENSAYO PROBETA 2				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
15	1529.55	8.58	0.0011	0.00000747
30	3059.10	17.15	0.0024	0.00001578
45	4588.65	25.73	0.0044	0.00002906
60	6118.20	34.30	0.0063	0.00004152
75	7647.75	42.88	0.0073	0.00004816
90	9177.30	51.45	0.0094	0.00006228
105	10706.85	60.03	0.0110	0.00007308
120	12236.40	68.60	0.0129	0.00008553
135	13765.95	77.18	0.0149	0.00009882
150	15295.50	85.75	0.0165	0.00010962

Fuente: Elaboración Propia

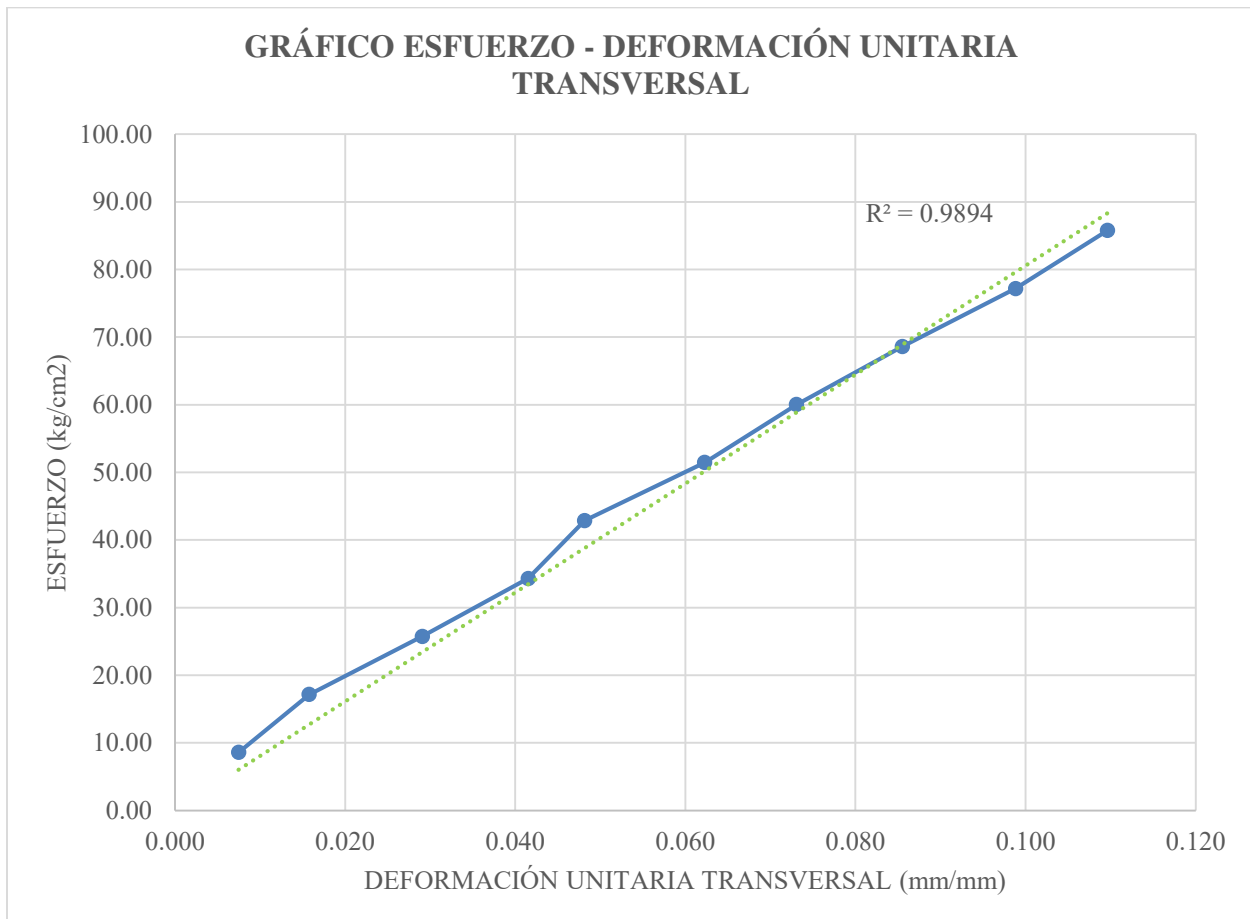


Figura E.2: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 2

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Esfuerzo para una Deformación Longitudinal de 0.05 mm/mm $S1= 14.61 \text{ kg/cm}^2$
Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima $S2= 78.15 \text{ kg/cm}^2$

Interpolación de la Deformación Unitaria para una Deformación Longitudinal de 0.00005 m/m:

08.58 kg/cm² - 0.00000747 m/m
14.61 kg/cm² - E2
17.15 kg/cm² - 0.00001578 m/m ET1=0.00001332 m/m

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima:

77.18 kg/cm² - 0.00009882 m/m
78.15 kg/cm² - E2
85.75 kg/cm² - 0.00010962 m/m ET2=0.00010004 m/m

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$v = \frac{ET2 - ET1}{E2 - E1}$$

$$E1 = 0.00005000 \text{ m/m}$$

$$ET1 = 0.00001332 \text{ m/m}$$

$$E2 = 0.00041012 \text{ m/m}$$

$$ET2 = 0.00010004 \text{ m/m}$$

Módulo de Poisson $v = 0.24$

3) Ensayo Probeta 3

a) Toma de datos

Tabla E.5: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 3

ENSAYO PROBETA 3					
CARGA C (KN)	ENSAYO 1 L1	ENSAYO 2 L2	LECTURA PROMEDIO Lp	DEF. EJE	DEF. EJE (mm)
15	3	5	4.00	1.00	0.0010
30	13	14	13.50	3.38	0.0034
45	22	24	23.00	5.75	0.0058
60	36	35	35.50	8.88	0.0089
75	50	48	49.00	12.25	0.0123
90	61	60	60.50	15.13	0.0151
105	71	73	72.00	18.00	0.0180
120	81	82	81.50	20.38	0.0204
135	91	89	90.00	22.50	0.0225
150	105	102	103.50	25.88	0.0259

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Del ensayo de módulo de elasticidad tenemos:

- Diámetro $D_p = 14.99 \text{ cm}$
- Área $A_p = 176.54 \text{ cm}^2$
- Resistencia a la Compresión $f_c = 184.76 \text{ kg/cm}^2$
- Deformación Longitudinal $E_1 = 0.00005 \text{ m/m}$
- Def. Long. al 40% de la Resistencia Ultima $E_2 = 0.00063 \text{ m/m}$

Tabla E.6: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 3

ENSAYO PROBETA 3				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
15	1529.55	8.58	0.0010	0.00000667
30	3059.10	17.15	0.0034	0.00002251
45	4588.65	25.73	0.0058	0.00003835
60	6118.20	34.30	0.0089	0.00005920
75	7647.75	42.88	0.0123	0.00008171
90	9177.30	51.45	0.0151	0.00010088
105	10706.85	60.03	0.0180	0.00012006
120	12236.40	68.60	0.0204	0.00013590
135	13765.95	77.18	0.0225	0.00015008
150	15295.50	85.75	0.0259	0.00017259

Fuente: Elaboración Propia

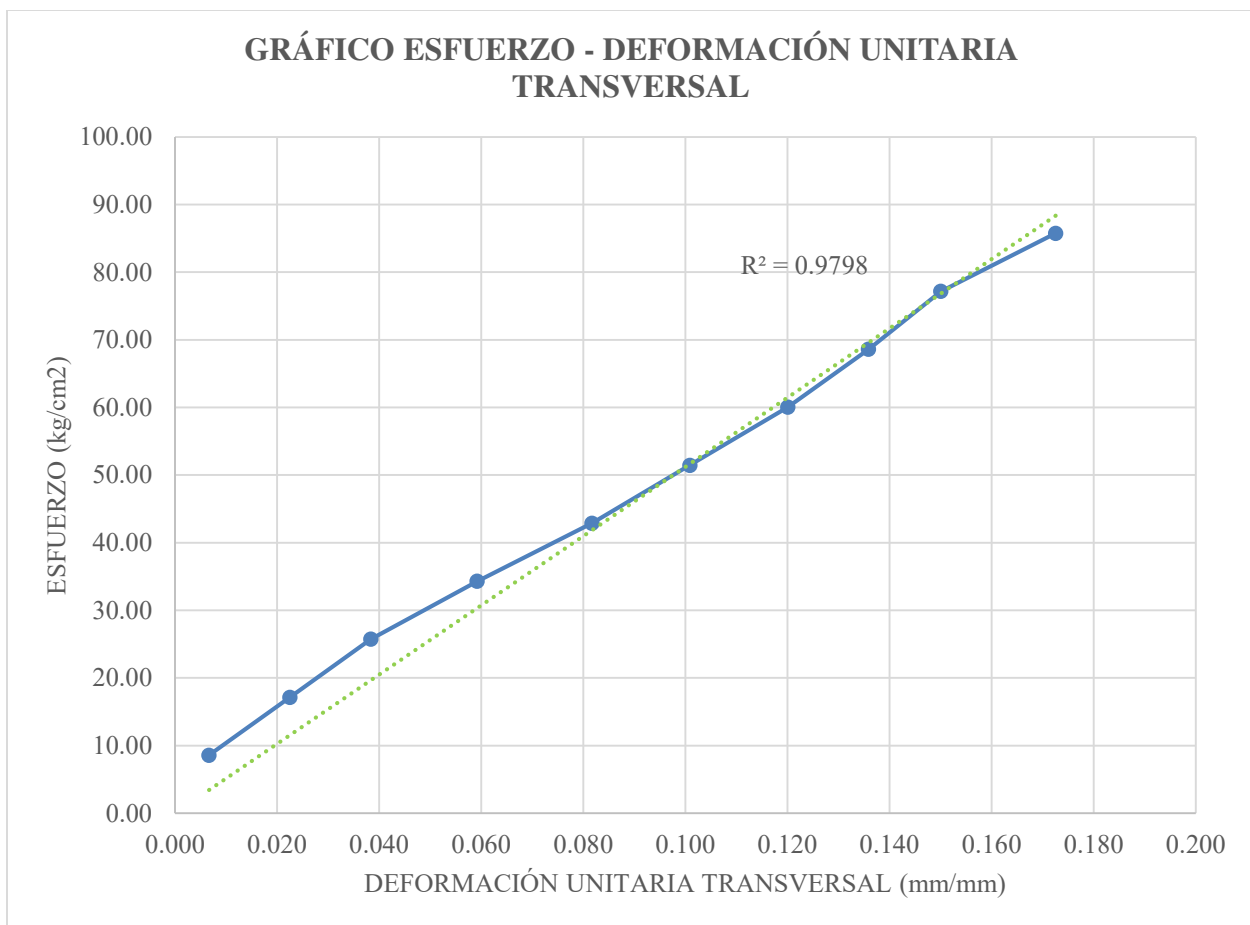


Figura E.3: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 3

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Esfuerzo para una Deformación Longitudinal de 0.05 mm/mm S1= 11.91 kg/cm²
 Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima S2= 73.90 kg/cm²

Interpolación de la Deformación Unitaria para una Deformación Longitudinal de 0.00005 m/m:

08.58 kg/cm ²	-	0.00000667 m/m	
11.91 kg/cm ²	-	E2	
17.15 kg/cm ²	-	0.00002251 m/m	ET1=0.00001283 m/m

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima:

68.60 kg/cm ²	-	0.00013590 m/m	
73.90 kg/cm ²	-	E2	
77.18 kg/cm ²	-	0.00015008 m/m	ET2=0.00014466 m/m

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$\nu = \frac{ET2 - ET1}{E2 - E1}$$

E1= 0.00005000 m/m

ET1= 0.00001283 m/m

E2= 0.00063241 m/m

ET2= 0.00014466 m/m

Módulo de Poisson $\nu= 0.23$

4) Ensayo Probeta 4

a) Toma de datos

Tabla E.7: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 4

ENSAYO PROBETA 4					
CARGA C (KN)	ENSAYO 1 L1	ENSAYO 2 L2	LECTURA PROMEDIO Lp	DEF. EJE	DEF. EJE (mm)
15	0	2	1.00	0.25	0.0003
30	4	5	4.50	1.13	0.0011
45	10	8	9.00	2.25	0.0023
60	18	16	17.00	4.25	0.0043
75	26	25	25.50	6.38	0.0064
90	35	37	36.00	9.00	0.0090
105	42	40	41.00	10.25	0.0103
120	50	48	49.00	12.25	0.0123
135	58	56	57.00	14.25	0.0143
150	66	68	67.00	16.75	0.0168

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Del ensayo de módulo de elasticidad tenemos:

- Diámetro $D_p = 15.02 \text{ cm}$
- Área $A_p = 177.07 \text{ cm}^2$
- Resistencia a la Compresión $f_c = 200.01 \text{ kg/cm}^2$
- Deformación Longitudinal $E_1 = 0.00005 \text{ m/m}$
- Def. Long. al 40% de la Resistencia Ultima $E_2 = 0.00036 \text{ m/m}$

Tabla E.8: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 4

ENSAYO PROBETA 4				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
15	1529.55	8.58	0.0003	0.00000167
30	3059.10	17.15	0.0011	0.00000749
45	4588.65	25.73	0.0023	0.00001499
60	6118.20	34.30	0.0043	0.00002831
75	7647.75	42.88	0.0064	0.00004246
90	9177.30	51.45	0.0090	0.00005994
105	10706.85	60.03	0.0103	0.00006827
120	12236.40	68.60	0.0123	0.00008159
135	13765.95	77.18	0.0143	0.00009491
150	15295.50	85.75	0.0168	0.00011156

Fuente: Elaboración Propia

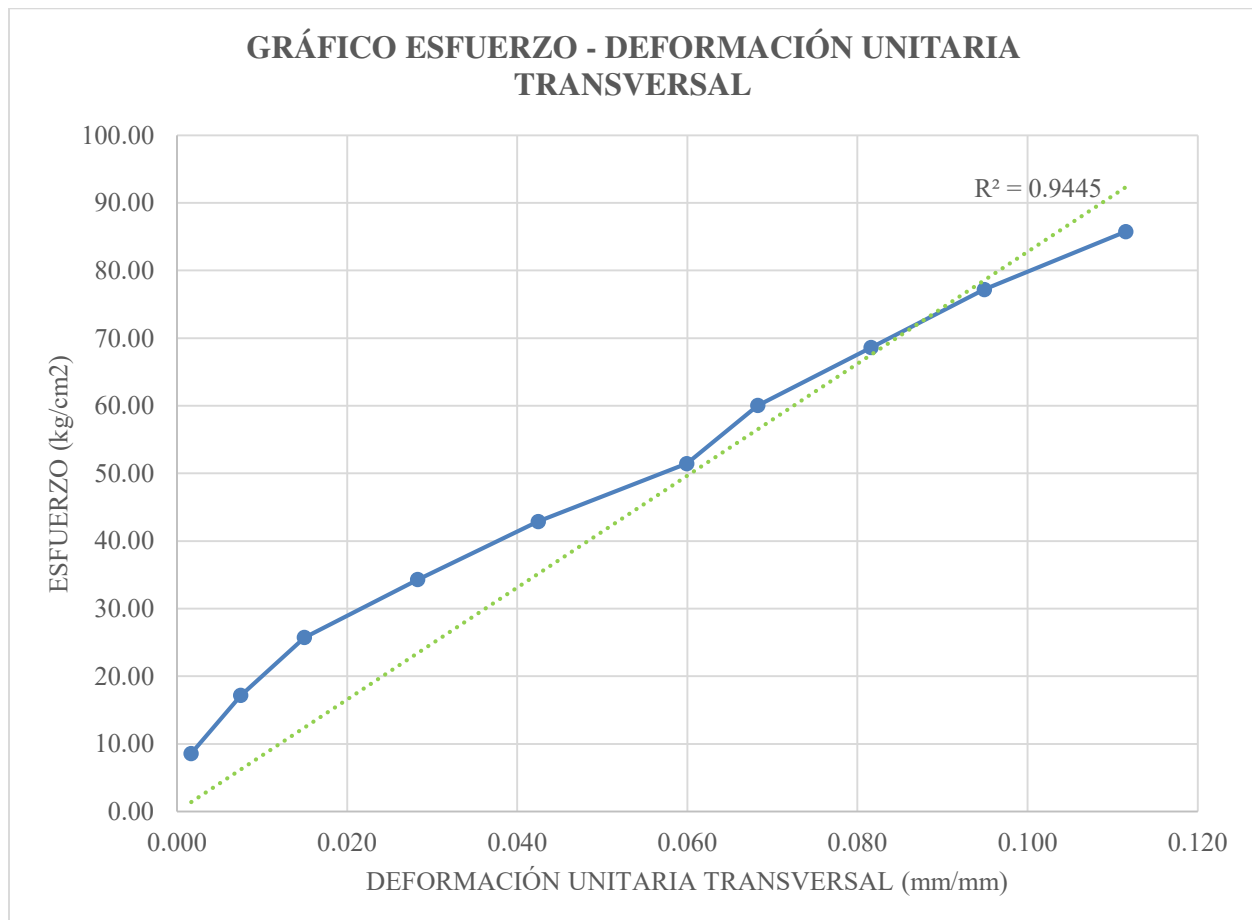


Figura E.4: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 4

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Esfuerzo para una Deformación Longitudinal de 0.05 mm/mm S1= 16.44 kg/cm²
Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima S2= 80.01 kg/cm²

Interpolación de la Deformación Unitaria para una Deformación Longitudinal de 0.00005 m/m:

08.58 kg/cm² - 0.00000000 m/m
16.44 kg/cm² - E2
17.15 kg/cm² - 0.00000083 m/m ET1=0.00000701 m/m

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima:

77.18 kg/cm² - 0.00009491 m/m
80.01 kg/cm² - E2
85.75 kg/cm² - 0.00011156 m/m ET2=0.00010040 m/m

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$\nu = \frac{ET2 - ET1}{E2 - E1}$$

E1= 0.00005000 m/m ET1= 0.00000701 m/m
E2= 0.00036652 m/m ET2= 0.00010040 m/m

Módulo de Poisson ν= 0.29

5) Ensayo Probeta 5

a) Toma de datos

Tabla E.9: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 5

ENSAYO PROBETA 5					
CARGA C (KN)	ENSAYO 1 L1	ENSAYO 2 L2	LECTURA PROMEDIO Lp	DEF. EJE	DEF. EJE (mm)
15	4	6	5.00	1.25	0.0013
30	9	8	8.50	2.13	0.0021
45	19	21	20.00	5.00	0.0050
60	27	25	26.00	6.50	0.0065
75	38	40	39.00	9.75	0.0098
90	47	45	46.00	11.50	0.0115
105	57	56	56.50	14.13	0.0141
120	67	65	66.00	16.50	0.0165
135	77	76	76.50	19.13	0.0191
150	85	86	85.50	21.38	0.0214

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Del ensayo de módulo de elasticidad tenemos:

- Diámetro $D_p = 15.05 \text{ cm}$
- Área $A_p = 177.78 \text{ cm}^2$
- Resistencia a la Compresión $f_c = 192.98 \text{ kg/cm}^2$
- Deformación Longitudinal $E_1 = 0.00005 \text{ m/m}$
- Def. Long. al 40% de la Resistencia Ultima $E_2 = 0.00038 \text{ m/m}$

Tabla E.10: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 5

ENSAYO PROBETA 5				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
15	1529.55	8.58	0.0013	0.00000831
30	3059.10	17.15	0.0021	0.00001412
45	4588.65	25.73	0.0050	0.00003323
60	6118.20	34.30	0.0065	0.00004320
75	7647.75	42.88	0.0098	0.00006481
90	9177.30	51.45	0.0115	0.00007644
105	10706.85	60.03	0.0141	0.00009389
120	12236.40	68.60	0.0165	0.00010967
135	13765.95	77.18	0.0191	0.00012712
150	15295.50	85.75	0.0214	0.00014207

Fuente: Elaboración Propia

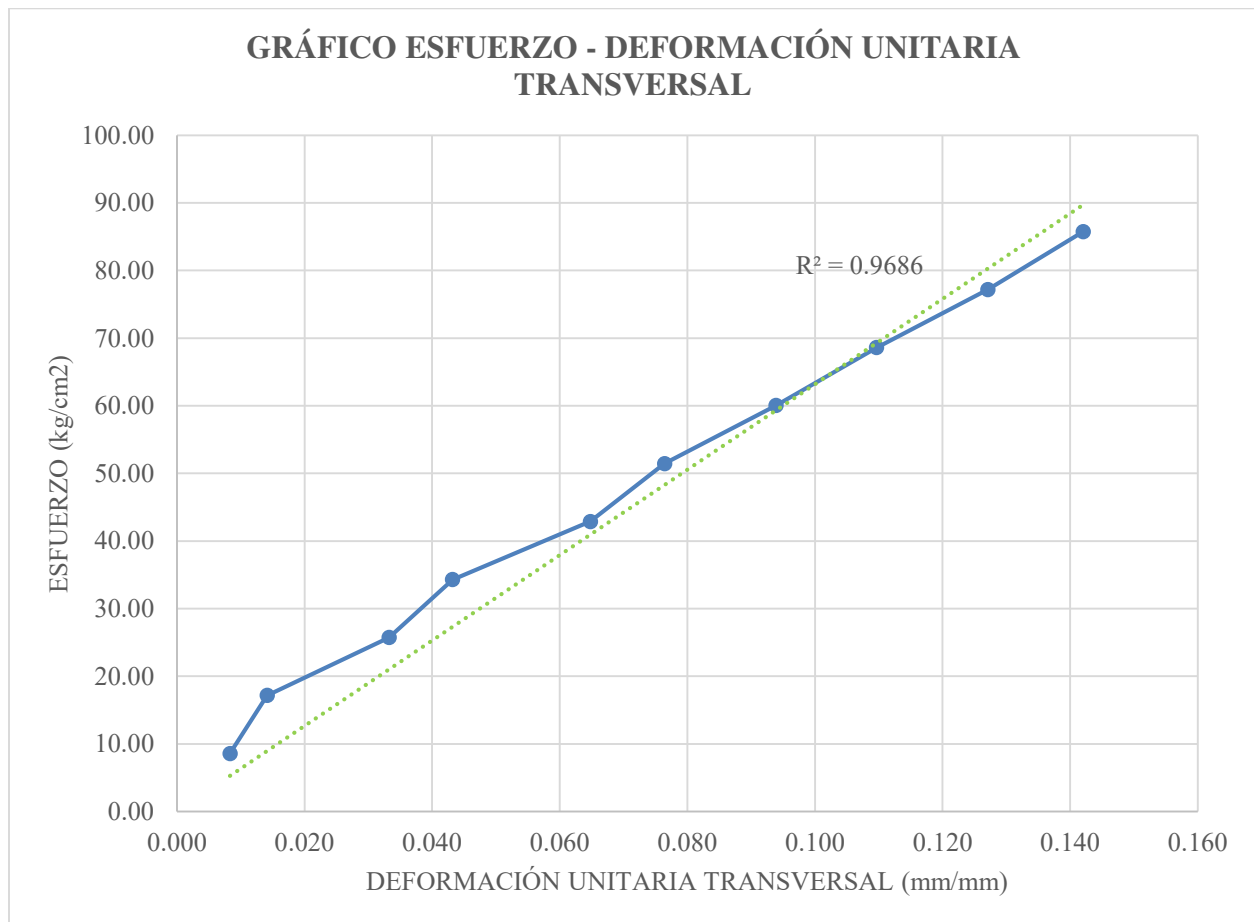


Figura E.5: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 5

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Esfuerzo para una Deformación Longitudinal de 0.05 mm/mm S1= 14.12 kg/cm²
Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima S2= 77.19 kg/cm²

Interpolación de la Deformación Unitaria para una Deformación Longitudinal de 0.00005 m/m:

08.58 kg/cm² - 0.00000831 m/m
14.12 kg/cm² - E2
17.15 kg/cm² - 0.00001412 m/m ET1=0.00001207 m/m

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima:

77.18 kg/cm² - 0.00012712 m/m
77.19 kg/cm² - E2
85.75 kg/cm² - 0.00014207 m/m ET2=0.00012715 m/m

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$\nu = \frac{ET2 - ET1}{E2 - E1}$$

$$E1 = 0.00005000 \text{ m/m}$$

$$ET1 = 0.00001207 \text{ m/m}$$

$$E2 = 0.00038175 \text{ m/m}$$

$$ET2 = 0.00012715 \text{ m/m}$$

Módulo de Poisson $\nu = 0.35$

6) Ensayo Probeta 6

a) Toma de datos

Tabla E.11: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 6

ENSAYO PROBETA 6					
CARGA C (KN)	ENSAYO 1 L1	ENSAYO 2 L2	LECTURA PROMEDIO Lp	DEF. EJE	DEF. EJE (mm)
15	1	1	1.00	0.25	0.0003
30	1	2	1.50	0.38	0.0004
45	5	7	6.00	1.50	0.0015
60	13	15	14.00	3.50	0.0035
75	26	27	26.50	6.63	0.0066
90	30	29	29.50	7.38	0.0074
105	36	37	36.50	9.13	0.0091
120	47	47	47.00	11.75	0.0118
135	54	55	54.50	13.63	0.0136
150	66	64	65.00	16.25	0.0163

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Del ensayo de módulo de elasticidad tenemos:

- Diámetro $D_p = 15.02 \text{ cm}$
- Área $A_p = 177.19 \text{ cm}^2$
- Resistencia a la Compresión $f_c = 198.68 \text{ kg/cm}^2$
- Deformación Longitudinal $E_1 = 0.00005 \text{ m/m}$
- Def. Long. al 40% de la Resistencia Ultima $E_2 = 0.00044 \text{ m/m}$

Tabla E.12: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 6

ENSAYO PROBETA 6				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
15	1529.55	8.58	0.0003	0.00000166
30	3059.10	17.15	0.0004	0.00000250
45	4588.65	25.73	0.0015	0.00000999
60	6118.20	34.30	0.0035	0.00002330
75	7647.75	42.88	0.0066	0.00004411
90	9177.30	51.45	0.0074	0.00004910
105	10706.85	60.03	0.0091	0.00006075
120	12236.40	68.60	0.0118	0.00007823
135	13765.95	77.18	0.0136	0.00009071
150	15295.50	85.75	0.0163	0.00010819

Fuente: Elaboración Propia

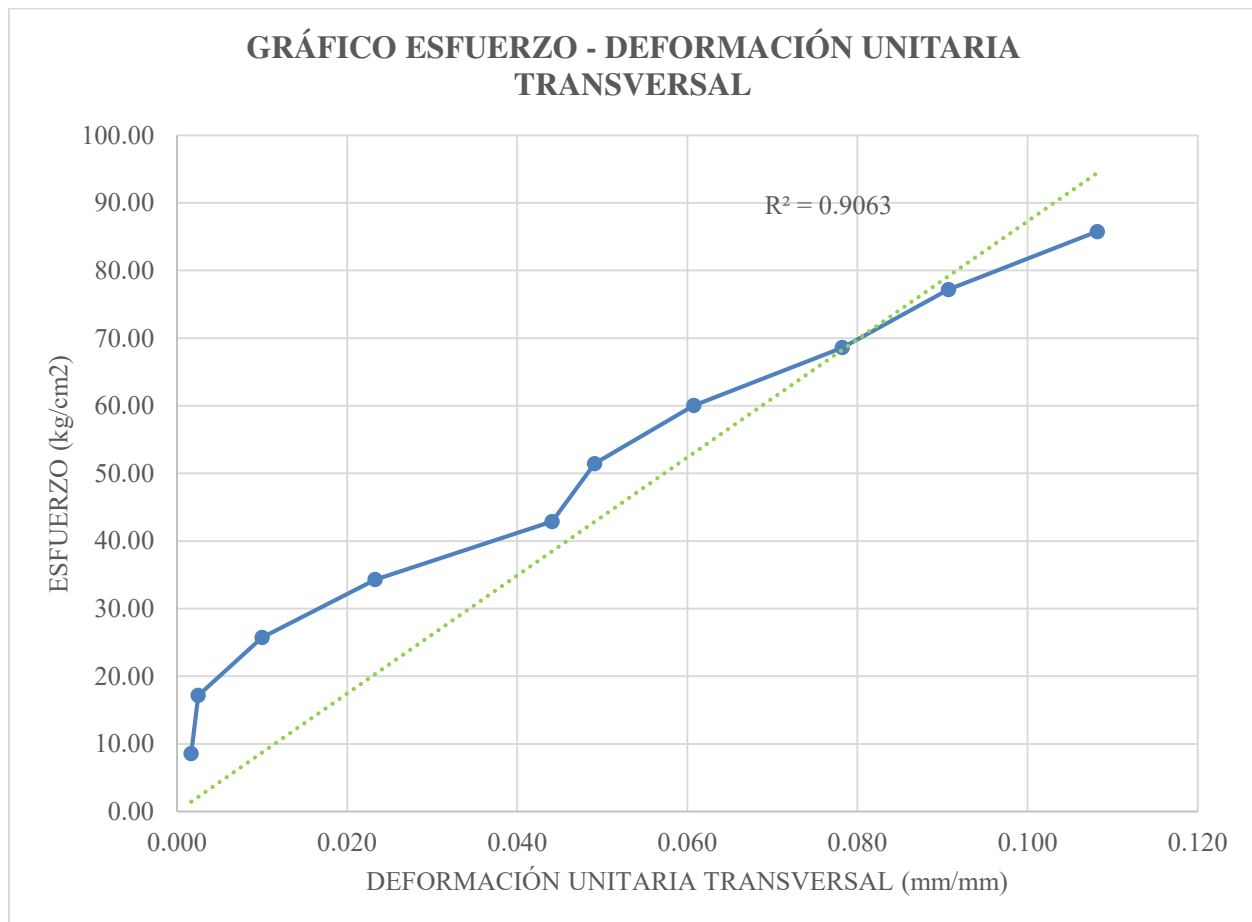


Figura E.6: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 6

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Esfuerzo para una Deformación Longitudinal de 0.05 mm/mm S1= 16.33 kg/cm²
 Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima S2= 79.47 kg/cm²

Interpolación de la Deformación Unitaria para una Deformación Longitudinal de 0.00005 m/m:

08.58 kg/cm ²	-	0.00000166 m/m	
16.33 kg/cm ²	-	E2	
17.15 kg/cm ²	-	0.00000250 m/m	ET1=0.00000242 m/m

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima:

77.18 kg/cm ²	-	0.00009071 m/m	
79.47 kg/cm ²	-	E2	
85.75 kg/cm ²	-	0.00010819 m/m	ET2=0.00009539 m/m

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$\nu = \frac{ET2 - ET1}{E2 - E1}$$

$$E1 = 0.00005000 \text{ m/m}$$

$$ET1 = 0.00000242 \text{ m/m}$$

$$E2 = 0.00043879 \text{ m/m}$$

$$ET2 = 0.00009539 \text{ m/m}$$

Módulo de Poisson $\nu = 0.24$

7) Ensayo Probeta 7

a) Toma de datos

Tabla E.13: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 7

ENSAYO PROBETA 7					
CARGA C (KN)	ENSAYO 1 L1	ENSAYO 2 L2	LECTURA PROMEDIO Lp	DEF. EJE	DEF. EJE (mm)
15	4	4	4.00	1.00	0.0010
30	8	7	7.50	1.88	0.0019
45	16	17	16.50	4.13	0.0041
60	25	27	26.00	6.50	0.0065
75	29	28	28.50	7.13	0.0071
90	37	35	36.00	9.00	0.0090
105	44	45	44.50	11.13	0.0111
120	54	56	55.00	13.75	0.0138
135	60	58	59.00	14.75	0.0148
150	66	63	64.50	16.13	0.0161

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Del ensayo de módulo de elasticidad tenemos:

- Diámetro $D_p = 15.04 \text{ cm}$
- Área $A_p = 177.54 \text{ cm}^2$
- Resistencia a la Compresión $f_c = 193.61 \text{ kg/cm}^2$
- Deformación Longitudinal $E_1 = 0.00005 \text{ m/m}$
- Def. Long. al 40% de la Resistencia Ultima $E_2 = 0.00042 \text{ m/m}$

Tabla E.14: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 7

ENSAYO PROBETA 7				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
15	1529.55	8.58	0.0010	0.00000665
30	3059.10	17.15	0.0019	0.00001247
45	4588.65	25.73	0.0041	0.00002744
60	6118.20	34.30	0.0065	0.00004323
75	7647.75	42.88	0.0071	0.00004739
90	9177.30	51.45	0.0090	0.00005986
105	10706.85	60.03	0.0111	0.00007399
120	12236.40	68.60	0.0138	0.00009145
135	13765.95	77.18	0.0148	0.00009810
150	15295.50	85.75	0.0161	0.00010725

Fuente: Elaboración Propia

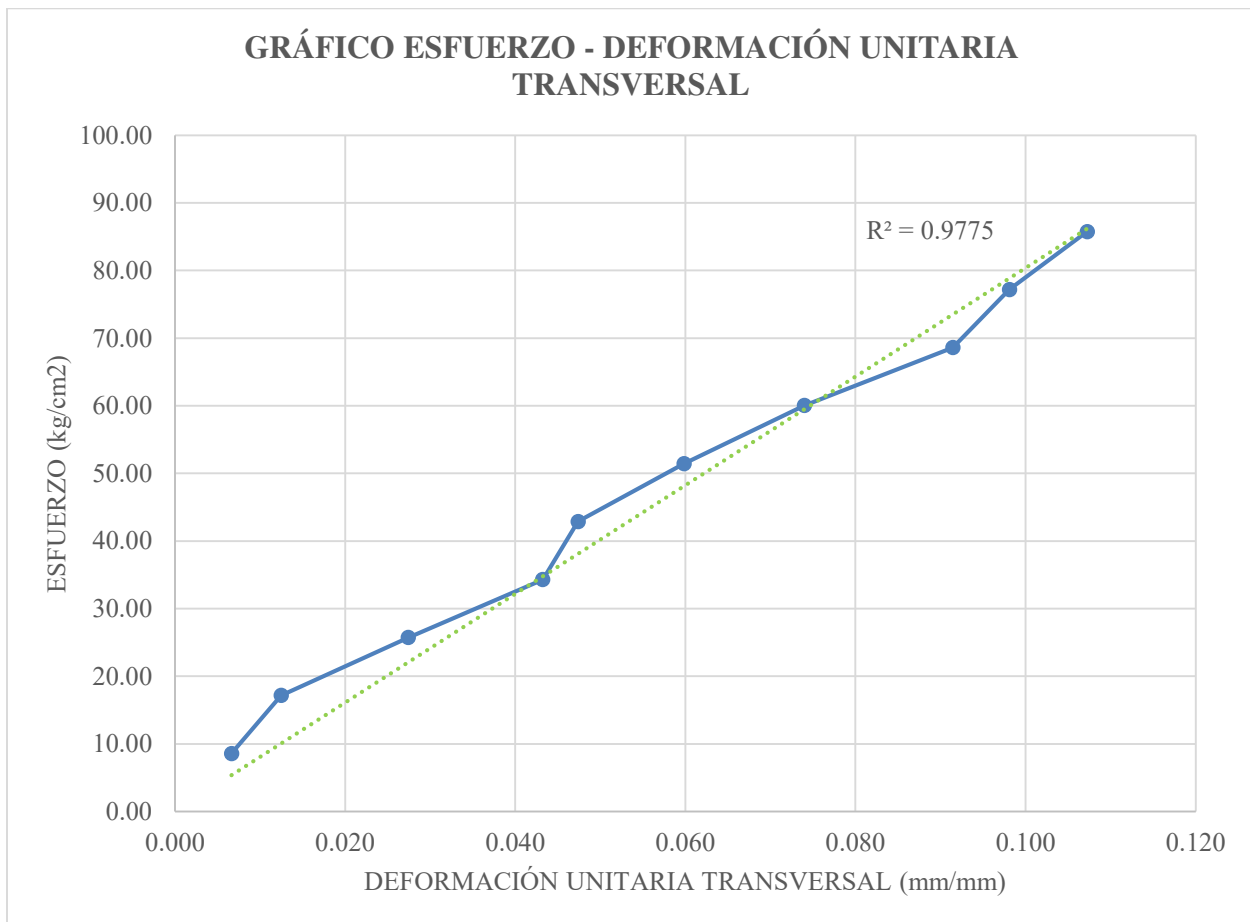


Figura E.7: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 7

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Esfuerzo para una Deformación Longitudinal de 0.05 mm/mm S1= 13.72 kg/cm²
Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima S2= 77.45 kg/cm²

Interpolación de la Deformación Unitaria para una Deformación Longitudinal de 0.00005 m/m:

08.58 kg/cm² - 0.00000665 m/m
13.62 kg/cm² - E2
17.15 kg/cm² - 0.00001247 m/m ET1=0.00001014 m/m

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima:

77.18 kg/cm² - 0.00009810 m/m
77.45 kg/cm² - E2
85.75 kg/cm² - 0.00010725 m/m ET2=0.00009839 m/m

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$\nu = \frac{ET2 - ET1}{E2 - E1}$$

E1= 0.00005000 m/m

ET1= 0.00001014 m/m

E2= 0.00041852 m/m

ET2= 0.00009839 m/m

Módulo de Poisson $\nu = 0.24$

8) Ensayo Probeta 8

a) Toma de datos

Tabla E.15: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 8

ENSAYO PROBETA 8					
CARGA C (KN)	ENSAYO 1 L1	ENSAYO 2 L2	LECTURA PROMEDIO Lp	DEF. EJE	DEF. EJE (mm)
15	4	5	4.50	1.13	0.0011
30	12	14	13.00	3.25	0.0033
45	21	23	22.00	5.50	0.0055
60	37	36	36.50	9.13	0.0091
75	48	49	48.50	12.13	0.0121
90	60	62	61.00	15.25	0.0153
105	72	74	73.00	18.25	0.0183
120	82	81	81.50	20.38	0.0204
135	89	92	90.50	22.63	0.0226
150	103	104	103.50	25.88	0.0259

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Del ensayo de módulo de elasticidad tenemos:

- Diámetro $D_p = 15.05 \text{ cm}$
- Área $A_p = 177.95 \text{ cm}^2$
- Resistencia a la Compresión $f_c = 183.74 \text{ kg/cm}^2$
- Deformación Longitudinal $E_1 = 0.00005 \text{ m/m}$
- Def. Long. al 40% de la Resistencia Ultima $E_2 = 0.00062 \text{ m/m}$

Tabla E.16: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 8

ENSAYO PROBETA 8				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
15	1529.55	8.58	0.0011	0.00000747
30	3059.10	17.15	0.0033	0.00002159
45	4588.65	25.73	0.0055	0.00003654
60	6118.20	34.30	0.0091	0.00006062
75	7647.75	42.88	0.0121	0.00008055
90	9177.30	51.45	0.0153	0.00010131
105	10706.85	60.03	0.0183	0.00012124
120	12236.40	68.60	0.0204	0.00013536
135	13765.95	77.18	0.0226	0.00015031
150	15295.50	85.75	0.0259	0.00017190

Fuente: Elaboración Propia

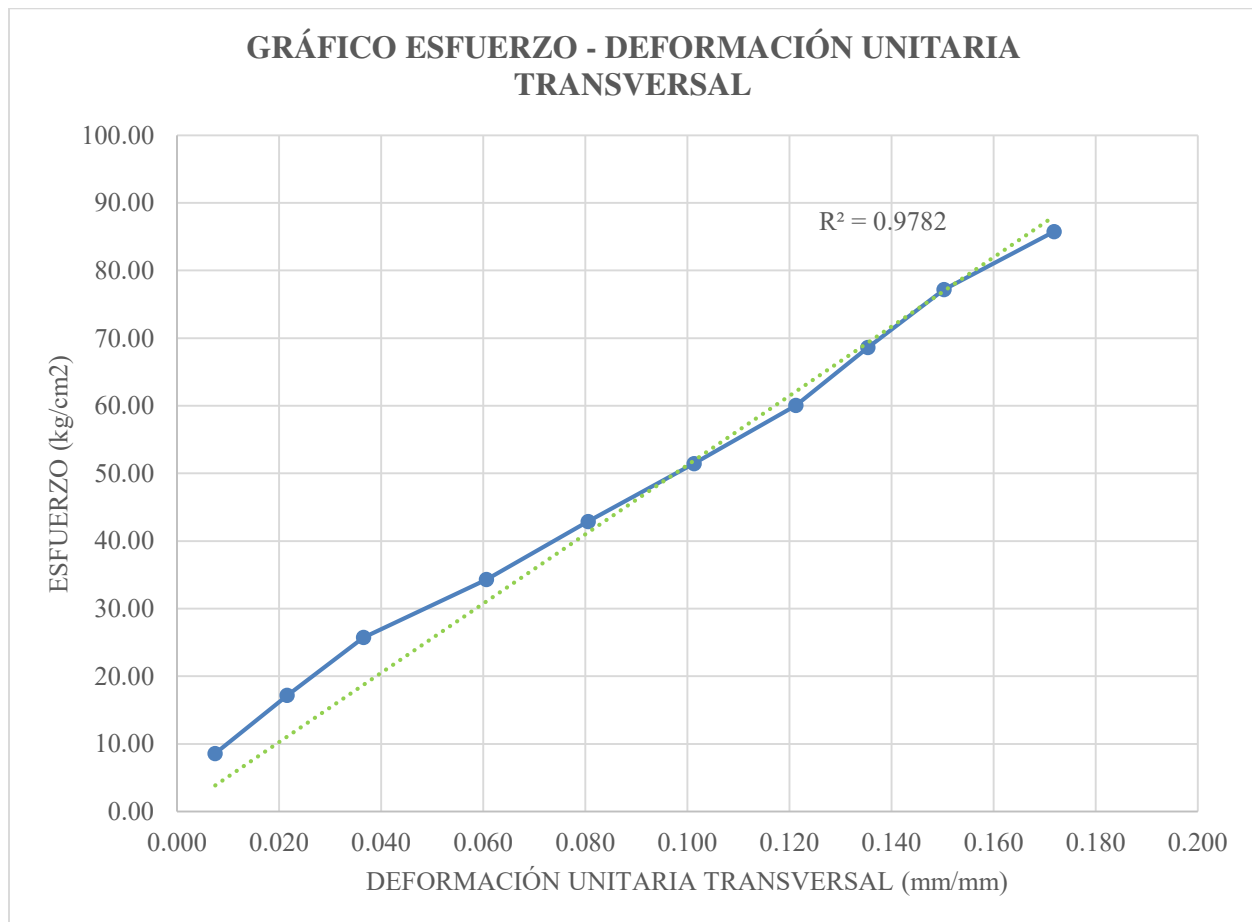


Figura E.8: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 8

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Esfuerzo para una Deformación Longitudinal de 0.05 mm/mm S1= 11.92 kg/cm²
Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima S2= 73.49 kg/cm²

Interpolación de la Deformación Unitaria para una Deformación Longitudinal de 0.00005 m/m:

08.58 kg/cm ²	-	0.00000747 m/m	
11.92 kg/cm ²	-	E2	
17.15 kg/cm ²	-	0.00002159 m/m	ET1=0.00001298 m/m

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima:

68.60 kg/cm ²	-	0.00013536 m/m	
73.49 kg/cm ²	-	E2	
79.18 kg/cm ²	-	0.00015031 m/m	ET2=0.00014389 m/m

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$\nu = \frac{ET2 - ET1}{E2 - E1}$$

$$E1 = 0.00005000 \text{ m/m}$$

$$ET1 = 0.00001298 \text{ m/m}$$

$$E2 = 0.00062466 \text{ m/m}$$

$$ET2 = 0.00014389 \text{ m/m}$$

Módulo de Poisson $\nu = 0.23$

9) Ensayo Probeta 9

a) Toma de datos

Tabla E.17: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 9

ENSAYO PROBETA 9					
CARGA C (KN)	ENSAYO 1 L1	ENSAYO 2 L2	LECTURA PROMEDIO Lp	DEF. EJE	DEF. EJE (mm)
15	2	0	1.00	0.25	0.0003
30	6	4	5.00	1.25	0.0013
45	8	10	9.00	2.25	0.0023
60	19	15	17.00	4.25	0.0043
75	24	25	24.50	6.13	0.0061
90	35	33	34.00	8.50	0.0085
105	41	43	42.00	10.50	0.0105
120	52	50	51.00	12.75	0.0128
135	57	57	57.00	14.25	0.0143
150	68	70	69.00	17.25	0.0173

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Del ensayo de módulo de elasticidad tenemos:

- Diámetro $D_p = 15.07 \text{ cm}$
- Área $A_p = 178.25 \text{ cm}^2$
- Resistencia a la Compresión $f_c = 193.03 \text{ kg/cm}^2$
- Deformación Longitudinal $E_1 = 0.00005 \text{ m/m}$
- Def. Long. al 40% de la Resistencia Ultima $E_2 = 0.00035 \text{ m/m}$

Tabla E.18: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 9

ENSAYO PROBETA 9				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
15	1529.55	8.58	0.0003	0.00000166
30	3059.10	17.15	0.0013	0.00000830
45	4588.65	25.73	0.0023	0.00001494
60	6118.20	34.30	0.0043	0.00002821
75	7647.75	42.88	0.0061	0.00004066
90	9177.30	51.45	0.0085	0.00005642
105	10706.85	60.03	0.0105	0.00006970
120	12236.40	68.60	0.0128	0.00008463
135	13765.95	77.18	0.0143	0.00009459
150	15295.50	85.75	0.0173	0.00011450

Fuente: Elaboración Propia

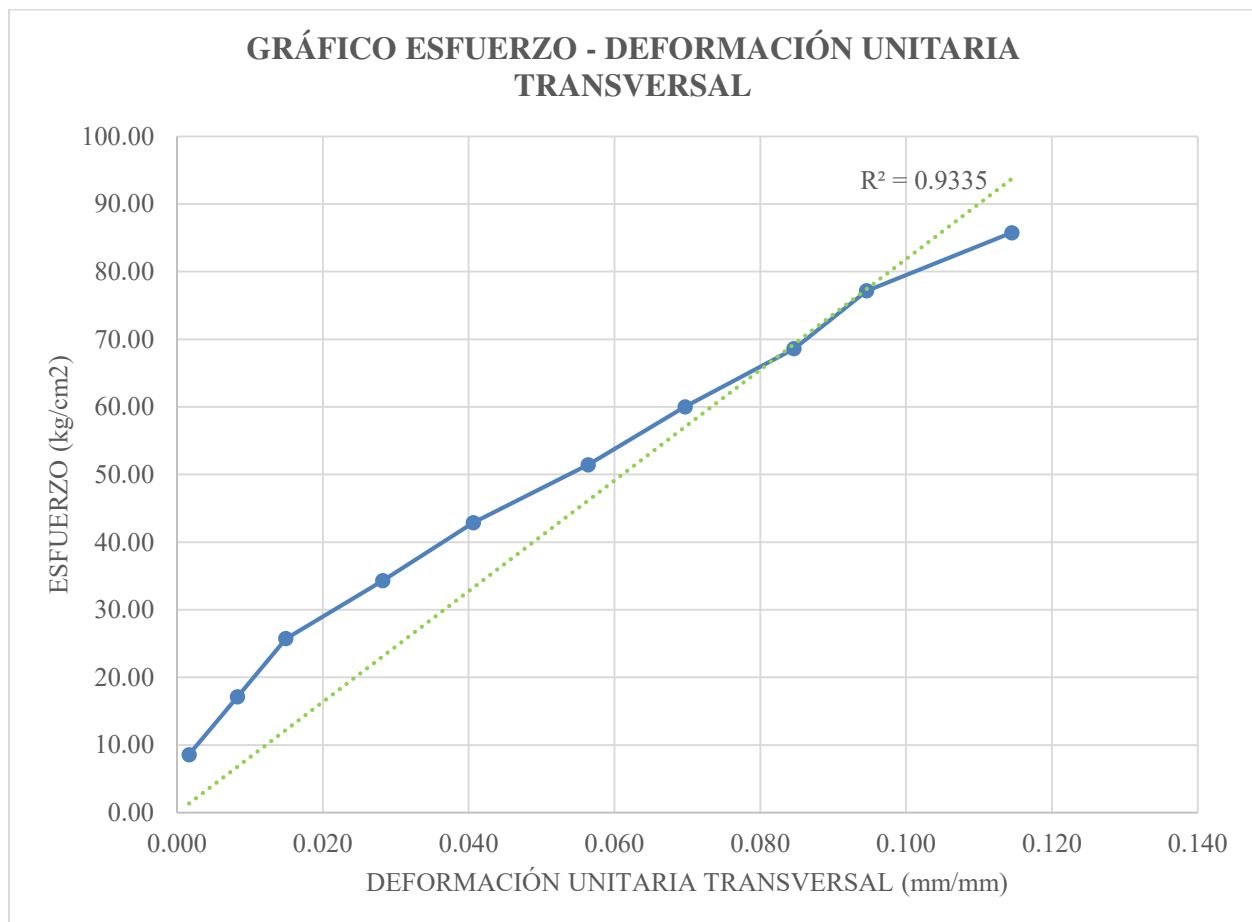


Figura E.9: Gráfico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 9

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Esfuerzo para una Deformación Longitudinal de 0.05 mm/mm S1= 16.63 kg/cm²
 Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima S2= 77.21 kg/cm²

Interpolación de la Deformación Unitaria para una Deformación Longitudinal de 0.00005 m/m:

08.58 kg/cm ²	-	0.00000166 m/m	
16.63 kg/cm ²	-	E2	
17.15 kg/cm ²	-	0.00000830 m/m	ET1=0.00000790 m/m

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima:

77.18 kg/cm ²	-	0.00009459 m/m	
77.21 kg/cm ²	-	E2	
85.75 kg/cm ²	-	0.00011450 m/m	ET2=0.00009467 m/m

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$v = \frac{ET2 - ET1}{E2 - E1}$$

E1= 0.00005000 m/m

ET1= 0.00000790 m/m

E2= 0.00034847 m/m

ET2= 0.00009467 m/m

Módulo de Poisson v= 0.29

10) Ensayo Probeta 10

a) Toma de datos

Tabla E.19: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 10

ENSAYO PROBETA 10					
CARGA C (KN)	ENSAYO 1 L1	ENSAYO 2 L2	LECTURA PROMEDIO Lp	DEF. EJE	DEF. EJE (mm)
15	4	4	4.00	1.00	0.0010
30	10	5	7.50	1.88	0.0019
45	18	10	14.00	3.50	0.0035
60	26	15	20.50	5.13	0.0051
75	39	27	33.00	8.25	0.0083
90	44	35	39.50	9.88	0.0099
105	57	41	49.00	12.25	0.0123
120	67	48	57.50	14.38	0.0144
135	79	59	69.00	17.25	0.0173
150	87	67	77.00	19.25	0.0193

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Del ensayo de módulo de elasticidad tenemos:

- Diámetro $D_p = 15.03 \text{ cm}$
- Área $A_p = 177.42 \text{ cm}^2$
- Resistencia a la Compresión $f_c = 188.01 \text{ kg/cm}^2$
- Deformación Longitudinal $E_1 = 0.00005 \text{ m/m}$
- Def. Long. al 40% de la Resistencia Ultima $E_2 = 0.00037 \text{ m/m}$

Tabla E.20: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 10

ENSAYO PROBETA 10				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
15	1529.55	8.58	0.0010	0.00000665
30	3059.10	17.15	0.0019	0.00001248
45	4588.65	25.73	0.0035	0.00002329
60	6118.20	34.30	0.0051	0.00003410
75	7647.75	42.88	0.0083	0.00005489
90	9177.30	51.45	0.0099	0.00006570
105	10706.85	60.03	0.0123	0.00008150
120	12236.40	68.60	0.0144	0.00009564
135	13765.95	77.18	0.0173	0.00011477
150	15295.50	85.75	0.0193	0.00012808

Fuente: Elaboración Propia

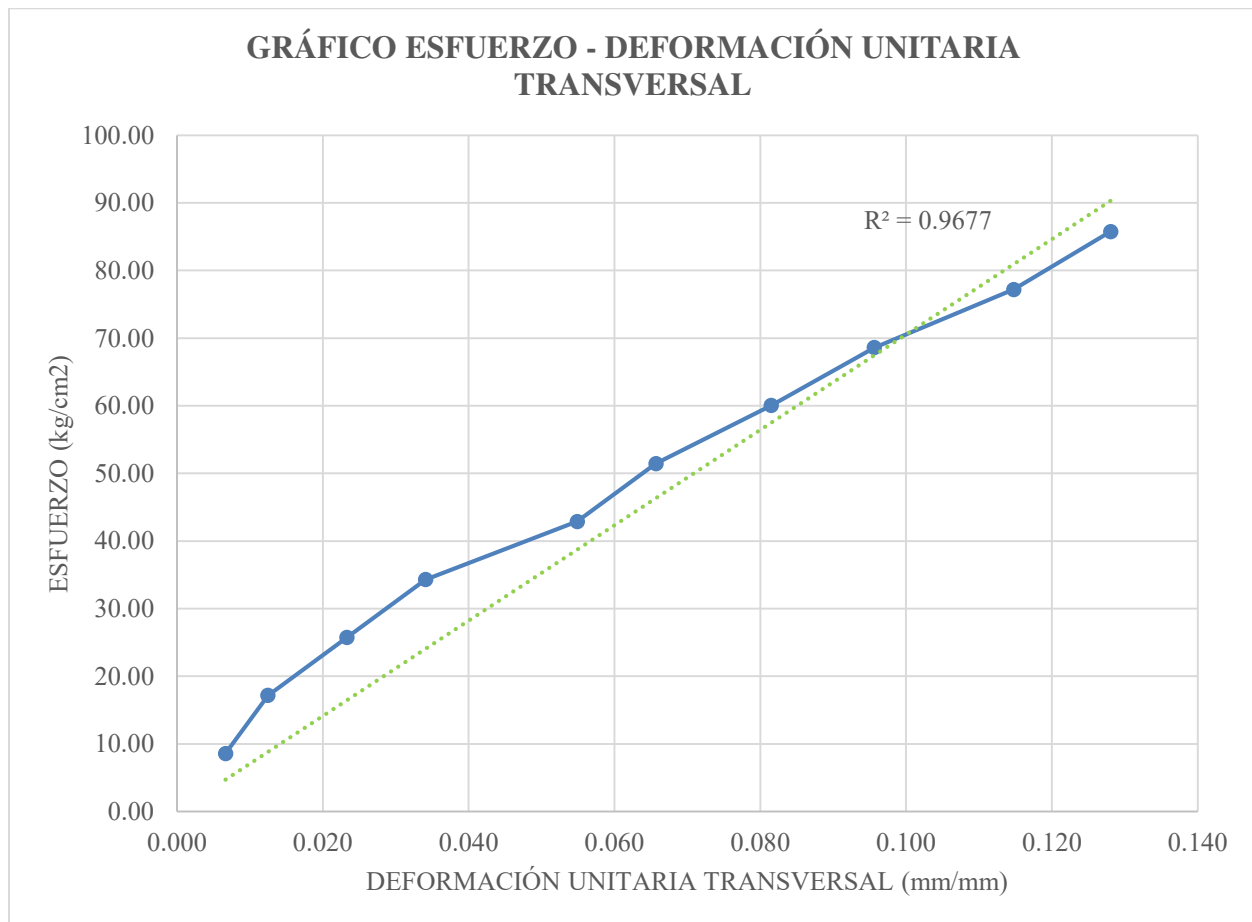


Figura E.10: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 10

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Esfuerzo para una Deformación Longitudinal de 0.05 mm/mm $S_1 = 14.05 \text{ kg/cm}^2$
Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima $S_2 = 75.20 \text{ kg/cm}^2$

Interpolación de la Deformación Unitaria para una Deformación Longitudinal de 0.00005 m/m:

08.58 kg/cm² - 0.00000665 m/m
14.05 kg/cm² - E2
17.15 kg/cm² - 0.00001248 m/m ET1=0.00001037 m/m

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima:

68.60 kg/cm² - 0.00009564 m/m
75.20 kg/cm² - E2
77.18 kg/cm² - 0.00011477 m/m ET2=0.00011037 m/m

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$\nu = \frac{ET_2 - ET_1}{E_2 - E_1}$$

$E_1 = 0.00005000 \text{ m/m}$
 $E_2 = 0.00037157 \text{ m/m}$

$ET_1 = 0.00001037 \text{ m/m}$
 $ET_2 = 0.00011037 \text{ m/m}$

Módulo de Poisson $\nu = 0.31$

11) Ensayo Probeta 11

a) Toma de datos

Tabla E.21: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 11

ENSAYO PROBETA 11					
CARGA C (KN)	ENSAYO 1 L1	ENSAYO 2 L2	LECTURA PROMEDIO Lp	DEF. EJE	DEF. EJE (mm)
15	0	1	0.50	0.13	0.0001
30	1	1	1.00	0.25	0.0003
45	4	5	4.50	1.13	0.0011
60	12	14	13.00	3.25	0.0033
75	24	24	24.00	6.00	0.0060
90	31	30	30.50	7.63	0.0076
105	35	36	35.50	8.88	0.0089
120	46	45	45.50	11.38	0.0114
135	56	56	56.00	14.00	0.0140
150	67	65	66.00	16.50	0.0165

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Del ensayo de módulo de elasticidad tenemos:

- Diámetro $D_p = 15.05 \text{ cm}$
- Área $A_p = 177.95 \text{ cm}^2$
- Resistencia a la Compresión $f_c = 192.09 \text{ kg/cm}^2$
- Deformación Longitudinal $E_1 = 0.00005 \text{ m/m}$
- Def. Long. al 40% de la Resistencia Ultima $E_2 = 0.00043 \text{ m/m}$

Tabla E.22: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 11

ENSAYO PROBETA 11				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
15	1529.55	8.58	0.0001	0.00000083
30	3059.10	17.15	0.0003	0.00000166
45	4588.65	25.73	0.0011	0.00000747
60	6118.20	34.30	0.0033	0.00002159
75	7647.75	42.88	0.0060	0.00003986
90	9177.30	51.45	0.0076	0.00005066
105	10706.85	60.03	0.0089	0.00005896
120	12236.40	68.60	0.0114	0.00007557
135	13765.95	77.18	0.0140	0.00009301
150	15295.50	85.75	0.0165	0.00010962

Fuente: Elaboración Propia

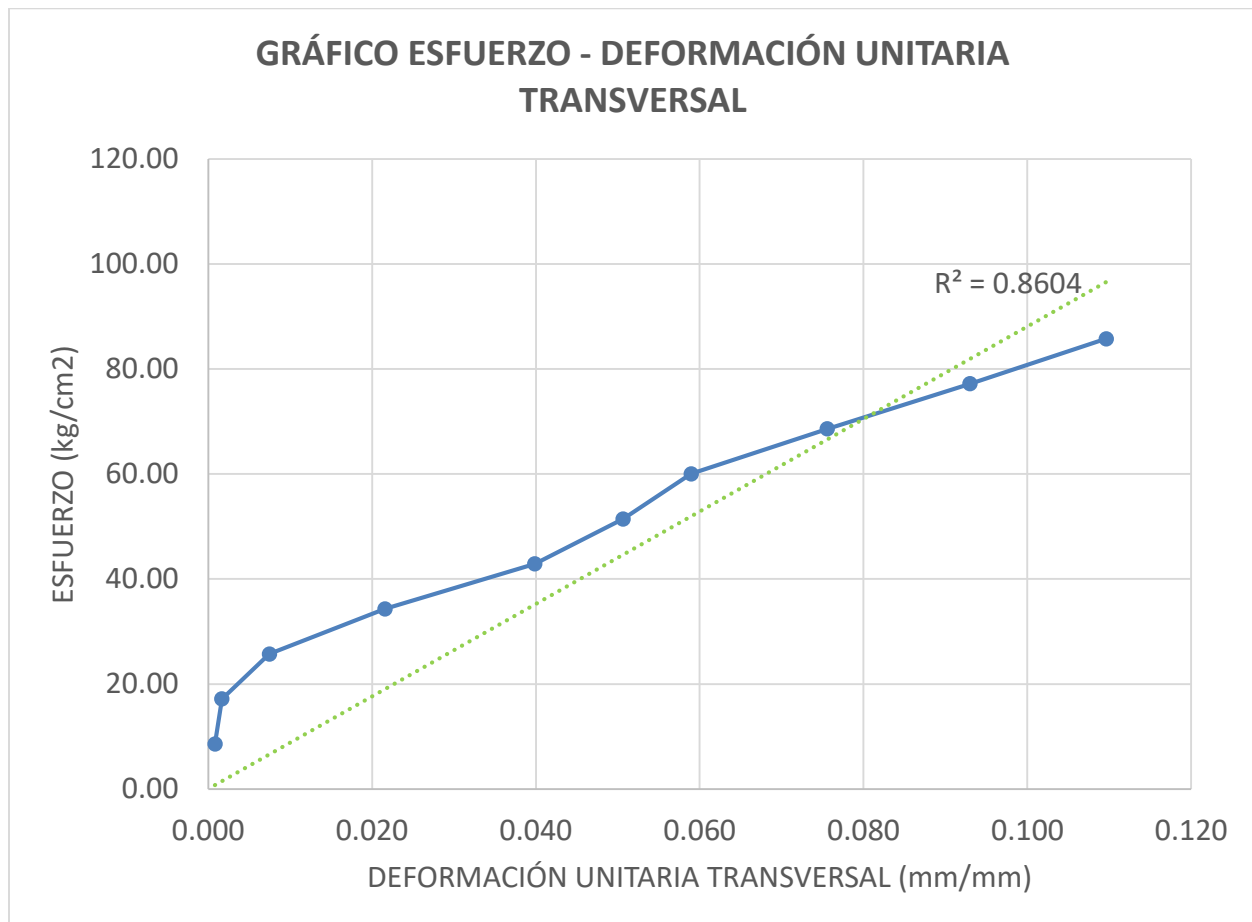


Figura E.11: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 11

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Esfuerzo para una Deformación Longitudinal de 0.05 mm/mm S1= 15.24 kg/cm²
Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima S2= 76.83 kg/cm²

Interpolación de la Deformación Unitaria para una Deformación Longitudinal de 0.00005 m/m:

08.58 kg/cm² - 0.00000083 m/m
15.24 kg/cm² - E2
17.15 kg/cm² - 0.00000166 m/m ET1=0.00000148 m/m

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima:

68.60 kg/cm² - 0.00007557 m/m
76.83 kg/cm² - E2
77.18 kg/cm² - 0.00009301 m/m ET2=0.00009231 m/m

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$v = \frac{ET2 - ET1}{E2 - E1}$$

E1= 0.00005000 m/m
E2= 0.00043233 m/m

ET1= 0.00000148 m/m
ET2= 0.00009231 m/m

Módulo de Poisson v= 0.24

12) Ensayo Probeta 12

a) Toma de datos

Tabla E.23: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 12

ENSAYO PROBETA 12					
CARGA C (KN)	ENSAYO 1 L1	ENSAYO 2 L2	LECTURA PROMEDIO Lp	DEF. EJE	DEF. EJE (mm)
15	4	4	4.00	1.00	0.0010
30	8	7	7.50	1.88	0.0019
45	16	17	16.50	4.13	0.0041
60	25	27	26.00	6.50	0.0065
75	29	28	28.50	7.13	0.0071
90	37	35	36.00	9.00	0.0090
105	44	45	44.50	11.13	0.0111
120	54	56	55.00	13.75	0.0138
135	60	58	59.00	14.75	0.0148
150	66	63	64.50	16.13	0.0161

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Del ensayo de módulo de elasticidad tenemos:

- Diámetro $D_p = 15.02 \text{ cm}$
- Área $A_p = 177.25 \text{ cm}^2$
- Resistencia a la Compresión $f_c = 188.19 \text{ kg/cm}^2$
- Deformación Longitudinal $E_1 = 0.00005 \text{ m/m}$
- Def. Long. al 40% de la Resistencia Ultima $E_2 = 0.00041 \text{ m/m}$

Tabla E.24: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 12

ENSAYO PROBETA 12				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
15	1529.55	8.58	0.0010	0.0000666
30	3059.10	17.15	0.0019	0.0001248
45	4588.65	25.73	0.0041	0.0002746
60	6118.20	34.30	0.0065	0.0004327
75	7647.75	42.88	0.0071	0.0004743
90	9177.30	51.45	0.0090	0.0005991
105	10706.85	60.03	0.0111	0.0007406
120	12236.40	68.60	0.0138	0.0009153
135	13765.95	77.18	0.0148	0.0009819
150	15295.50	85.75	0.0161	0.0010734

Fuente: Elaboración Propia

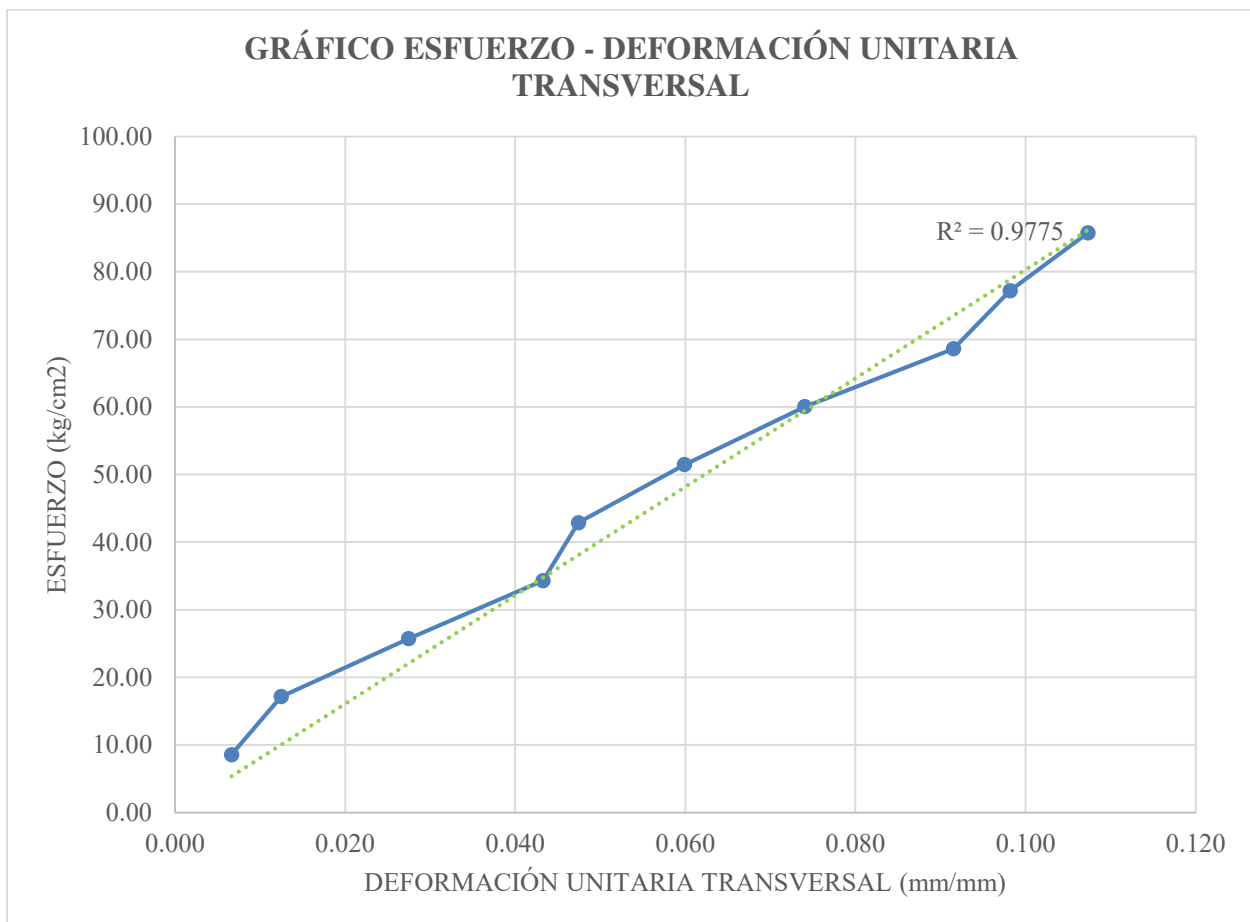


Figura E.12: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 12

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Esfuerzo para una Deformación Longitudinal de 0.05 mm/mm S1= 15.59 kg/cm²
Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima S2= 75.27 kg/cm²

Interpolación de la Deformación Unitaria para una Deformación Longitudinal de 0.00005 m/m:

08.58 kg/cm ²	-	0.00000666 m/m	
15.59 kg/cm ²	-	E2	
17.15 kg/cm ²	-	0.00001248 m/m	ET1=0.00001142 m/m

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima:

68.60 kg/cm ²	-	0.00009153 m/m	
75.28 kg/cm ²	-	E2	
77.18 kg/cm ²	-	0.00009819 m/m	ET2=0.00009671 m/m

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$\nu = \frac{ET2 - ET1}{E2 - E1}$$

$$E1 = 0.00005000 \text{ m/m}$$

$$ET1 = 0.00001142 \text{ m/m}$$

$$E2 = 0.00040905 \text{ m/m}$$

$$ET2 = 0.00009671 \text{ m/m}$$

Módulo de Poisson $\nu = 0.24$

13) Ensayo Probeta 13

a) Toma de datos

Tabla E.25: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 13

ENSAYO PROBETA 13					
CARGA C (KN)	ENSAYO 1 L1	ENSAYO 2 L2	LECTURA PROMEDIO Lp	DEF. EJE	DEF. EJE (mm)
15	1	1	1.00	0.25	0.0003
30	2	3	2.50	0.63	0.0006
45	5	6	5.50	1.38	0.0014
60	11	12	11.50	2.88	0.0029
75	25	25	25.00	6.25	0.0063
90	30	31	30.50	7.63	0.0076
105	34	36	35.00	8.75	0.0088
120	45	46	45.50	11.38	0.0114
135	57	56	56.50	14.13	0.0141
150	66	64	65.00	16.25	0.0163

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Del ensayo de módulo de elasticidad tenemos:

- Diámetro $D_p = 15.10 \text{ cm}$
- Área $A_p = 179.14 \text{ cm}^2$
- Resistencia a la Compresión $f_c = 191.07 \text{ kg/cm}^2$
- Deformación Longitudinal $E_1 = 0.00005 \text{ m/m}$
- Def. Long. al 40% de la Resistencia Ultima $E_2 = 0.00043 \text{ m/m}$

Tabla E.26: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 13

ENSAYO PROBETA 13				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
15	1529.55	8.58	0.0003	0.00000166
30	3059.10	17.15	0.0006	0.00000414
45	4588.65	25.73	0.0014	0.00000910
60	6118.20	34.30	0.0029	0.00001904
75	7647.75	42.88	0.0063	0.00004138
90	9177.30	51.45	0.0076	0.00005049
105	10706.85	60.03	0.0088	0.00005794
120	12236.40	68.60	0.0114	0.00007532
135	13765.95	77.18	0.0141	0.00009353
150	15295.50	85.75	0.0163	0.00010760

Fuente: Elaboración Propia

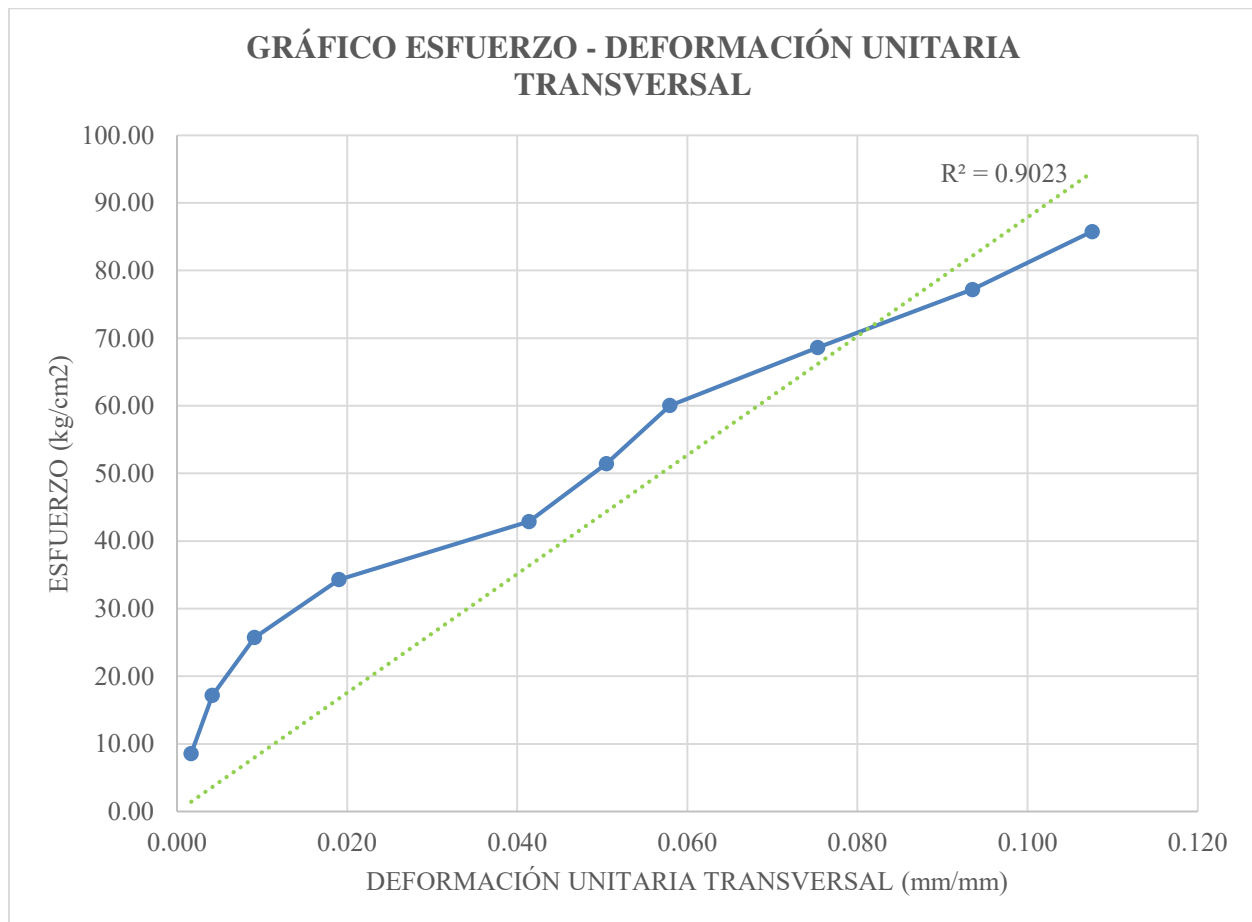


Figura E.13: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 13

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Esfuerzo para una Deformación Longitudinal de 0.05 mm/mm S1= 15.76 kg/cm²
Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima S2= 76.43 kg/cm²

Interpolación de la Deformación Unitaria para una Deformación Longitudinal de 0.00005 m/m:

08.58 kg/cm ²	-	0.00000166 m/m	
15.86 kg/cm ²	-	E2	
17.15 kg/cm ²	-	0.00000414 m/m	ET1=0.00000374 m/m

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima:

68.60 kg/cm ²	-	0.00007532 m/m	
76.43 kg/cm ²	-	E2	
77.18 kg/cm ²	-	0.00009353 m/m	ET2=0.00009194 m/m

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$v = \frac{ET2 - ET1}{E2 - E1}$$

$$E1 = 0.00005000 \text{ m/m}$$

$$E2 = 0.00043002 \text{ m/m}$$

$$ET1 = 0.00000374 \text{ m/m}$$

$$ET2 = 0.00009194 \text{ m/m}$$

Módulo de Poisson v= 0.23

14) Ensayo Probeta 14

a) Toma de datos

Tabla E.27: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 14

ENSAYO PROBETA 14					
CARGA C (KN)	ENSAYO 1 L1	ENSAYO 2 L2	LECTURA PROMEDIO Lp	DEF. EJE	DEF. EJE (mm)
15	1	3	2.00	0.50	0.0005
30	6	4	5.00	1.25	0.0013
45	8	9	8.50	2.13	0.0021
60	17	18	17.50	4.38	0.0044
75	25	27	26.00	6.50	0.0065
90	38	36	37.00	9.25	0.0093
105	43	41	42.00	10.50	0.0105
120	48	50	49.00	12.25	0.0123
135	56	59	57.50	14.38	0.0144
150	68	69	68.50	17.13	0.0171

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Del ensayo de módulo de elasticidad tenemos:

- Diámetro $D_p = 15.05 \text{ cm}$
- Área $A_p = 177.78 \text{ cm}^2$
- Resistencia a la Compresión $f_c = 181.24 \text{ kg/cm}^2$
- Deformación Longitudinal $E_1 = 0.00005 \text{ m/m}$
- Def. Long. al 40% de la Resistencia Ultima $E_2 = 0.00033 \text{ m/m}$

Tabla E.28: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 14

ENSAYO PROBETA 14				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
15	1529.55	8.58	0.0005	0.00000332
30	3059.10	17.15	0.0013	0.00000831
45	4588.65	25.73	0.0021	0.00001412
60	6118.20	34.30	0.0044	0.00002908
75	7647.75	42.88	0.0065	0.00004320
90	9177.30	51.45	0.0093	0.00006148
105	10706.85	60.03	0.0105	0.00006979
120	12236.40	68.60	0.0123	0.00008142
135	13765.95	77.18	0.0144	0.00009555
150	15295.50	85.75	0.0171	0.00011383

Fuente: Elaboración Propia

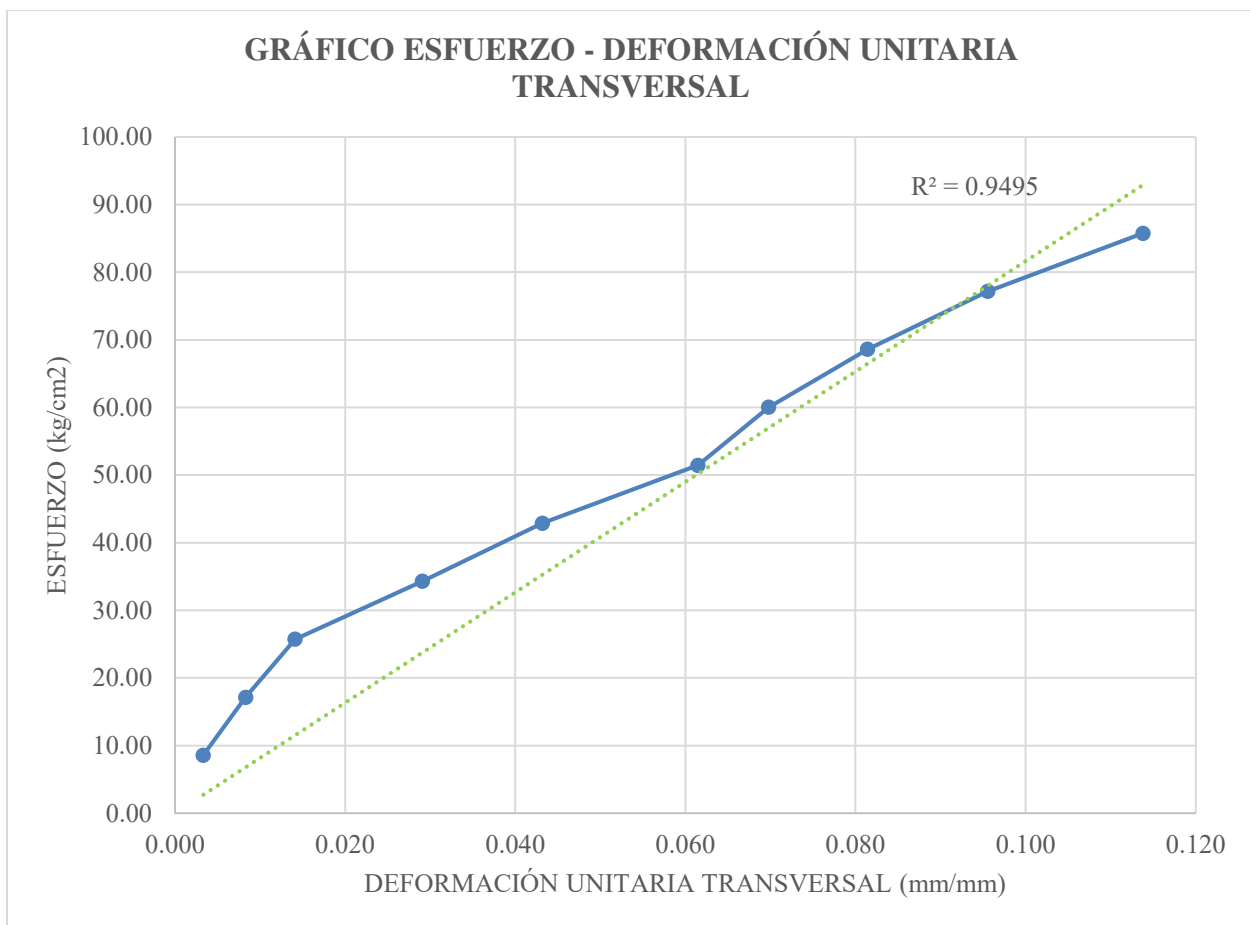


Figura E.14: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 14

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Esfuerzo para una Deformación Longitudinal de 0.05 mm/mm S1= 16.59 kg/cm²
Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima S2= 72.50 kg/cm²

Interpolación de la Deformación Unitaria para una Deformación Longitudinal de 0.00005 m/m:

08.58 kg/cm² - 0.00000332 m/m
16.60 kg/cm² - E2
17.15 kg/cm² - 0.00000831 m/m ET1=0.00000799 m/m

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima:

68.60 kg/cm² - 0.00008142 m/m
72.50 kg/cm² - E2
77.18 kg/cm² - 0.00009555 m/m ET2=0.00008784 m/m

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$\nu = \frac{ET2 - ET1}{E2 - E1}$$

$$E1 = 0.00005000 \text{ m/m}$$

$$E2 = 0.00032937 \text{ m/m}$$

$$ET1 = 0.00000799 \text{ m/m}$$

$$ET2 = 0.00008784 \text{ m/m}$$

Módulo de Poisson $\nu = 0.29$

15) Ensayo Probeta 15

a) Toma de datos

Tabla E.29: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 15

ENSAYO PROBETA 15					
CARGA C (KN)	ENSAYO 1 L1	ENSAYO 2 L2	LECTURA PROMEDIO Lp	DEF. EJE	DEF. EJE (mm)
15	3	0	1.50	0.38	0.0004
30	7	5	6.00	1.50	0.0015
45	19	9	14.00	3.50	0.0035
60	27	18	22.50	5.63	0.0056
75	36	23	29.50	7.38	0.0074
90	44	38	41.00	10.25	0.0103
105	56	40	48.00	12.00	0.0120
120	67	50	58.50	14.63	0.0146
135	75	58	66.50	16.63	0.0166
150	85	67	76.00	19.00	0.0190

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Del ensayo de módulo de elasticidad tenemos:

- Diámetro $D_p = 15.02 \text{ cm}$
- Área $A_p = 177.19 \text{ cm}^2$
- Resistencia a la Compresión $f_c = 183.97 \text{ kg/cm}^2$
- Deformación Longitudinal $E_1 = 0.00005 \text{ m/m}$
- Def. Long. al 40% de la Resistencia Ultima $E_2 = 0.00035 \text{ m/m}$

Tabla E.30: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 15

ENSAYO PROBETA 15				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
15	1529.55	8.58	0.0004	0.00000250
30	3059.10	17.15	0.0015	0.00000999
45	4588.65	25.73	0.0035	0.00002330
60	6118.20	34.30	0.0056	0.00003745
75	7647.75	42.88	0.0074	0.00004910
90	9177.30	51.45	0.0103	0.00006824
105	10706.85	60.03	0.0120	0.00007989
120	12236.40	68.60	0.0146	0.00009737
135	13765.95	77.18	0.0166	0.00011069
150	15295.50	85.75	0.0190	0.00012650

Fuente: Elaboración Propia

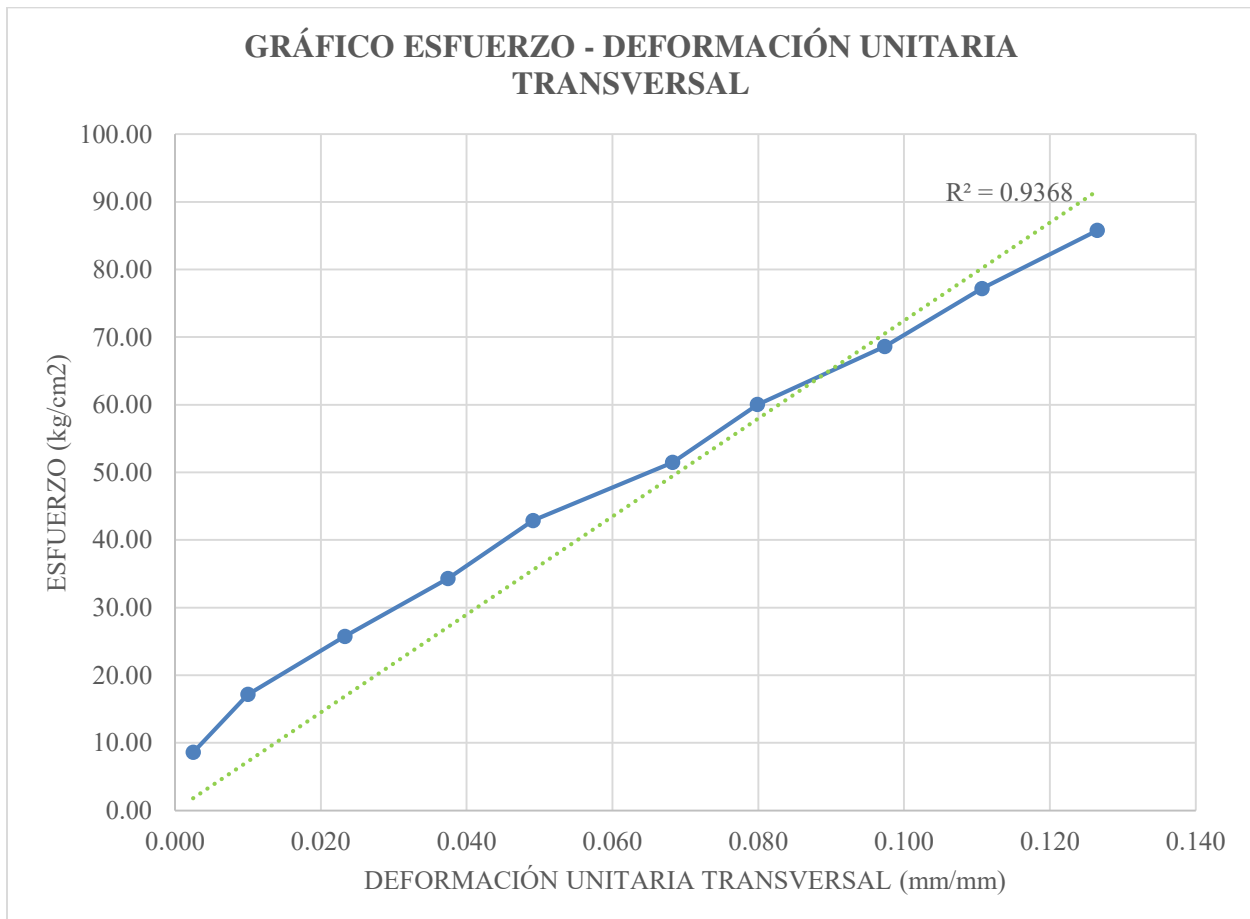


Figura E.15: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 15

Fuente: Elaboración Propia

16) Ensayo Probeta 16

a) Toma de datos

Tabla E.31: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 16

ENSAYO PROBETA 16					
CARGA C (KN)	ENSAYO 1 L1	ENSAYO 2 L2	LECTURA PROMEDIO Lp	DEF. EJE	DEF. EJE (mm)
15	0	0	0.00	0.00	0.0000
30	1	1	1.00	0.25	0.0003
45	5	6	5.50	1.38	0.0014
60	11	12	11.50	2.88	0.0029
75	25	25	25.00	6.25	0.0063
90	32	31	31.50	7.88	0.0079
105	34	36	35.00	8.75	0.0088
120	46	48	47.00	11.75	0.0118
135	55	57	56.00	14.00	0.0140
150	68	70	69.00	17.25	0.0173

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Del ensayo de módulo de elasticidad tenemos:

- Diámetro $D_p = 15.05 \text{ cm}$
- Área $A_p = 177.84 \text{ cm}^2$
- Resistencia a la Compresión $f_c = 197.89 \text{ kg/cm}^2$
- Deformación Longitudinal $E_1 = 0.00005 \text{ m/m}$
- Def. Long. al 40% de la Resistencia Ultima $E_2 = 0.00044 \text{ m/m}$

Tabla E.32: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 16

ENSAYO PROBETA 16				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
15	1529.55	8.58	0.0000	0.00000000
30	3059.10	17.15	0.0003	0.00000166
45	4588.65	25.73	0.0014	0.00000914
60	6118.20	34.30	0.0029	0.00001911
75	7647.75	42.88	0.0063	0.00004154
90	9177.30	51.45	0.0079	0.00005233
105	10706.85	60.03	0.0088	0.00005815
120	12236.40	68.60	0.0118	0.00007809
135	13765.95	77.18	0.0140	0.00009304
150	15295.50	85.75	0.0173	0.00011464

Fuente: Elaboración Propia

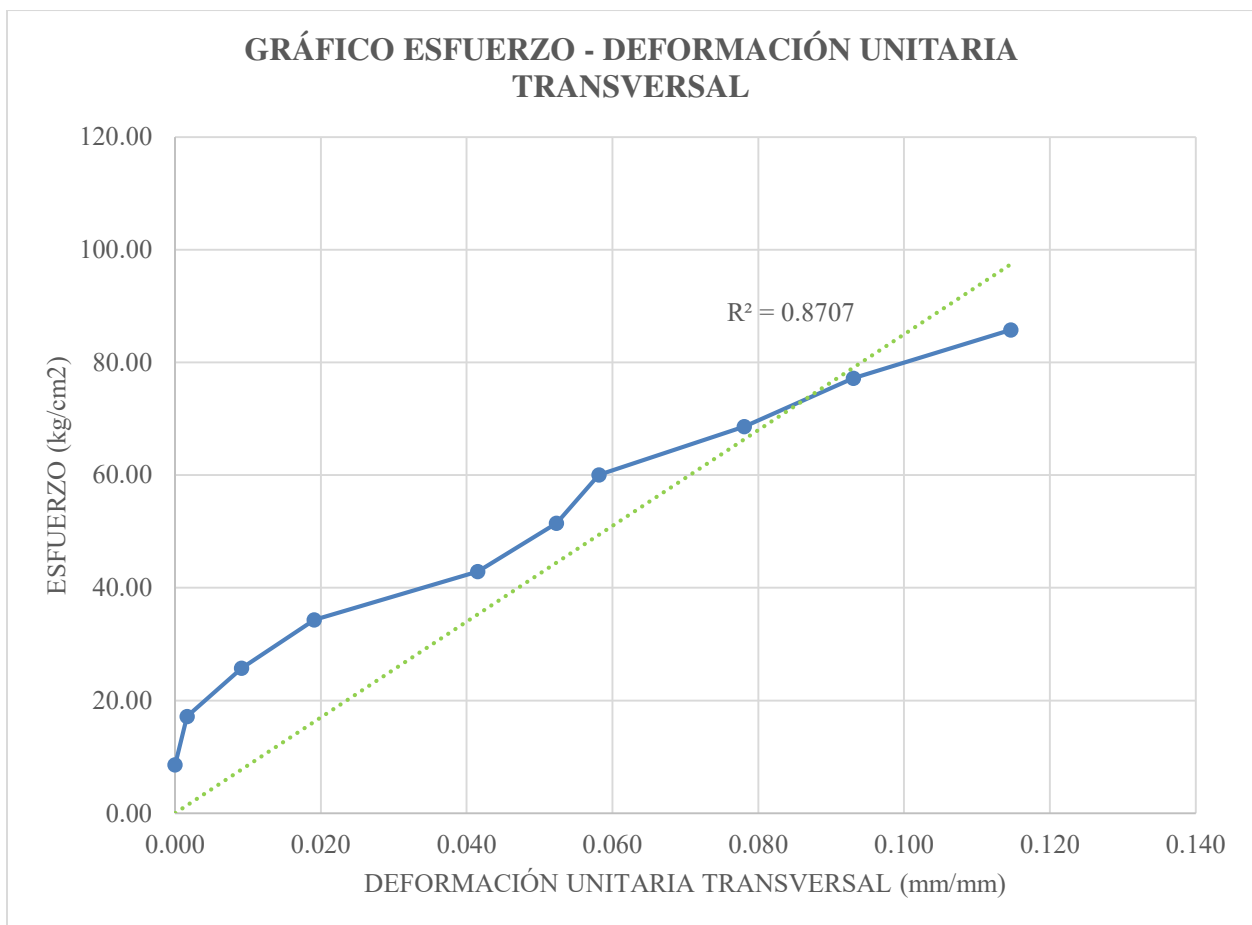


Figura E.16: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 16

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Esfuerzo para una Deformación Longitudinal de 0.05 mm/mm S1= 15.53 kg/cm²
Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima S2= 79.16 kg/cm²

Interpolación de la Deformación Unitaria para una Deformación Longitudinal de 0.00005 m/m:

08.58 kg/cm² - 0.00000000 m/m
15.54 kg/cm² - E2
17.15 kg/cm² - 0.00000166 m/m ET1=0.00000135 m/m

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima:

77.18 kg/cm² - 0.00009304 m/m
79.16 kg/cm² - E2
85.75 kg/cm² - 0.00011464 m/m ET2=0.00009802 m/m

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$\nu = \frac{ET2 - ET1}{E2 - E1}$$

$$E1 = 0.00005000 \text{ m/m}$$

$$ET1 = 0.00000135 \text{ m/m}$$

$$E2 = 0.00044243 \text{ m/m}$$

$$ET2 = 0.00009802 \text{ m/m}$$

Módulo de Poisson $\nu = 0.25$

17) Ensayo Probeta 17

a) Toma de datos

Tabla E.33: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 17

ENSAYO PROBETA 17					
CARGA C (KN)	ENSAYO 1 L1	ENSAYO 2 L2	LECTURA PROMEDIO Lp	DEF. EJE	DEF. EJE (mm)
15	4	6	5.00	1.25	0.0013
30	8	10	9.00	2.25	0.0023
45	16	17	16.50	4.13	0.0041
60	27	27	27.00	6.75	0.0068
75	29	29	29.00	7.25	0.0073
90	38	39	38.50	9.63	0.0096
105	44	45	44.50	11.13	0.0111
120	54	55	54.50	13.63	0.0136
135	59	59	59.00	14.75	0.0148
150	66	63	64.50	16.13	0.0161

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Del ensayo de módulo de elasticidad tenemos:

- Diámetro $D_p = 15.06 \text{ cm}$
- Área $A_p = 178.19 \text{ cm}^2$
- Resistencia a la Compresión $f_c = 178.62 \text{ kg/cm}^2$
- Deformación Longitudinal $E_1 = 0.00005 \text{ m/m}$
- Def. Long. al 40% de la Resistencia Ultima $E_2 = 0.00040 \text{ m/m}$

Tabla E.34: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 17

ENSAYO PROBETA 17				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
15	1529.55	8.58	0.0013	0.0000830
30	3059.10	17.15	0.0023	0.0001494
45	4588.65	25.73	0.0041	0.0002739
60	6118.20	34.30	0.0068	0.0004481
75	7647.75	42.88	0.0073	0.0004813
90	9177.30	51.45	0.0096	0.0006390
105	10706.85	60.03	0.0111	0.0007386
120	12236.40	68.60	0.0136	0.0009046
135	13765.95	77.18	0.0148	0.0009793
150	15295.50	85.75	0.0161	0.0010705

Fuente: Elaboración Propia

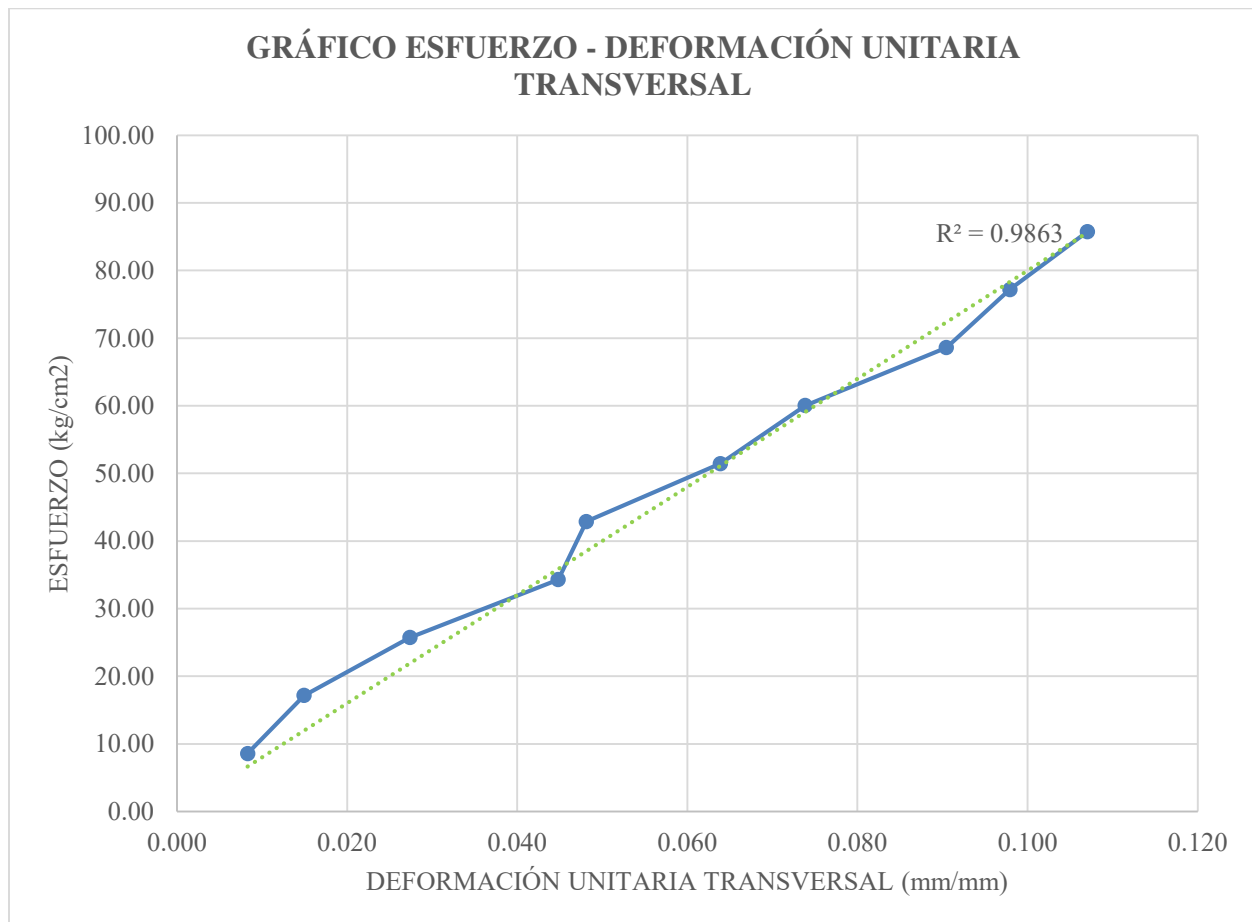


Figura E.17: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 17

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Esfuerzo para una Deformación Longitudinal de 0.05 mm/mm S1= 14.83 kg/cm²
Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima S2= 71.45 kg/cm²

Interpolación de la Deformación Unitaria para una Deformación Longitudinal de 0.00005 m/m:

08.58 kg/cm² - 0.00000830 m/m
14.83 kg/cm² - E2
17.15 kg/cm² - 0.00001494 m/m ET1=0.00001314 m/m

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima:

68.60 kg/cm² - 0.00009046 m/m
71.45 kg/cm² - E2
77.18 kg/cm² - 0.00009793 m/m ET2=0.00009294 m/m

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$\nu = \frac{ET2 - ET1}{E2 - E1}$$

$$E1 = 0.00005000 \text{ m/m}$$

$$ET1 = 0.00001314 \text{ m/m}$$

$$E2 = 0.00039538 \text{ m/m}$$

$$ET2 = 0.00009294 \text{ m/m}$$

Módulo de Poisson $\nu = 0.23$

18) Ensayo Probeta 18

a) Toma de datos

Tabla E.35: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 18

ENSAYO PROBETA 18					
CARGA C (KN)	ENSAYO 1 L1	ENSAYO 2 L2	LECTURA PROMEDIO Lp	DEF. EJE	DEF. EJE (mm)
15	6	5	5.50	1.38	0.0014
30	7	10	8.50	2.13	0.0021
45	16	17	16.50	4.13	0.0041
60	24	26	25.00	6.25	0.0063
75	29	29	29.00	7.25	0.0073
90	35	35	35.00	8.75	0.0088
105	44	43	43.50	10.88	0.0109
120	52	51	51.50	12.88	0.0129
135	59	61	60.00	15.00	0.0150
150	64	63	63.50	15.88	0.0159

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Del ensayo de módulo de elasticidad tenemos:

- Diámetro $D_p = 15.02 \text{ cm}$
- Área $A_p = 177.13 \text{ cm}^2$
- Resistencia a la Compresión $f_c = 186.94 \text{ kg/cm}^2$
- Deformación Longitudinal $E_1 = 0.00005 \text{ m/m}$
- Def. Long. al 40% de la Resistencia Ultima $E_2 = 0.00041 \text{ m/m}$

Tabla E.36: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 18

ENSAYO PROBETA 18				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
15	1529.55	8.58	0.0014	0.00000916
30	3059.10	17.15	0.0021	0.00001415
45	4588.65	25.73	0.0041	0.00002747
60	6118.20	34.30	0.0063	0.00004162
75	7647.75	42.88	0.0073	0.00004828
90	9177.30	51.45	0.0088	0.00005827
105	10706.85	60.03	0.0109	0.00007242
120	12236.40	68.60	0.0129	0.00008573
135	13765.95	77.18	0.0150	0.00009988
150	15295.50	85.75	0.0159	0.00010571

Fuente: Elaboración Propia

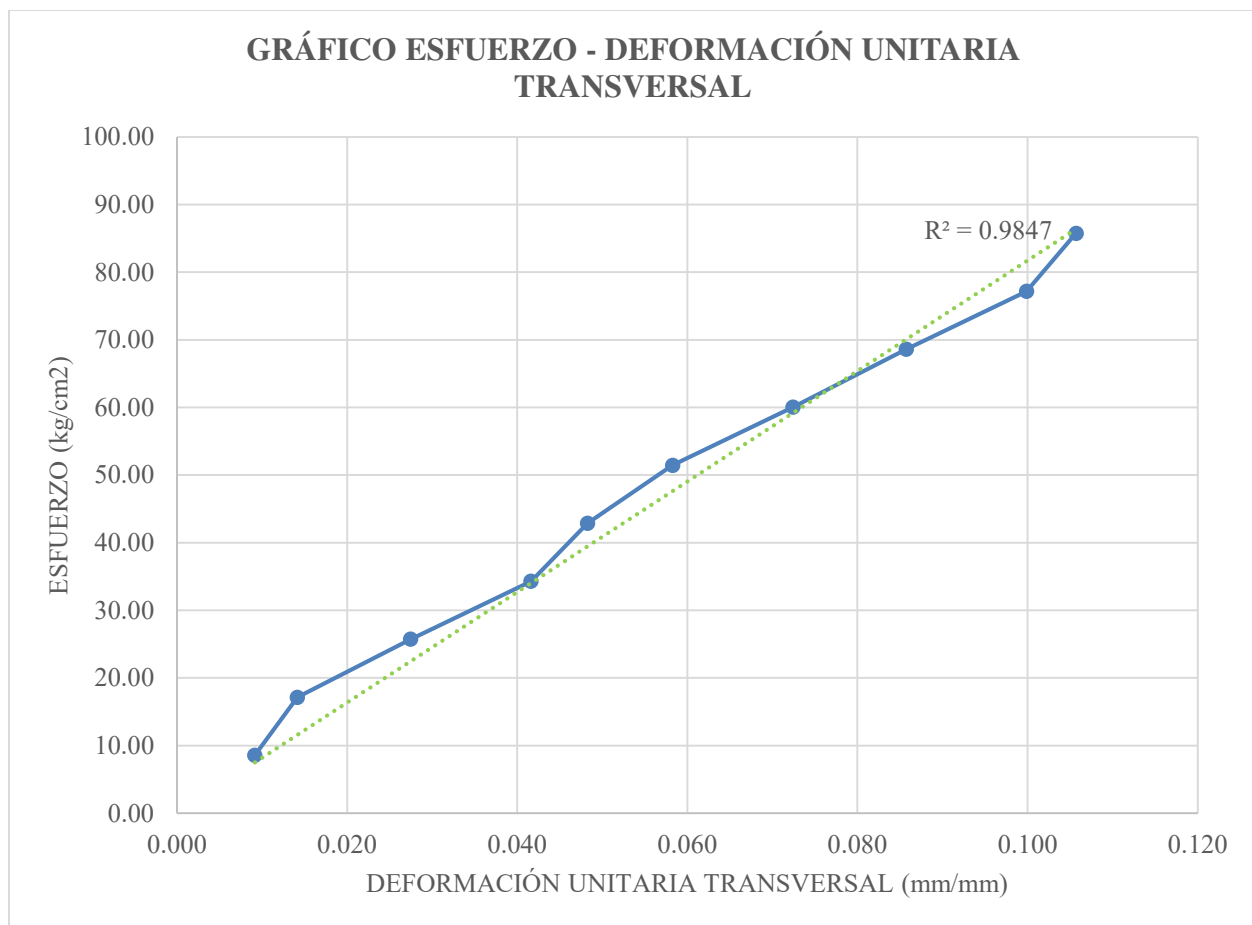


Figura E.18: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 18

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Esfuerzo para una Deformación Longitudinal de 0.05 mm/mm S1= 14.12 kg/cm²
Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima S2= 74.77 kg/cm²

Interpolación de la Deformación Unitaria para una Deformación Longitudinal de 0.00005 m/m:

08.58 kg/cm² - 0.00000916 m/m
14.12 kg/cm² - E2
17.15 kg/cm² - 0.00001415 m/m ET1=0.00001239 m/m

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima:

68.60 kg/cm² - 0.00008573 m/m
74.78 kg/cm² - E2
77.18 kg/cm² - 0.00009988 m/m ET2=0.00009592 m/m

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$v = \frac{ET2 - ET1}{E2 - E1}$$

$$E1 = 0.00005000 \text{ m/m}$$

$$ET1 = 0.00001239 \text{ m/m}$$

$$E2 = 0.00040570 \text{ m/m}$$

$$ET2 = 0.00009592 \text{ m/m}$$

Módulo de Poisson v= 0.24

19) Ensayo Probeta 19

a) Toma de datos

Tabla E. 37: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 19

ENSAYO PROBETA 19					
CARGA C (KN)	ENSAYO 1 L1	ENSAYO 2 L2	LECTURA PROMEDIO Lp	DEF. EJE	DEF. EJE (mm)
15	1	1	1.00	0.25	0.0003
30	3	3	3.00	0.75	0.0008
45	10	7	8.50	2.13	0.0021
60	16	16	16.00	4.00	0.0040
75	27	23	25.00	6.25	0.0063
90	36	35	35.50	8.88	0.0089
105	39	43	41.00	10.25	0.0103
120	50	49	49.50	12.38	0.0124
135	57	56	56.50	14.13	0.0141
150	67	69	68.00	17.00	0.0170

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Del ensayo de módulo de elasticidad tenemos:

- Diámetro $D_p = 15.04 \text{ cm}$
- Área $A_p = 177.54 \text{ cm}^2$
- Resistencia a la Compresión $f_c = 186.16 \text{ kg/cm}^2$
- Deformación Longitudinal $E_1 = 0.00005 \text{ m/m}$
- Def. Long. al 40% de la Resistencia Ultima $E_2 = 0.00035 \text{ m/m}$

Tabla E.38: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 19

ENSAYO PROBETA 19				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
15	1529.55	8.58	0.0003	0.00000166
30	3059.10	17.15	0.0008	0.00000499
45	4588.65	25.73	0.0021	0.00001413
60	6118.20	34.30	0.0040	0.00002660
75	7647.75	42.88	0.0063	0.00004157
90	9177.30	51.45	0.0089	0.00005903
105	10706.85	60.03	0.0103	0.00006817
120	12236.40	68.60	0.0124	0.00008231
135	13765.95	77.18	0.0141	0.00009395
150	15295.50	85.75	0.0170	0.00011307

Fuente: Elaboración Propia

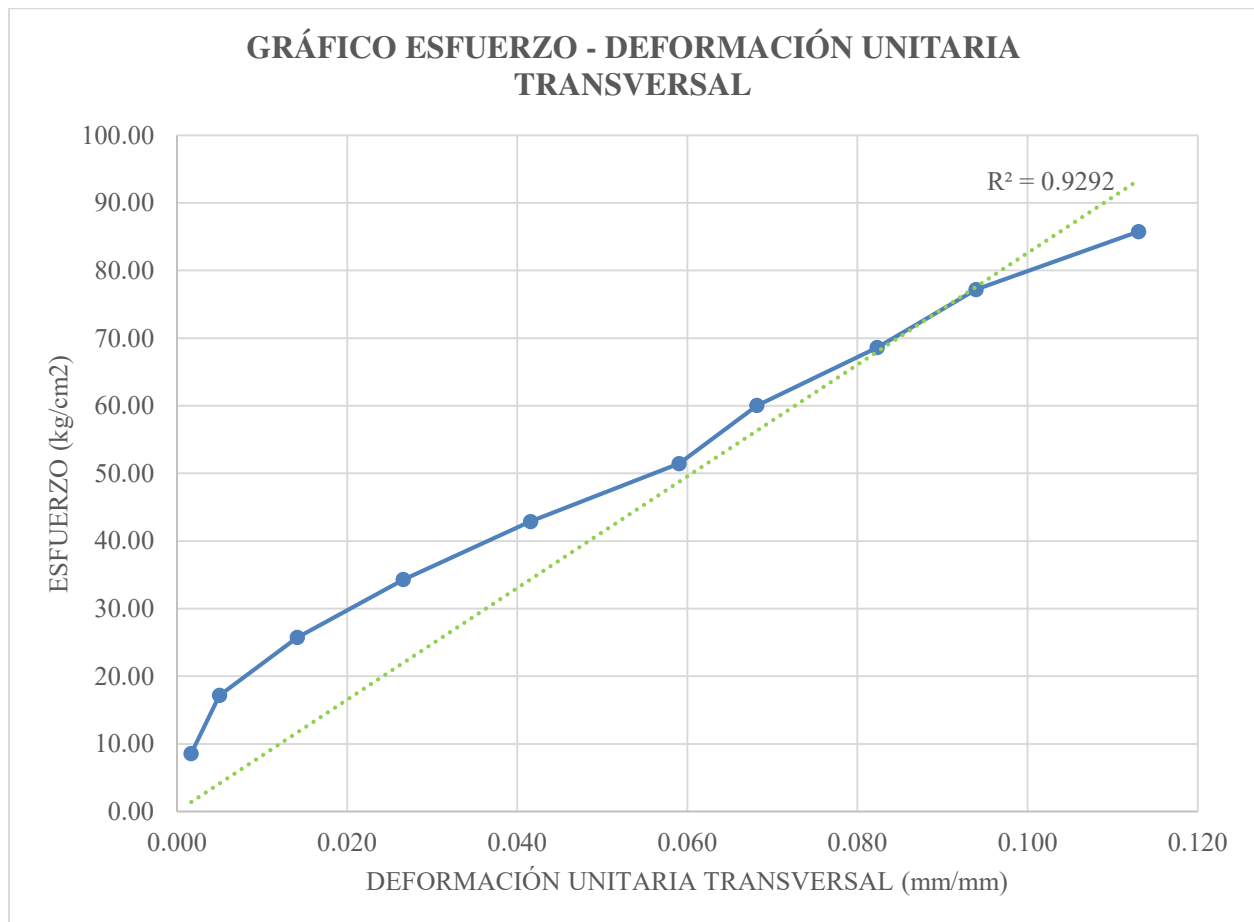


Figura E.19: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 19

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Esfuerzo para una Deformación Longitudinal de 0.05 mm/mm S1= 16.44 kg/cm²
Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima S2= 74.46 kg/cm²

Interpolación de la Deformación Unitaria para una Deformación Longitudinal de 0.00005 m/m:

08.58 kg/cm² - 0.00000166 m/m
16.44 kg/cm² - E2
17.15 kg/cm² - 0.00000499 m/m ET1=0.00000471 m/m

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima:

68.60 kg/cm² - 0.00008231 m/m
74.46 kg/cm² - E2
77.18 kg/cm² - 0.00009395 m/m ET2=0.00009026 m/m

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$v = \frac{ET2 - ET1}{E2 - E1}$$

$$E1 = 0.00005000 \text{ m/m}$$

$$E2 = 0.00034571 \text{ m/m}$$

$$ET1 = 0.00000471 \text{ m/m}$$

$$ET2 = 0.00009026 \text{ m/m}$$

Módulo de Poisson v= 0.29

20) Ensayo Probeta 20

a) Toma de datos

Tabla E.39: Lectura correspondientes al primer y segundo ensayo de Coeficiente de Poisson, lectura promedio y deformación en el eje de la Probeta 20

ENSAYO PROBETA 20					
CARGA C (KN)	ENSAYO 1 L1	ENSAYO 2 L2	LECTURA PROMEDIO Lp	DEF. EJE	DEF. EJE (mm)
15	3	2	2.50	0.63	0.0006
30	8	4	6.00	1.50	0.0015
45	20	9	14.50	3.63	0.0036
60	29	16	22.50	5.63	0.0056
75	39	24	31.50	7.88	0.0079
90	44	38	41.00	10.25	0.0103
105	54	41	47.50	11.88	0.0119
120	65	48	56.50	14.13	0.0141
135	75	55	65.00	16.25	0.0163
150	86	68	77.00	19.25	0.0193

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

Del ensayo de módulo de elasticidad tenemos:

- Diámetro $D_p = 15.06 \text{ cm}$
- Área $A_p = 178.19 \text{ cm}^2$
- Resistencia a la Compresión $f_c = 190.88 \text{ kg/cm}^2$
- Deformación Longitudinal $E_1 = 0.00005 \text{ m/m}$
- Def. Long. al 40% de la Resistencia Ultima $E_2 = 0.00038 \text{ m/m}$

Tabla E.40: Tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria del ensayo de Coeficiente de Poisson de la Probeta 20

ENSAYO PROBETA 20				
CARGA C (KN)	CARGA P (kg)	ESFUERZO S (kg/cm ²)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (m/m)
15	1529.55	8.58	0.0006	0.00000415
30	3059.10	17.15	0.0015	0.00000996
45	4588.65	25.73	0.0036	0.00002407
60	6118.20	34.30	0.0056	0.00003734
75	7647.75	42.88	0.0079	0.00005228
90	9177.30	51.45	0.0103	0.00006805
105	10706.85	60.03	0.0119	0.00007884
120	12236.40	68.60	0.0141	0.00009378
135	13765.95	77.18	0.0163	0.00010788
150	15295.50	85.75	0.0193	0.00012780

Fuente: Elaboración Propia

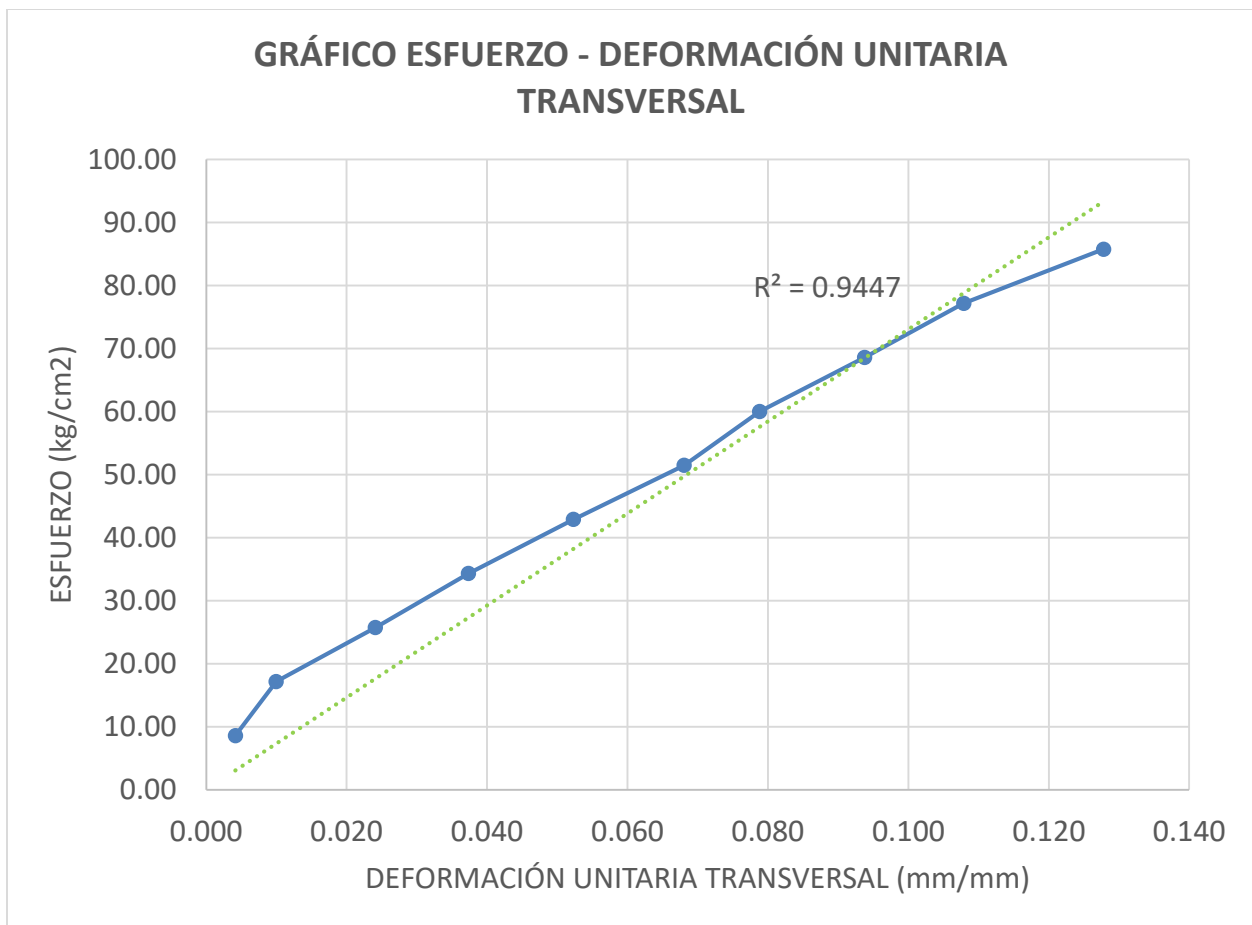


Figura E.20: Grafico Esfuerzo – Deformación Unitaria Transversal del ensayo de Modulo de Poisson Probeta 20

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla Esfuerzo – Deformación Unitaria interpolamos los valores correspondientes a:

Esfuerzo para una Deformación Longitudinal de 0.05 mm/mm S1= 14.29 kg/cm²
Esfuerzo del 40% de la resistencia ultima S2= 76.35 kg/cm²

Interpolación de la Deformación Unitaria para una Deformación Longitudinal de 0.00005 m/m:

08.58 kg/cm ²	-	0.00000415 m/m	
14.29 kg/cm ²	-	E2	
17.15 kg/cm ²	-	0.00000996 m/m	ET1=0.00000802 m/m

Interpolación de la Deformación Unitaria para el 40% de la resistencia ultima:

68.60 kg/cm ²	-	0.00009378 m/m	
76.35 kg/cm ²	-	E2	
77.18 kg/cm ²	-	0.00010788 m/m	ET2=0.00010653 m/m

Con estos datos se calcula el módulo de elasticidad:

$$\nu = \frac{ET2 - ET1}{E2 - E1}$$

$$E1 = 0.00005000 \text{ m/m}$$

$$ET1 = 0.00000802 \text{ m/m}$$

$$E2 = 0.00038073 \text{ m/m}$$

$$ET2 = 0.00010653 \text{ m/m}$$

Módulo de Poisson $\nu = 0.30$

F.COEFICIENTE DE EXPANSIÓN TERMICA

- **F.1 RESULTADOS Y PROCESAMIENTO DE DATOS DEL ENSAYO DE OBTENCIÓN DEL FACTOR DE CORRECCIÓN**
- **F.2 RESULTADOS Y PROCESAMIENTO DE DATOS DEL ENSAYO DE OBTENCIÓN DEL COEFICIENTE DE EXPANSION TERMICA**

F.1 RESULTADOS Y PROCESAMIENTO DE DATOS DEL ENSAYO DE OBTENCIÓN DEL FACTOR DE CORRECCIÓN

1) Ensayo 1

a) Toma de Datos

Tabla F.1: Resultado del Ensayo 1 de Obtención del Factor de Corrección

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	14:00	0:00	50,2	0	0
	14:10	0:10	50,2	0	0
	14:20	0:20	50,2	0	0
	14:30	0:30	50,2	0	0
	14:40	0:40	50,2	0	0
	14:50	0:50	50,2	0	0
DESCENSO DE TEMPERATURA	15:00	1:00	49,8	8	0,008
	15:30	1:30	45,8	28	0,028
	15:30	1:30	42,5	42	0,042
	15:45	1:45	40,3	62	0,062
	16:00	2:00	37,5	83	0,083
	16:30	2:30	34,4	102	0,102
	17:00	3:00	30,3	119	0,119
	17:30	3:30	28,8	138	0,138
	18:00	4:00	25,6	158	0,158
	18:30	4:30	23,2	175	0,175
	10:00	20:00	18,1	470	0,47

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

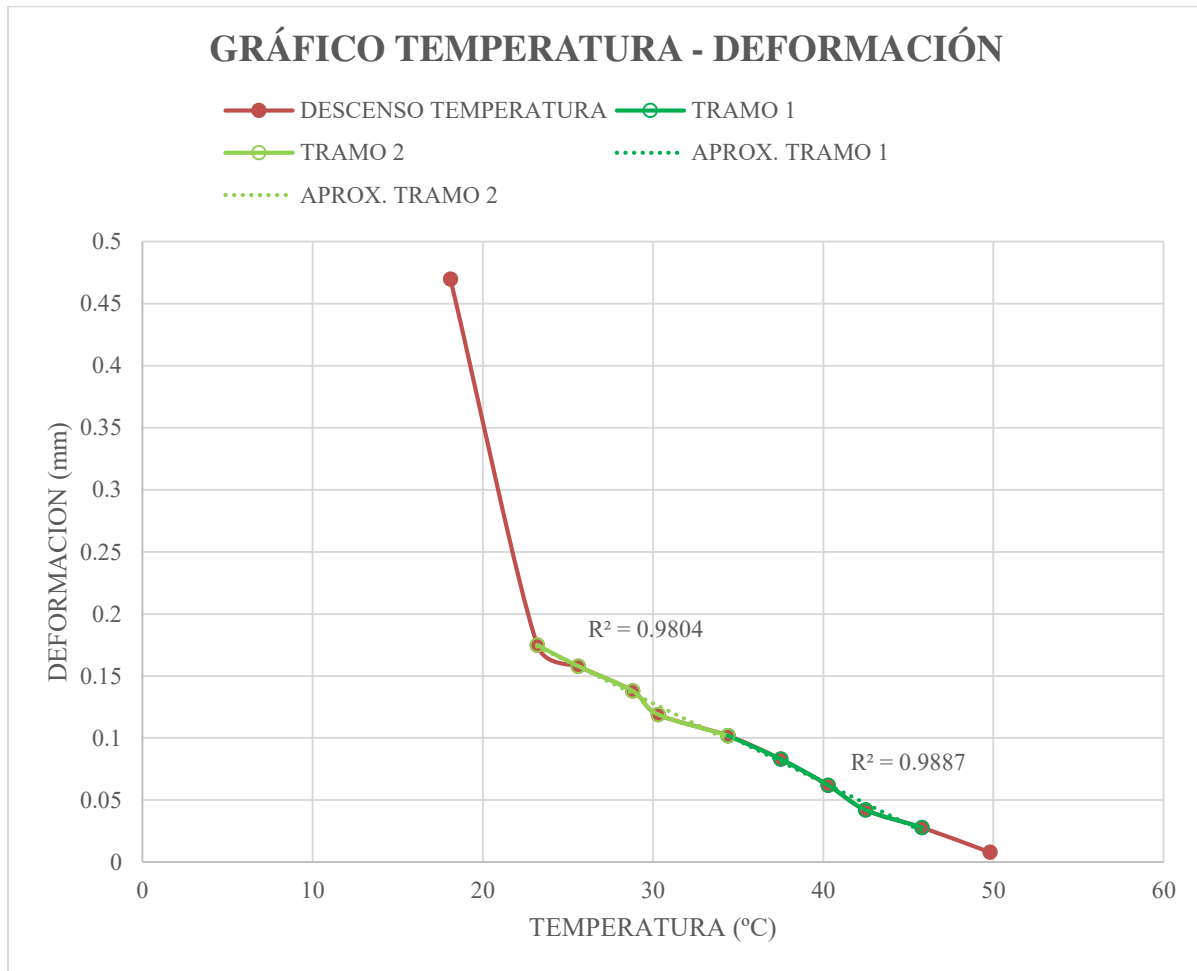


Figura F.1: Gráfico Temperatura – Deformación del Ensayo 1
Fuente: Elaboración Propia

2) Ensayo 2

a) Toma de Datos

Tabla F.2: Resultado del Ensayo 2 de Obtención del Factor de Corrección

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	14:00	0:00	50,2	0	0
	14:10	0:10	50,2	0	0
	14:20	0:20	50,2	0	0
	14:30	0:30	50,2	0	0
	14:40	0:40	50,2	0	0
	14:50	0:50	50,2	0	0
DESCENSO DE TEMPERATURA	15:00	1:00	49,5	7	0,007
	15:30	1:30	46,2	29	0,029
	15:30	1:30	43,5	40	0,04
	15:45	1:45	40,6	63	0,063
	16:00	2:00	39,2	84	0,084
	16:30	2:30	35,7	105	0,105
	17:00	3:00	32,5	118	0,118
	17:30	3:30	29,8	132	0,132
	18:00	4:00	27,4	155	0,155
	18:30	4:30	24,8	179	0,179
10:00	20:00	17,2	481	0,481	

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

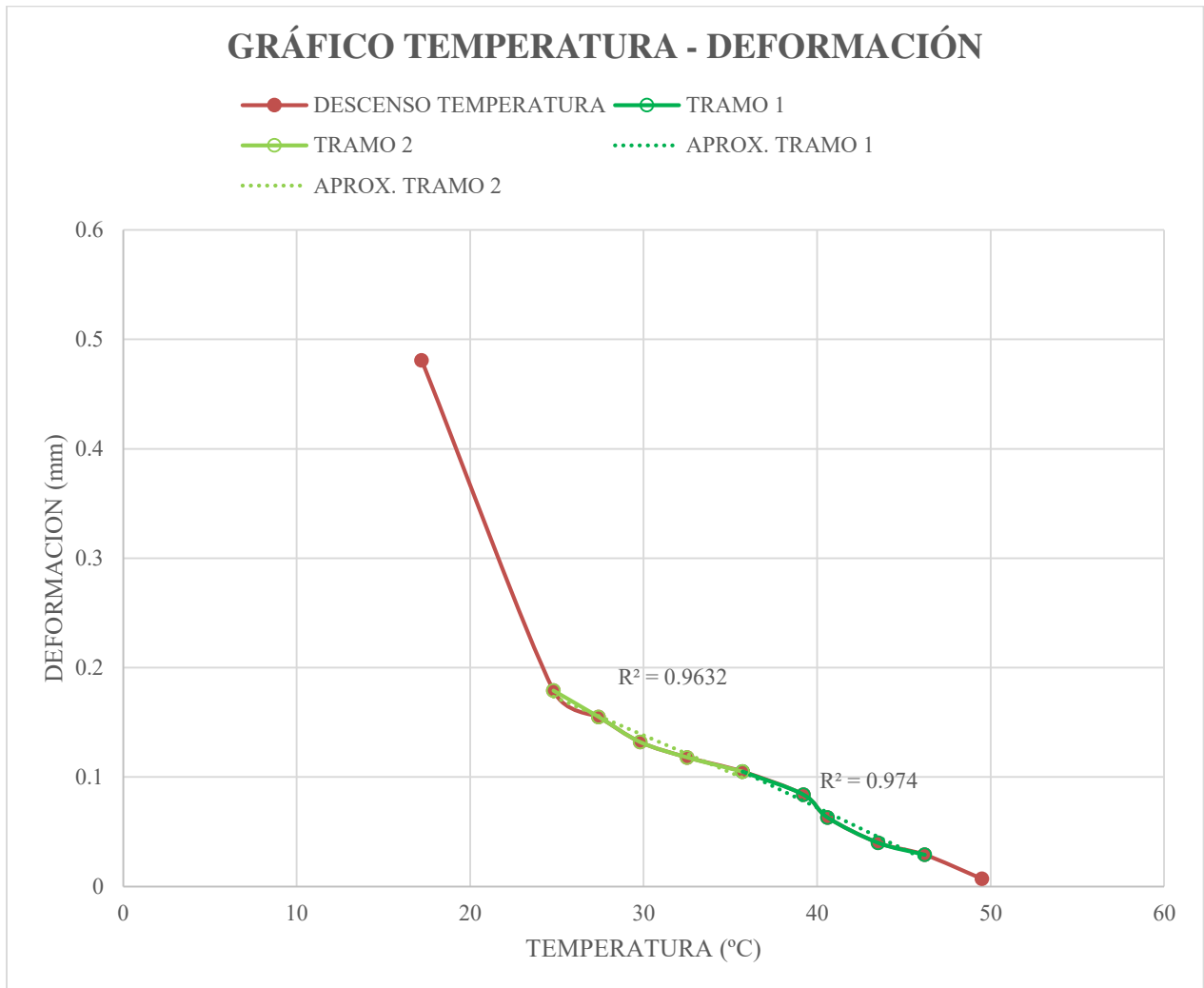


Figura F.2: Gráfico Temperatura – Deformación del Ensayo 2
Fuente: Elaboración Propia

3) Ensayo 3

a) Toma de Datos

Tabla F.3: Resultado del Ensayo 3 de Obtención del Factor de Corrección

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	14:00	0:00	50,2	0	0
	14:10	0:10	50,2	0	0
	14:20	0:20	50,2	0	0
	14:30	0:30	50,2	0	0
	14:40	0:40	50,2	0	0
	14:50	0:50	50,2	0	0
DESCENSO DE TEMPERATURA	15:00	1:00	49,8	7	0,007
	15:30	1:30	46,3	27	0,027
	15:30	1:30	43,2	41	0,041
	15:45	1:45	39,8	62	0,062
	16:00	2:00	37,6	76	0,076
	16:30	2:30	34,3	106	0,106
	17:00	3:00	31,1	118	0,118
	17:30	3:30	28,7	139	0,139
	18:00	4:00	25,6	158	0,158
	18:30	4:30	22,3	175	0,175
	10:15	20:15	18,1	423	0,423

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

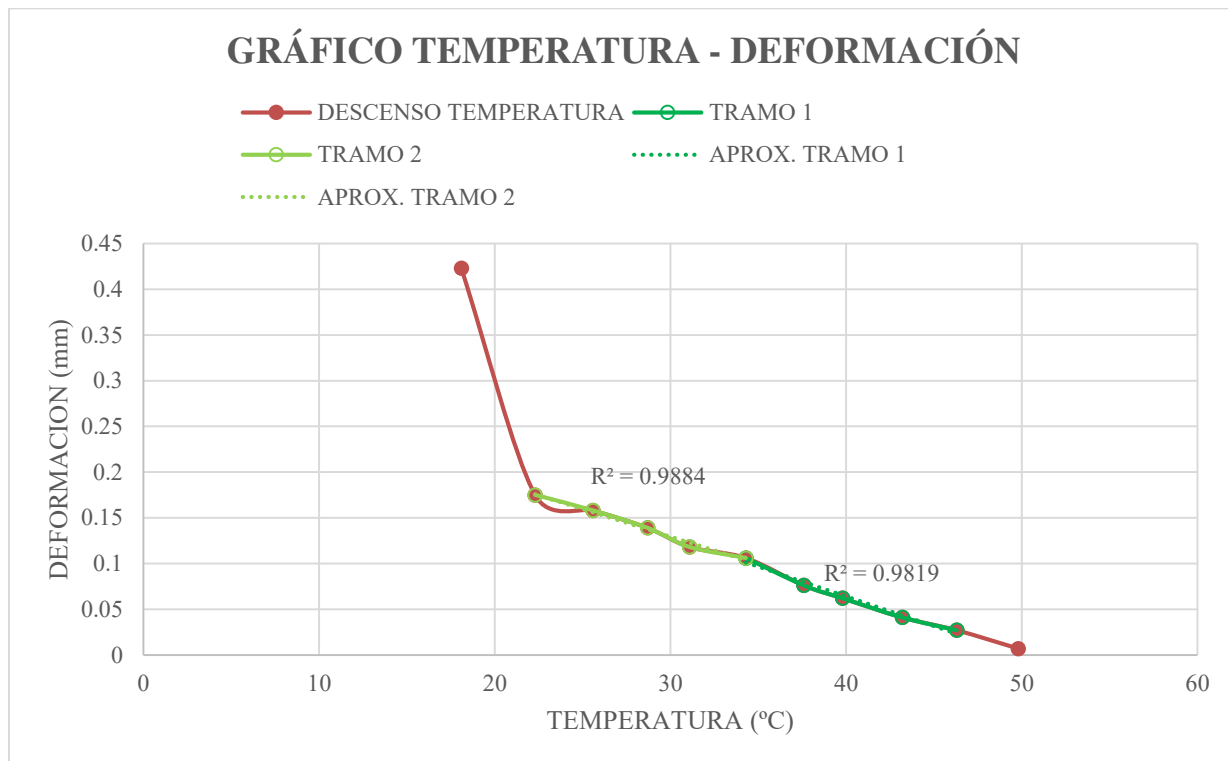


Figura F.3: Gráfico Temperatura – Deformación del Ensayo 2
Fuente: Elaboración Propia

4) Cálculo del Factor de Corrección

Con los datos de las tablas de los ensayos 1, 2 y 3 calculamos el valor del Factor de Corrección, dividiendo en dos rangos según los Gráficos Temperatura – Deformación.

Tabla F.4: Cálculo del Factor de Corrección

ENSAYO	TRAMO	TEMP. INICIAL (°C)	TEMP. FINAL (°C)	PENDIENTE m (mm/°C)	R2	M/L	K	CF
1	1	45,8	34,4	-0,0067630	0,9886532	-2,71E-05	1,20E-05	-1,51E-05
1	2	34,4	23,2	-0,0067078	0,9804047	-2,68E-05	1,20E-05	-1,48E-05
2	1	46,5	35,7	-0,0076413	0,9740310	-3,06E-05	1,20E-05	-1,86E-05
2	2	35,7	24,8	-0,0068106	0,9632067	-2,72E-05	1,20E-05	-1,52E-05
3	1	46,3	34,3	-0,0065116	0,9818879	-2,60E-05	1,20E-05	-1,40E-05
3	2	34,3	18,1	-0,0060087	0,9883791	-2,40E-05	1,20E-05	-1,20E-05
							CF PROM.	-1,50E-05

Fuente: Elaboración Propia

F.2 RESULTADOS Y PROCESAMIENTO DE DATOS DEL ENSAYO DE OBTENCIÓN DEL COEFICIENTE DE EXPANSIÓN TÉRMICA

1) Ensayo Probeta T-1

a) Toma de Datos

Longitud Probeta = 0.181 m

Tabla F.1: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-1 durante el Ascenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	10:50	0:00	20,3	0	0
	11:10	0:20	20,3	0	0
	11:30	0:40	20,3	0	0
	11:50	1:00	20,3	0	0
ASCENSO DE TEMPERATURA	12:00	1:10	20,6	0	0
	12:05	1:15	21,8	1	0,001
	12:10	1:20	24,2	5	0,005
	12:15	1:25	26,1	8	0,008
	12:20	1:30	28,7	12	0,012
	12:26	1:36	30,3	13	0,013
	12:33	1:43	32,8	16	0,016
	12:40	1:50	35,3	19	0,019
	12:50	2:00	38,2	21	0,021
	13:00	2:10	41,6	24	0,024
	13:10	2:20	44,2	27	0,027
	13:20	2:30	46,8	30	0,03
13:30	2:40	49,6	33	0,033	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.2: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-1 durante el Descenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	13:35	2:45	50,2	41	0,041
	13:55	3:05	50,2	41	0,041
	14:15	3:25	50,2	41	0,041
	14:35	3:45	50,2	41	0,041
DESCENSO DE TEMPERATURA	15:45	4:55	49,6	41	0,041
	15:50	5:00	48,6	39	0,039
	15:55	5:05	47,6	37	0,037
	16:00	5:10	46,7	36	0,036
	16:05	5:15	46	35	0,035
	16:10	5:20	45,6	35	0,035
	16:15	5:25	44,8	34	0,034
	16:35	5:45	41,7	30	0,03
	16:45	5:55	40,7	29	0,029
	16:55	6:05	39,7	29	0,029
	17:05	6:15	38,6	28	0,028
	17:18	6:28	37,1	27	0,027
	17:34	6:44	35,8	26	0,026
	17:52	7:02	34,1	24	0,024
	18:00	7:10	33,3	23	0,023
	18:12	7:22	32,2	22	0,022
	18:37	7:47	30,7	20	0,02
	19:20	8:30	28,4	19	0,019
10:30	22:32	19,7	11	0,011	

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

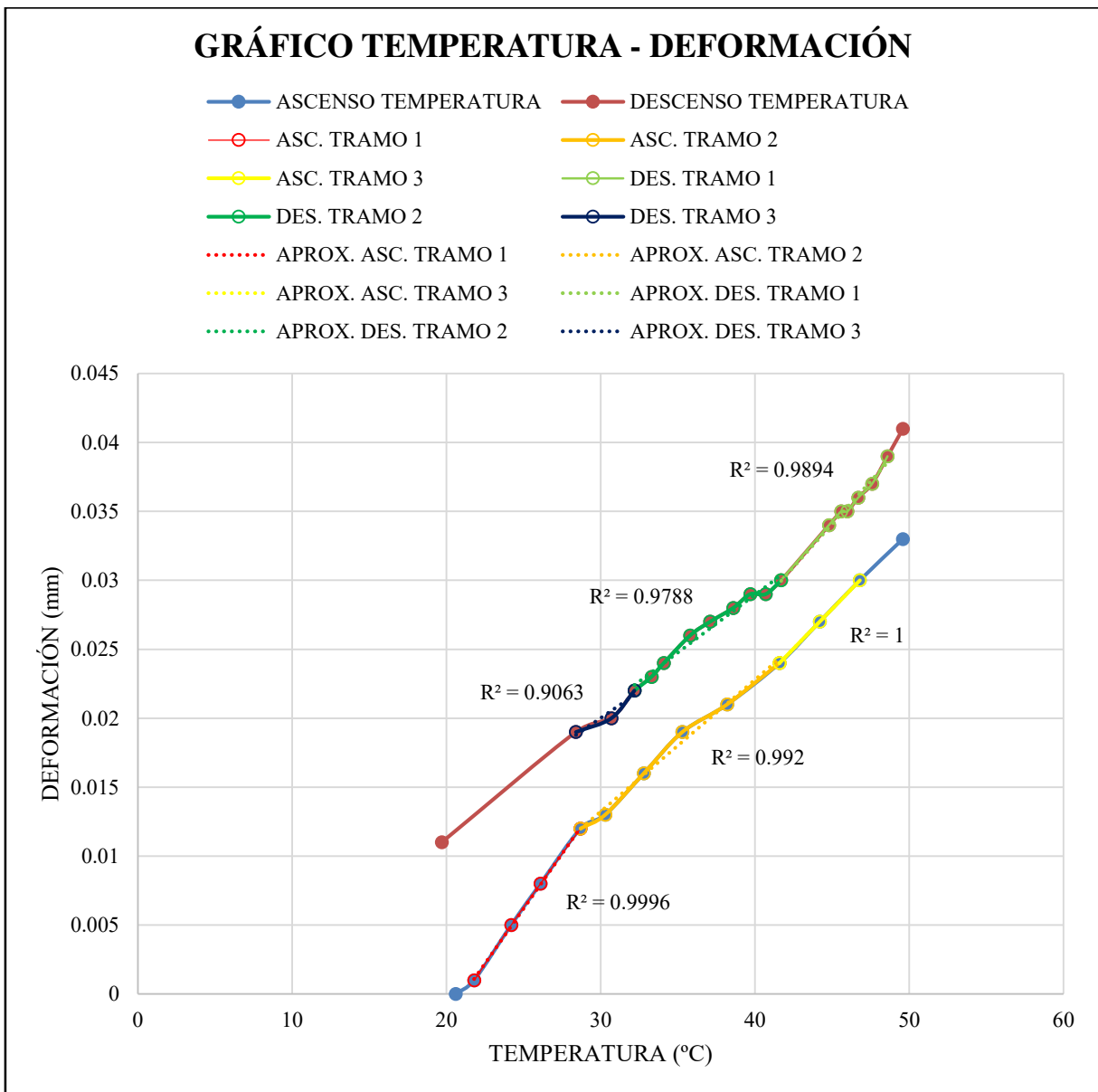


Figura F.4: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-1

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos obtenidos se procede a calcular el Coeficiente de Expansión Térmica para cada proceso, dividiendo ambos en 3 partes según se observe en el Gráfico Temperatura – Deformación correspondiente.

Tabla F.3: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-1 en Temperatura Ascendente

TRAMO	TEMP. INICIAL (°C)	TEMP. FINAL (°C)	PENDIENTE M (mm/°C)	COEFICIENTE DETERMINACION R2	M/L	CTE
1	21.8	28.7	0.0015211	0.9996037	8.40E-06	6.56E-06
2	28.7	41.6	0.0009558	0.9920018	5.28E-06	9.68E-06
3	41.6	46.8	0.0011274	1.0000000	6.23E-06	8.73E-06
CTE PROM.					6.64E-06	8.32E-06

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.4: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-1 en Temperatura Descendente

TRAMO	TEMP. INICIAL (°C)	TEMP. FINAL (°C)	PENDIENTE M (mm/°C)	COEFICIENTE DETERMINACION R2	M/L	CTE
1	48.6	41.7	0.0012482	0.9894266	6.90E-06	8.07E-06
2	41.7	32.2	0.0008384	0.9787593	4.63E-06	1.03E-05
3	32.2	28.4	0.0007598	0.9063109	4.20E-06	1.08E-05
CTE PROM.					5.24E-06	9.72E-06

Fuente: Elaboración Propia

2) Ensayo Probeta T-2

a) Toma de Datos

Longitud Probeta = 0.182 m

Tabla F.5: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-2 durante el Ascenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	10:50	0:00	18,2	0	0
	11:10	0:20	18,2	0	0
	11:30	0:40	18,2	0	0
	11:50	1:00	18,2	0	0
ASCENSO DE TEMPERATURA	12:00	1:10	18,5	0	0
	12:05	1:15	21,5	5	0,005
	12:10	1:20	23,6	8	0,008
	12:15	1:25	25,7	10	0,01
	12:20	1:30	28	13	0,013
	12:26	1:36	30,2	15	0,015
	12:33	1:43	34,6	18	0,018
	12:40	1:50	39,1	21	0,021
	12:50	2:00	42,4	24	0,024
	13:00	2:10	45,3	26	0,026
	13:10	2:20	47,3	28	0,028
	13:20	2:30	49,2	30	0,03
13:30	2:40	50,3	31	0,031	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.6: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-2 durante el Descenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	13:35	2:45	50,3	32	0,032
	13:55	3:05	50,3	32	0,032
	14:15	3:25	50,3	32	0,032
	14:35	3:45	50,3	32	0,032
DESCENSO DE TEMPERATURA	15:45	4:55	49,6	33	0,033
	15:50	5:00	48,2	32	0,032
	15:55	5:05	47,1	31	0,031
	16:00	5:10	43,2	30	0,03
	16:05	5:15	41,2	29	0,029
	16:10	5:20	40,2	28	0,028
	16:15	5:25	39,1	27	0,027
	16:35	5:45	36,7	26	0,026
	16:45	5:55	35,8	25	0,025
	16:55	6:05	33,9	24	0,024
	17:05	6:15	32,5	23	0,023
	17:18	6:28	31,1	22	0,022
	17:34	6:44	30,2	21	0,021
	17:52	7:02	28,7	20	0,02
	18:00	7:10	26,4	19	0,019
	18:12	7:22	23,9	18	0,018
	18:37	7:47	22,2	17	0,017
	19:20	8:30	21,1	14	0,014
10:30	22:32	17,8	7	0,007	

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

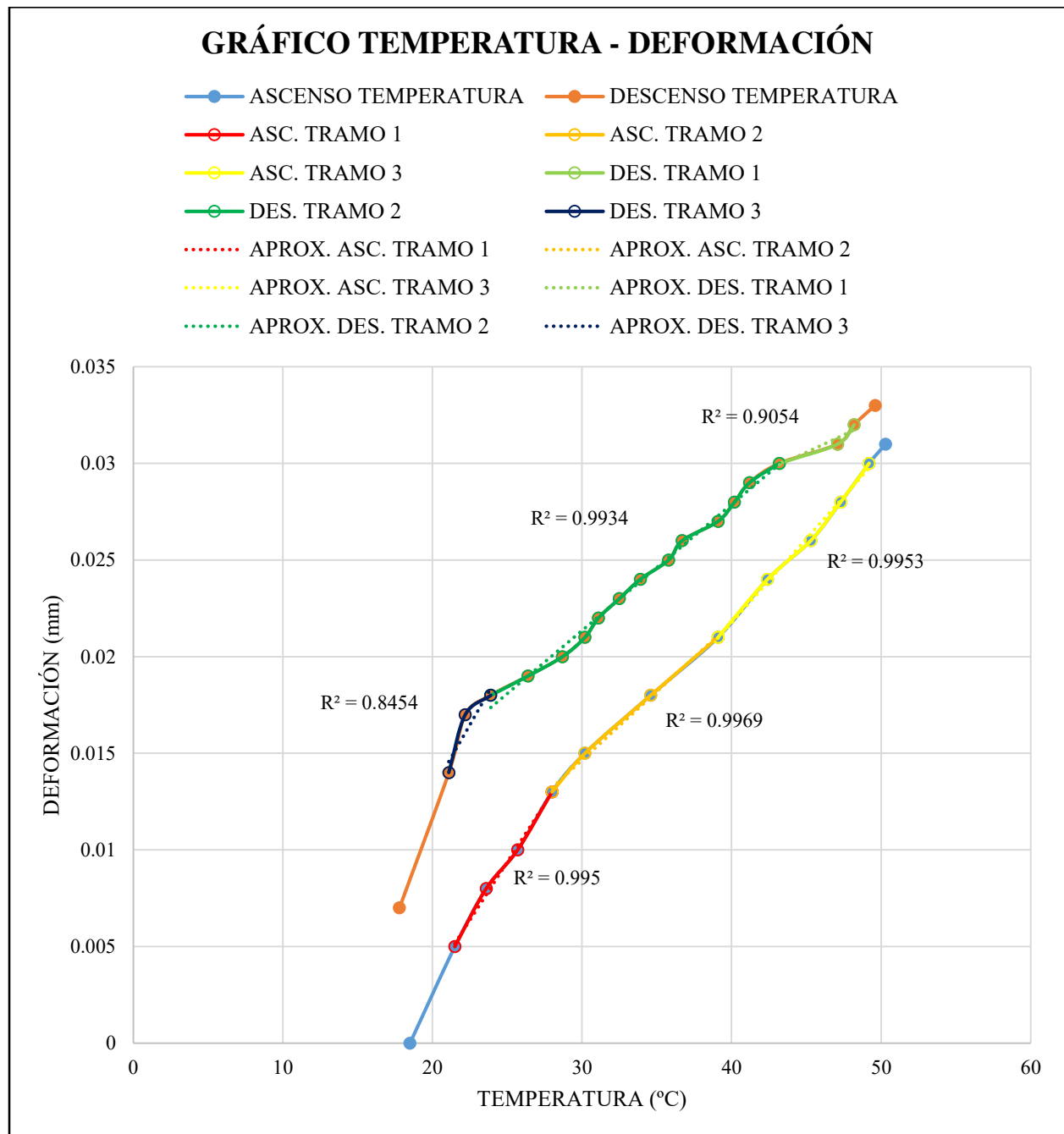


Figura F.5: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-2

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos obtenidos se procede a calcular el Coeficiente de Expansión Térmica para cada proceso, dividiendo ambos en 3 partes según se observe en el Gráfico Temperatura – Deformación correspondiente.

Tabla F.7: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-2 en Temperatura Ascendente

ASCENSO	Ti	Tf	M (mm/°C)	R2	M/L	CTE
1	21.5	28	0.0012039	0.9950224	6.62E-06	8.35E-06
2	28	39.1	0.0007103	0.9968726	3.90E-06	1.11E-05
3	39.1	49.2	0.0008711	0.9953236	4.79E-06	1.02E-05
CTE PROM.					5.10E-06	9.86E-06

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.8: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-2 en Temperatura Descendente

DESCENSO	Ti	Tf	M (mm/°C)	R2	M/L	CTE
1	48.2	43.2	0.0003621	0.9053597	1.99E-06	1.30E-05
2	43.2	23.9	0.0006140	0.9930165	3.37E-06	1.16E-05
3	23.9	21.1	0.0013568	0.8453807	7.45E-06	7.51E-06
CTE PROM.					4.27E-06	1.07E-05

Fuente: Elaboración Propia

3) Ensayo Probeta T-3

a) Toma de Datos

Longitud Probeta = 0.180 m

Tabla F.9: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-3 durante el Ascenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	11:00	0:00	17,8	0	0
	11:20	0:30	17,8	0	0
	11:40	0:50	17,8	0	0
	12:00	1:10	17,8	0	0
ASCENSO DE TEMPERATURA	12:00	1:10	18,6	0	0
	12:07	1:17	21,5	10	0,01
	12:11	1:21	24,1	17	0,017
	12:15	1:25	27,4	23	0,023
	12:37	1:47	31,6	29	0,029
	12:45	1:55	35,6	31	0,031
	12:55	2:05	39,6	35	0,035
	13:06	2:16	43,1	39	0,039
	13:17	2:27	45,8	41	0,041
	13:27	2:37	48,1	43	0,043
	13:35	2:45	49,3	44	0,044
13:45	2:55	50,8	45	0,045	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.10: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-3 durante el Descenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	13:50	3:00	50,3	46	0,046
	14:10	3:20	50,3	46	0,046
	14:30	3:40	50,3	46	0,046
	14:50	4:00	50,3	46	0,046
DESCENSO DE TEMPERATURA	15:00	4:10	50,2	46	0,046
	15:15	4:25	47,2	38	0,038
	15:30	4:40	45,3	35	0,035
	15:40	4:50	43,5	34	0,034
	15:50	5:00	41,7	32	0,032
	16:00	5:10	40,1	31	0,031
	16:15	5:25	38,2	30	0,03
	16:31	5:41	35,7	29	0,029
	16:53	6:03	33,1	28	0,028
	17:12	6:22	30,6	26	0,026
	17:34	6:44	28,9	24	0,024
	17:54	7:04	27,2	22	0,022
	10:22	22:32	15,8	8	0,008

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

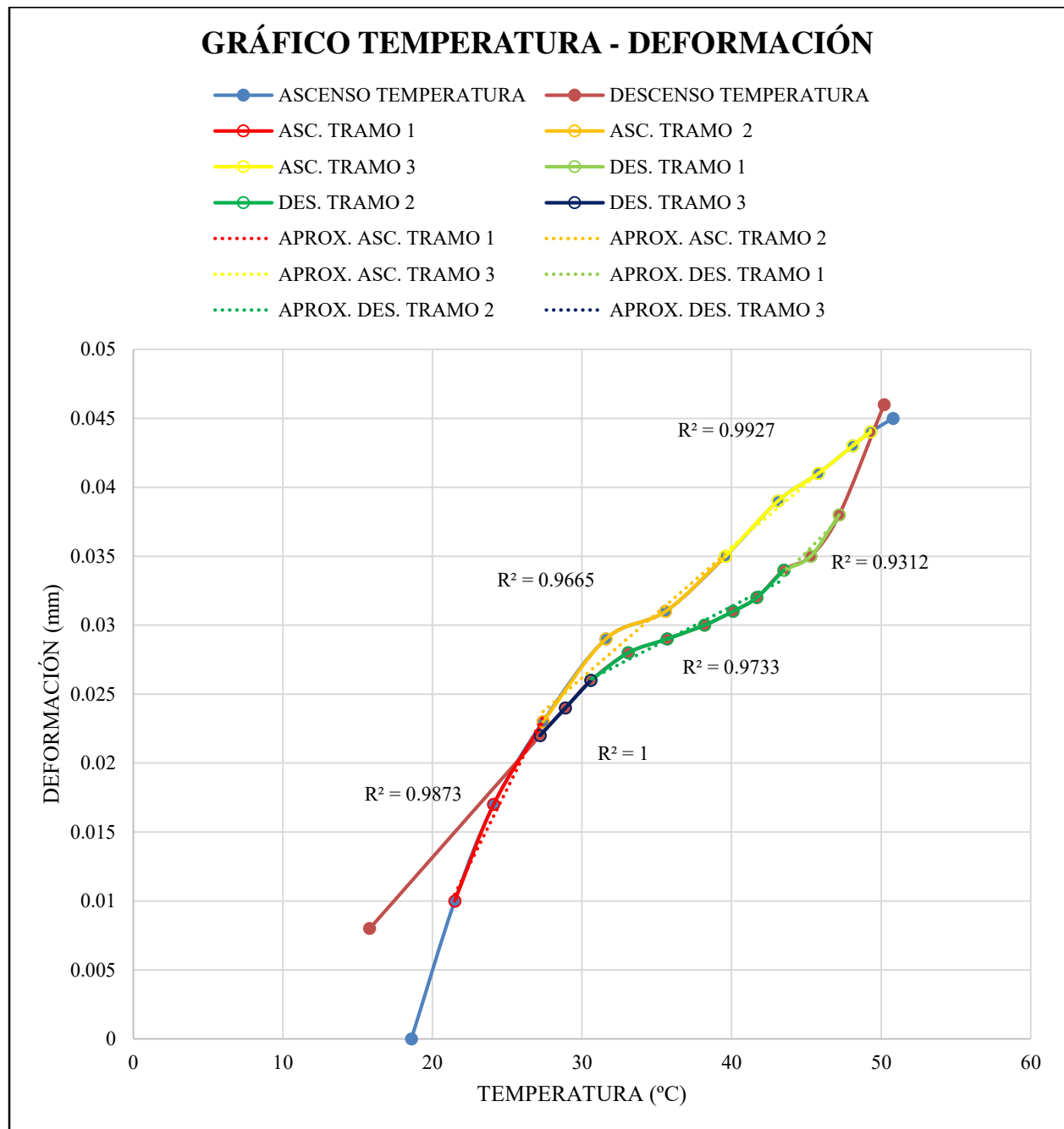


Figura F.6: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-3

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos obtenidos se procede a calcular el Coeficiente de Expansión Térmica para cada proceso, dividiendo ambos en 3 partes según se observe en el Gráfico Temperatura – Deformación correspondiente.

Tabla F.11: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-3 en Temperatura Ascendente

ASCENSO	Ti	Tf	M (mm/°C)	R2	M/L	CTE
1	21.5	27.4	0.0021864	0.9873357	1.21E-05	2.82E-06
2	27.4	39.6	0.0009378	0.9665235	5.21E-06	9.75E-06
3	39.6	49.3	0.0009102	0.9927055	5.06E-06	9.91E-06
CTE PROM.					7.47E-06	7.49E-06

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.12: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-3 en Temperatura Descendente

DESCENSO	Ti	Tf	M (mm/°C)	R2	M/L	CTE
1	47.2	43.5	0.0010857	0.9311849	6.03E-06	8.93E-06
2	43.5	30.6	0.0005584	0.9732982	3.10E-06	1.19E-05
3	30.6	27.2	0.0011765	1.0000000	6.54E-06	8.43E-06
CTE PROM.					5.22E-06	9.74E-06

Fuente: Elaboración Propia

4) Ensayo Probeta T-4

a) Toma de Datos

Longitud Probeta = 0.179 m

Tabla F.13: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-4 durante el Ascenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	10:50	0:00	18,3	0	0
	11:10	0:20	18,3	0	0
	11:30	0:40	18,3	0	0
	11:50	1:00	18,3	0	0
ASCENSO DE TEMPERATURA	12:00	1:10	18,3	0	0
	12:05	1:15	21,8	7	0,007
	12:10	1:20	23,5	11	0,011
	12:15	1:25	25,9	17	0,017
	12:20	1:30	26,5	20	0,02
	12:25	1:35	29,9	25	0,025
	12:30	1:40	31,4	30	0,03
	12:35	1:45	33,6	33	0,033
	12:40	1:50	35,7	34	0,034
	12:45	1:55	39,2	37	0,037
	12:50	2:00	41	39	0,039
	12:55	2:05	42,7	41	0,041
	13:00	2:10	45,8	43	0,043
	13:15	2:25	49,1	46	0,046
	13:30	2:40	50,8	48	0,048

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.14: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-4 durante el Descenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	13:30	2:40	51,1	50	0,05
	13:50	3:00	51,1	50	0,05
	14:10	3:20	51,1	50	0,05
	14:30	3:40	51,1	50	0,05
DESCENSO DE TEMPERATURA	14:35	3:45	50,7	50	0,05
	14:45	3:55	47,2	46	0,046
	14:56	4:06	45,3	45	0,045
	15:10	4:20	42,1	43	0,043
	15:24	4:34	39,3	41	0,041
	15:32	4:42	38,4	40	0,04
	15:45	4:55	36,5	39	0,039
	16:00	5:10	33,1	36	0,036
	16:15	5:25	31	35	0,035
	16:35	5:45	29,7	34	0,034
	17:05	6:15	28,2	32	0,032
	17:30	6:40	26,5	31	0,031
	9:30	22:32	17,5	26	0,026

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

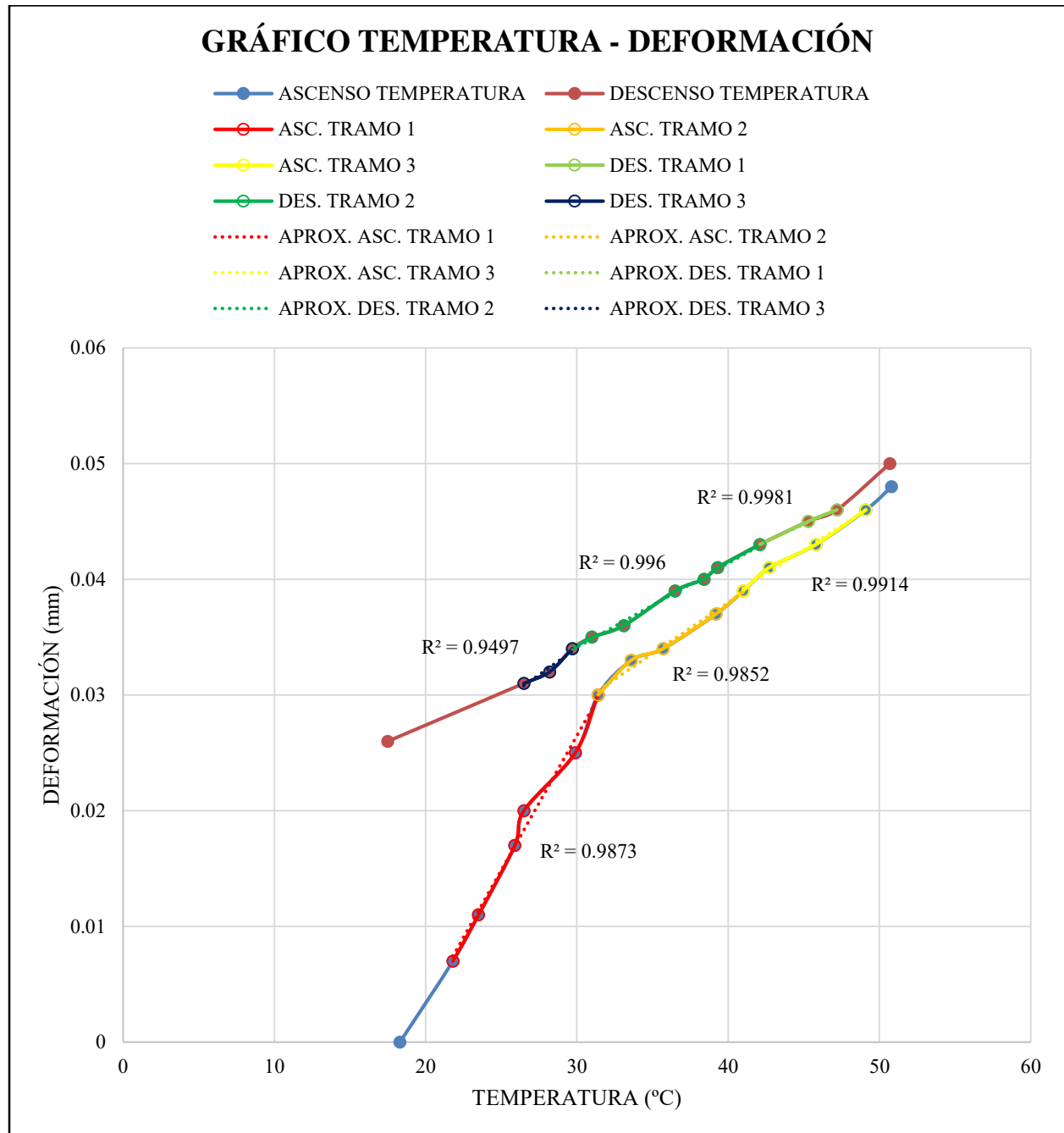


Figura F.7: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-4

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos obtenidos se procede a calcular el Coeficiente de Expansión Térmica para cada proceso, dividiendo ambos en 3 partes según se observe en el Gráfico Temperatura – Deformación correspondiente.

Tabla F.15: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-4 en Temperatura Ascendente

ASCENSO	Ti	Tf	M (mm/°C)	R2	M/L	CTE
1	21.8	31.4	0.0023262	0.9872507	1.30E-05	1.97E-06
2	31.4	41	0.0008836	0.9852327	4.94E-06	1.00E-05
3	41	49.1	0.0008327	0.9914336	4.65E-06	1.03E-05
CTE PROM.					7.53E-06	7.43E-06

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.16: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-4 en Temperatura Ascendente

DESCENSO	Ti	Tf	M (mm/°C)	R2	M/L	CTE
1	47.2	42.1	0.0005921	0.9980647	3.31E-06	1.17E-05
2	42.1	29.7	0.0007281	0.9960119	4.07E-06	1.09E-05
3	29.7	26.5	0.0009298	0.9497028	5.19E-06	9.77E-06
CTE PROM.					4.19E-06	1.08E-05

Fuente: Elaboración Propia

5) Ensayo Probeta T-5

a) Toma de Datos

Longitud Probeta = 0.181 m

Tabla F.17: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-5 durante el Ascenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	10:30	0:00	18,4	0	0
	10:50	0:00	18,4	0	0
	11:10	0:20	18,4	0	0
	11:30	0:40	18,4	0	0
ASCENSO DE TEMPERATURA	11:30	0:40	18,5	0	0
	11:35	0:45	20,4	5	0,005
	11:40	0:50	22,6	9	0,009
	11:46	0:56	24,5	11	0,011
	12:01	1:11	27,6	15	0,015
	12:10	1:20	30,1	17	0,017
	12:20	1:30	33,7	22	0,022
	12:30	1:40	37,8	26	0,026
	12:40	1:50	41,8	29	0,029
	12:50	2:00	44,5	31	0,031
	13:00	2:10	47,1	34	0,034
	13:10	2:20	49,3	37	0,037
	13:20	2:30	50,5	40	0,04

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.18: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-5 durante el Descenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	13:25	2:35	50,6	42	0,042
	13:45	2:55	50,6	42	0,042
	14:05	3:15	50,6	42	0,042
	14:25	3:35	50,6	42	0,042
DESCENSO DE TEMPERATURA	14:30	3:40	49,6	42	0,042
	14:45	3:55	48,2	40	0,04
	14:55	4:05	46,8	39	0,039
	15:10	4:20	44,2	38	0,038
	15:20	4:30	41,9	36	0,036
	15:30	4:40	40,2	35	0,035
	15:40	4:50	38,3	33	0,033
	15:50	5:00	36,6	32	0,032
	16:00	5:10	34,4	31	0,031
	16:15	5:25	32,4	29	0,029
	16:30	5:40	31,5	28	0,028
	16:46	5:56	30,5	27	0,027
	17:00	6:10	28,8	25	0,025
	17:15	6:25	26,7	24	0,024
	17:30	6:40	23,7	21	0,021
	17:45	6:55	22,4	20	0,02
	18:00	7:10	20,8	18	0,018
	18:20	7:30	19,2	17	0,017
10:00	22:32	16,7	8	0,008	

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

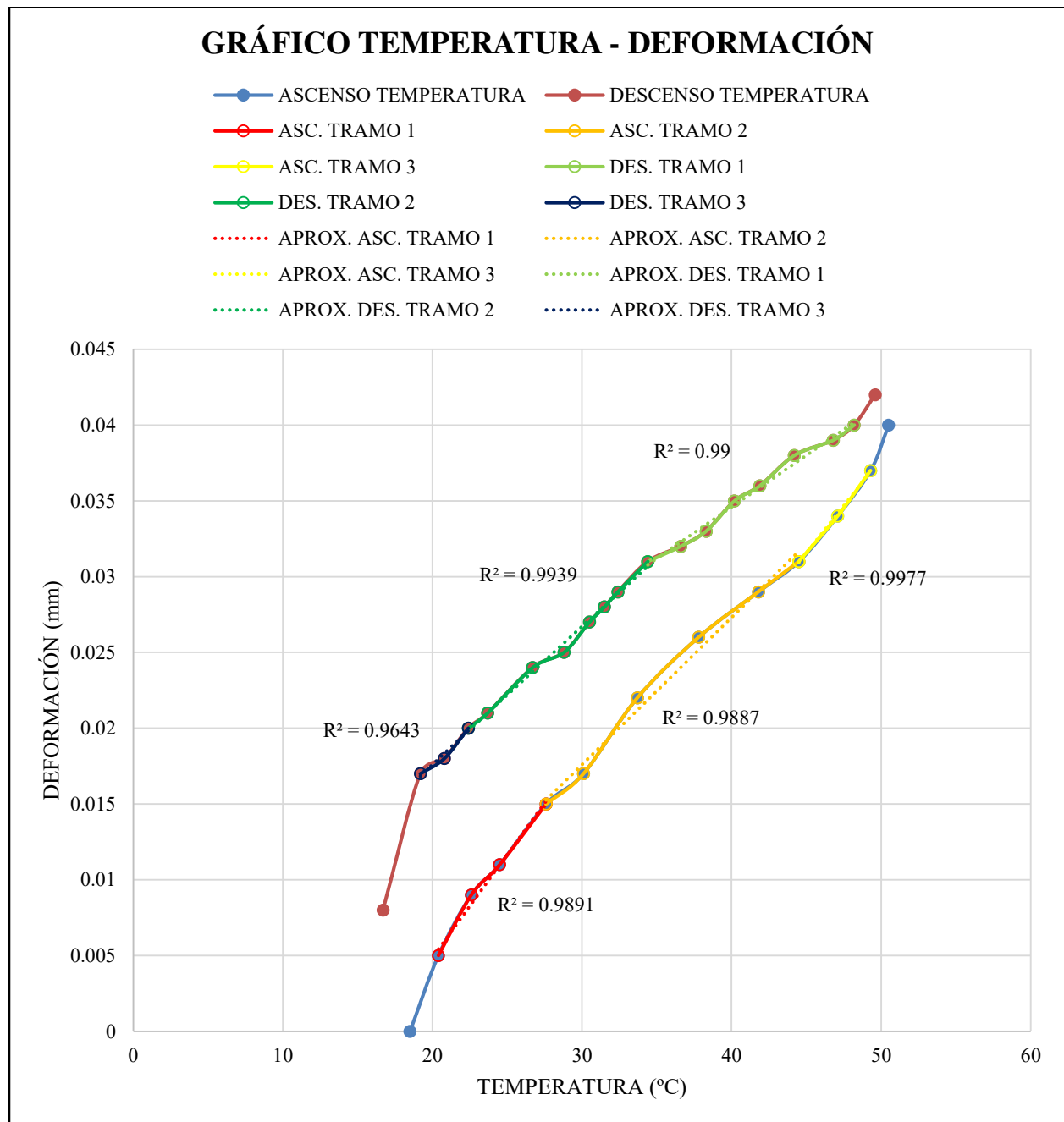


Figura F.8: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-5
Fuente: Elaboración Propia

Con los datos obtenidos se procede a calcular el Coeficiente de Expansión Térmica para cada proceso, dividiendo ambos en 3 partes según se observe en el Gráfico Temperatura – Deformación correspondiente.

Tabla F.19: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-5 en Temperatura Ascendente

ASCENSO	Ti	Tf	M (mm/°C)	R2	M/L	CTE
1	20.4	27.6	0.0013571	0.9891064	7.50E-06	7.46E-06
2	27.6	44.5	0.0009705	0.9887397	5.36E-06	9.60E-06
3	44.5	49.3	0.0012471	0.9976905	6.89E-06	8.07E-06
CTE PROM.					6.58E-06	8.38E-06

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.20: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-5 en Temperatura Descendente

DESCENSO	Ti	Tf	M (mm/°C)	R2	M/L	CTE
1	48.2	34.4	0.0006809	0.9899790	3.76E-06	1.12E-05
2	34.4	22.4	0.0009056	0.9938983	5.00E-06	9.96E-06
3	22.4	19.2	0.0009375	0.9642857	5.18E-06	9.78E-06
CTE PROM.					4.65E-06	1.03E-05

Fuente: Elaboración Propia

6) Ensayo Probeta T-6

a) Toma de Datos

Longitud Probeta = 0.182 m

Tabla F.21: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-6 durante el Ascenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	10:50	0:00	19,9	0	0
	11:10	0:20	19,9	0	0
	11:30	0:40	19,9	0	0
	11:50	1:00	19,9	0	0
ASCENSO DE TEMPERATURA	12:00	1:10	20,1	0	0
	12:05	1:15	22,1	5	0,005
	12:10	1:20	23,8	9	0,009
	12:15	1:25	25,7	12	0,012
	12:20	1:30	27,4	15	0,015
	12:26	1:36	29,8	18	0,018
	12:33	1:43	31,1	20	0,02
	12:40	1:50	34,5	23	0,023
	12:50	2:00	36,8	25	0,025
	13:00	2:10	41,2	28	0,028
	13:10	2:20	44,8	31	0,031
	13:20	2:30	47,3	34	0,034
	13:30	2:40	49,8	38	0,038
	13:40	2:50	50,1	39	0,039

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.22: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-6 durante el Descenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	13:45	2:55	50,1	40	0,04
	14:05	3:15	50,1	40	0,04
	14:25	3:35	50,1	40	0,04
	14:45	3:55	50,1	40	0,04
DESCENSO DE TEMPERATURA	14:50	4:00	49,8	39	0,039
	14:55	4:05	48,7	38	0,038
	15:00	4:10	47,2	37	0,037
	15:05	4:15	46,3	36	0,036
	15:10	4:20	45,1	35	0,035
	15:15	4:25	44,5	34	0,034
	15:20	4:30	43,2	33	0,033
	15:30	4:40	41,2	31	0,031
	15:40	4:50	40,2	29	0,029
	15:50	5:00	39,5	28	0,028
	16:00	5:10	38,7	27	0,027
	16:15	5:25	37,4	26	0,026
	16:30	5:40	36,9	24	0,024
	16:45	5:55	35,4	23	0,023
	17:00	6:10	34,9	22	0,022
	17:15	6:25	33,1	21	0,021
	17:30	6:40	32,3	20	0,02
	17:45	6:55	31,6	19	0,019
18:00	7:10	30,5	18	0,018	
10:30	22:32	18,2	8	0,008	

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

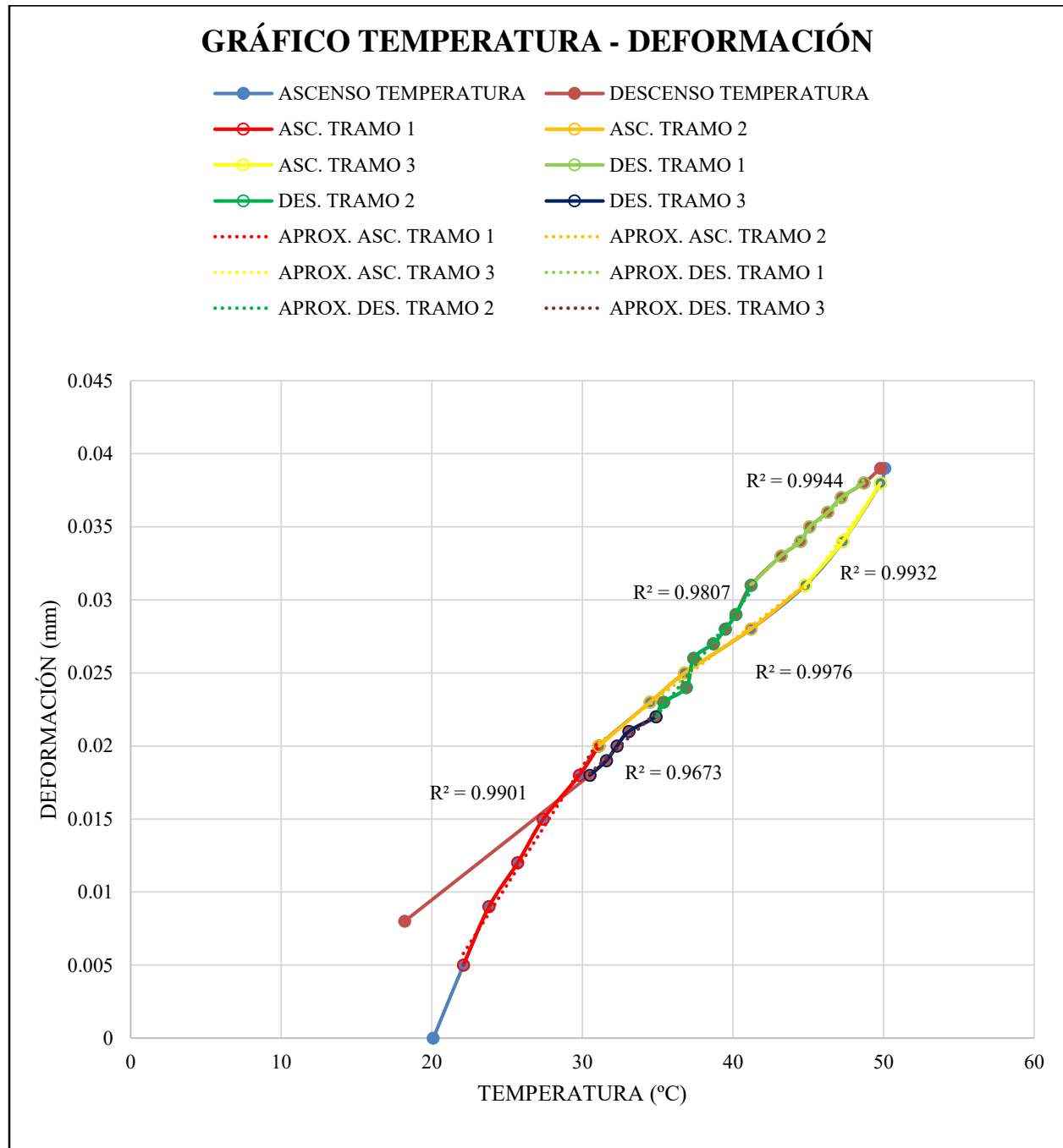


Figura F.9: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-6
Fuente: Elaboración Propia

Con los datos obtenidos se procede a calcular el Coeficiente de Expansión Térmica para cada proceso, dividiendo ambos en 3 partes según se observe en el Gráfico Temperatura – Deformación correspondiente.

Tabla F.23: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-6 en Temperatura Ascendente

ASCENSO	Ti	Tf	M (mm/°C)	R2	M/L	CTE
1	22.1	31.1	0.0016188	0.9901116	8.89E-06	6.07E-06
2	31.1	44.8	0.0007891	0.9976275	4.34E-06	1.06E-05
3	44.8	49.8	0.0014000	0.9932432	7.69E-06	7.27E-06
CTE PROM.					6.97E-06	7.99E-06

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.24: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-6 en Temperatura Descendente

DESCENSO	Ti	Tf	M (mm/°C)	R2	M/L	CTE
1	48.7	41.2	0.0009557	0.9944357	5.25E-06	9.71E-06
2	41.2	34.9	0.0013606	0.9806751	7.48E-06	7.49E-06
3	34.9	30.5	0.0009391	0.9672684	5.16E-06	9.80E-06
CTE PROM.					5.96E-06	9.00E-06

Fuente: Elaboración Propia

7) Ensayo Probeta T-7

a) Toma de Datos

Longitud Probeta = 0.179 m

Tabla F.25: Resultado deL Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-7 durante el Ascenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	10:50	0:00	18,7	0	0
	11:10	0:20	18,7	0	0
	11:30	0:40	18,7	0	0
	11:50	1:00	18,7	0	0
ASCENSO DE TEMPERATURA	12:00	1:10	18,8	0	0
	12:06	1:16	20,3	9	0,009
	12:10	1:20	22,6	15	0,015
	12:15	1:25	24,6	19	0,019
	12:19	1:29	25,9	22	0,022
	12:26	1:36	29,2	25	0,025
	12:34	1:44	31,5	27	0,027
	12:41	1:51	35,9	30	0,03
	12:50	2:00	39,4	33	0,033
	13:00	2:10	42,6	36	0,036
	13:10	2:20	45,9	38	0,038
	13:20	2:30	48,3	41	0,041
	13:35	2:45	50,5	43	0,043

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.26: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-7 durante el Descenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	13:40	2:50	50,5	43	0,043
	14:00	3:10	50,5	43	0,043
	14:20	3:30	50,5	43	0,043
	14:40	3:50	50,5	43	0,043
DESCENSO DE TEMPERATURA	14:45	3:55	50,4	43	0,043
	15:00	4:10	49,8	41	0,041
	15:10	4:20	47,5	40	0,04
	15:19	4:29	46,5	39	0,039
	15:30	4:40	45,9	38	0,038
	15:42	4:52	44,8	37	0,037
	15:51	5:01	43,5	36	0,036
	16:00	5:10	42,5	35	0,035
	16:10	5:20	41,3	34	0,034
	16:20	5:30	39,8	32	0,032
	16:30	5:40	38,5	31	0,031
	16:45	5:55	37,4	30	0,03
	17:00	6:10	35,8	29	0,029
	17:15	6:25	33,6	28	0,028
	17:32	6:42	32,5	28	0,028
	17:50	7:00	30,5	26	0,026
10:00	22:32	17,8	8	0,008	

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

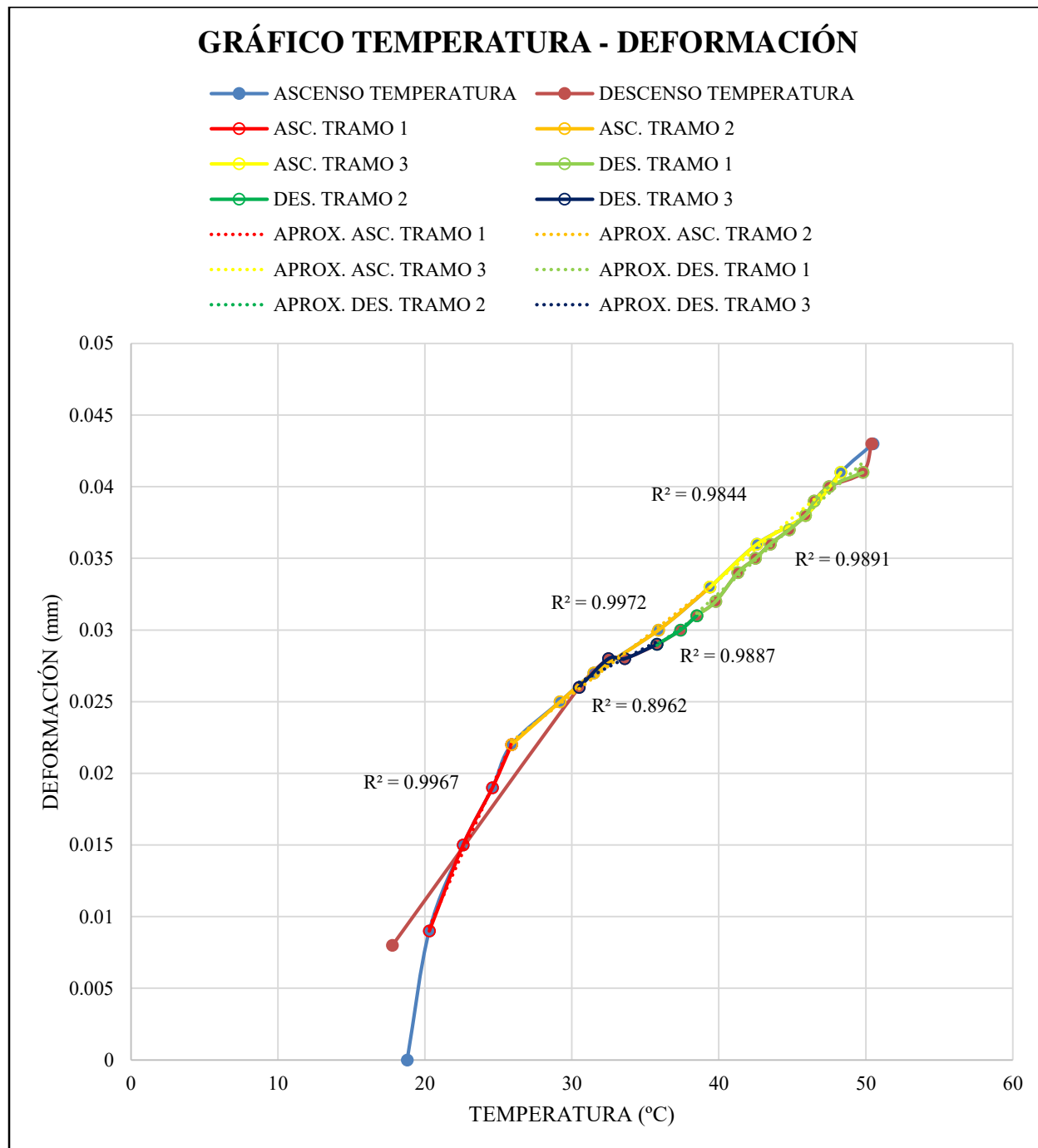


Figura F.10: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-7
Fuente: Elaboración Propia

Con los datos obtenidos se procede a calcular el Coeficiente de Expansión Térmica para cada proceso, dividiendo ambos en 3 partes según se observe en el Gráfico Temperatura – Deformación correspondiente.

Tabla F.27: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-7 en Temperatura Ascendente

ASCENSO	Ti	Tf	M (mm/°C)	R2	M/L	CTE
1	20.3	25.9	0.0022950	0.9967361	1.28E-05	2.14E-06
2	25.9	39.4	0.0007983	0.9971807	4.46E-06	1.05E-05
3	39.4	48.3	0.0008604	0.9844321	4.81E-06	1.02E-05
CTE PROM.					7.36E-06	7.60E-06

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.28: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-7 en Temperatura Descendente

DESCENSO	Ti	Tf	M (mm/°C)	R2	M/L	CTE
1	49.8	38.5	0.0009316	0.9890532	5.20E-06	9.76E-06
2	38.5	35.8	0.0007324	0.9886980	4.09E-06	1.09E-05
3	35.8	30.5	0.0006883	0.8962447	3.85E-06	1.11E-05
CTE PROM.					4.38E-06	1.06E-05

Fuente: Elaboración Propia

8) Ensayo Probeta T-8

a) Toma de Datos

Longitud Probeta = 0.180 m

Tabla F.29: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-8 durante el Ascenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	11:00	0:00	19,4	0	0
	11:20	0:30	19,4	0	0
	11:40	0:50	19,4	0	0
	12:00	1:10	19,4	0	0
ASCENSO DE TEMPERATURA	12:00	1:10	20	0	0
	12:05	1:15	21,5	8	0,008
	12:10	1:20	23,4	15	0,015
	12:15	1:25	26,8	18	0,018
	12:30	1:40	29,6	20	0,02
	12:45	1:55	32,5	22	0,022
	13:00	2:10	35,4	24	0,024
	13:15	2:25	39,8	27	0,027
	13:30	2:40	41,6	28	0,028
	13:45	2:55	44,8	30	0,03
	17:00	6:10	47,1	32	0,032
	14:15	3:25	48,5	33	0,033
	14:30	3:40	50,7	35	0,035

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.30: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-8 durante el Descenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	14:30	3:40	50,7	36	0,036
	14:50	4:00	50,7	36	0,036
	15:10	4:20	50,7	36	0,036
	15:30	4:40	50,7	36	0,036
DESCENSO DE TEMPERATURA	15:40	4:50	50,6	35	0,035
	15:50	5:00	49,5	34	0,034
	16:00	5:10	45,4	33	0,033
	16:10	5:20	43,7	32	0,032
	16:20	5:30	40,8	31	0,031
	16:30	5:40	38,6	30	0,03
	16:40	5:50	36,4	29	0,029
	16:50	6:00	35,1	28	0,028
	17:00	6:10	32,5	27	0,027
	17:10	6:20	30,4	26	0,026
	17:28	6:38	29,7	25	0,025
	17:51	7:01	26,8	23	0,023
	10:00	22:32	18	8	0,008

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

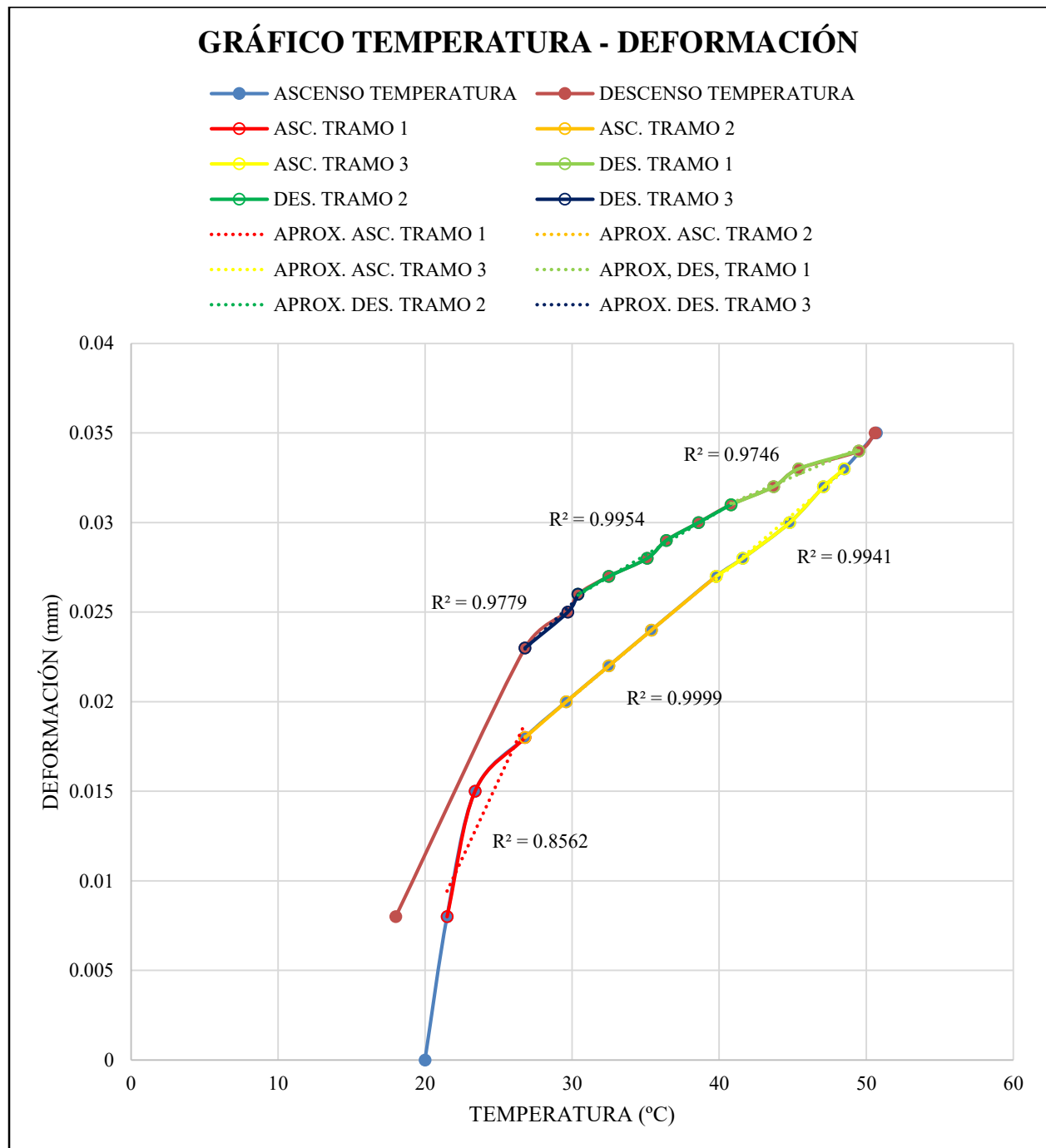


Figura F.11: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-8
Fuente: Elaboración Propia

Con los datos obtenidos se procede a calcular el Coeficiente de Expansión Térmica para cada proceso, dividiendo ambos en 3 partes según se observe en el Gráfico Temperatura – Deformación correspondiente.

Tabla F.31: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-8 en Temperatura Ascendente

ASCENSO	Ti	Tf	M (mm/°C)	R2	M/L	CTE
1	21.5	26.8	0.0017684	0.8562080	9.82E-06	5.14E-06
2	26.8	39.8	0.0006914	0.9999281	3.84E-06	1.11E-05
3	39.8	48.5	0.0006967	0.9941194	3.87E-06	1.11E-05
CTE PROM.					5.85E-06	9.12E-06

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.32: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-8 en Temperatura Ascendente

DESCENSO	Ti	Tf	M (mm/°C)	R2	M/L	CTE
1	49.5	40.8	0.0003506	0.9745776	1.95E-06	1.30E-05
2	40.8	30.4	0.0004866	0.9954228	2.70E-06	1.23E-05
3	30.4	26.8	0.0007914	0.9779441	4.40E-06	1.06E-05
CTE PROM.					3.02E-06	1.19E-05

Fuente: Elaboración Propia

9) Ensayo Probeta T-9

a) Toma de Datos

Longitud Probeta = 0.181 m

Tabla F.33: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-9 durante el Ascenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	11:00	0:00	19,2	0	0
	11:20	0:30	19,2	0	0
	11:40	0:50	19,2	0	0
	12:00	1:10	19,2	0	0
ASCENSO DE TEMPERATURA	12:05	1:15	18,6	0	0
	12:10	1:20	21,8	7	0,007
	12:15	1:25	23,5	10	0,01
	12:20	1:30	25,9	13	0,013
	12:25	1:35	26,5	16	0,016
	12:30	1:40	29,9	19	0,019
	12:35	1:45	31,4	21	0,021
	12:40	1:50	33,6	25	0,025
	12:45	1:55	35,7	27	0,027
	12:50	2:00	39,2	31	0,031
	13:00	2:10	41	33	0,033
	13:10	2:20	42,7	35	0,035
	13:20	2:30	45,8	38	0,038
	13:25	2:35	49,1	42	0,042
	13:30	2:40	50,7	44	0,044

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.34: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-9 durante el Descenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACION DE PROBETA	13:30	2:40	50,9	45	0,045
	13:50	3:00	50,9	45	0,045
	14:10	3:20	50,9	45	0,045
	14:30	3:40	50,9	45	0,045
DESCENSO DE TEMPERATURA	14:35	3:45	50,8	46	0,046
	14:42	3:52	48,9	45	0,045
	14:55	4:05	47,6	44	0,044
	15:08	4:18	46,2	43	0,043
	15:22	4:32	45,3	42	0,042
	15:31	4:41	43,6	41	0,041
	15:45	4:55	42,5	40	0,04
	16:00	5:10	40,8	38	0,038
	16:15	5:25	39,9	37	0,037
	16:40	5:50	37,6	36	0,036
	17:00	6:10	36,5	34	0,034
	17:30	6:40	35,4	33	0,033
	10:00	22:32	18,1	9	0,009

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

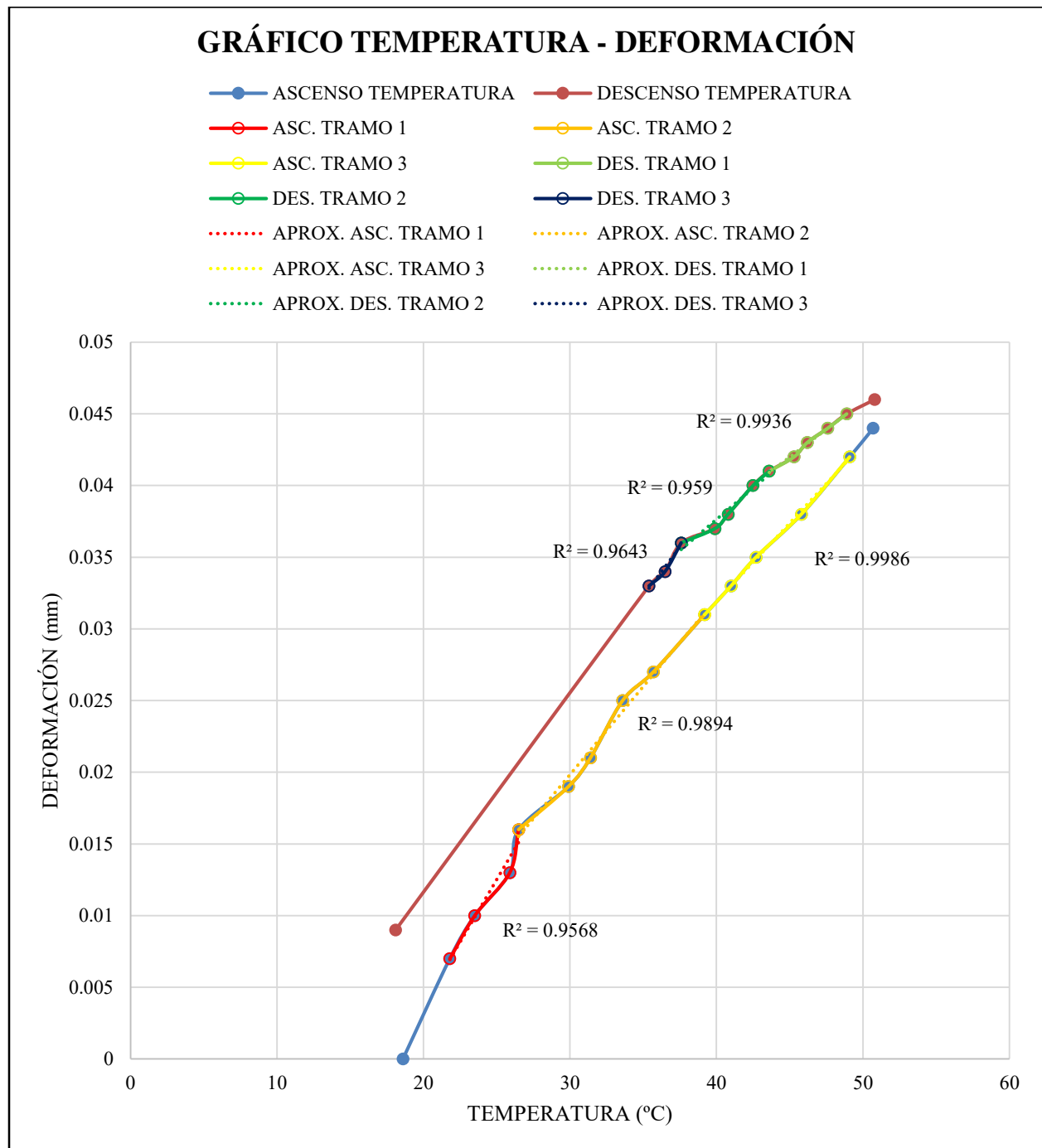


Figura F.12: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-9

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos obtenidos se procede a calcular el Coeficiente de Expansión Térmica para cada proceso, dividiendo ambos en 3 partes según se observe en el Gráfico Temperatura – Deformación correspondiente.

Tabla F.35: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-9 en Temperatura Ascendente

ASCENSO	Ti	Tf	M (mm/°C)	R2	M/L	CTE
1	21.8	26.5	0.0017396	0.9567739	9.61E-06	5.35E-06
2	26.5	39.2	0.0012295	0.9893533	6.79E-06	8.17E-06
3	39.2	49.1	0.0010975	0.9986345	6.06E-06	8.90E-06
CTE PROM.					7.49E-06	7.47E-06

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.36: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-9 en Temperatura Descendente

DESCENSO	Ti	Tf	M (mm/°C)	R2	M/L	CTE
1	48.9	43.6	0.0007702	0.9936112	4.26E-06	1.07E-05
2	43.6	37.6	0.0008709	0.9589858	4.81E-06	1.02E-05
3	37.6	35.4	0.0013636	0.9642857	7.53E-06	7.43E-06
CTE PROM.					5.53E-06	9.43E-06

Fuente: Elaboración Propia

10) Ensayo Probeta T-10

a) Toma de Datos

Longitud Probeta = 0.181 m

Tabla F.37: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-10 durante el Ascenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	11:30	0:00	19	0	0
	11:50	1:00	19	0	0
	12:10	1:20	19	0	0
	12:30	1:40	19	0	0
ASCENSO DE TEMPERATURA	12:31	1:41	19,1	0	0
	12:35	1:45	21,4	6	0,006
	12:40	1:50	23,3	11	0,011
	12:45	1:55	25,4	13	0,013
	13:01	2:11	27,5	17	0,017
	13:10	2:20	30,1	22	0,022
	13:18	2:28	33,7	25	0,025
	13:30	2:40	39,5	28	0,028
	13:40	2:50	42,6	30	0,03
	13:50	3:00	45,8	33	0,033
	14:00	3:10	47,2	36	0,036
	14:10	3:20	48,9	39	0,039
14:20	3:30	50,1	42	0,042	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.38: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-10 durante el Descenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	14:25	3:35	50,7	45	0,045
	14:45	3:55	50,7	45	0,045
	15:04	4:14	50,7	45	0,045
	15:25	4:35	50,7	45	0,045
DESCENSO DE TEMPERATURA	15:30	4:40	50,6	45	0,045
	14:40	3:50	49,1	44	0,044
	15:50	5:00	48,5	43	0,043
	16:00	5:10	47,6	42	0,042
	16:10	5:20	46,6	41	0,041
	16:20	5:30	45,2	40	0,04
	16:30	5:40	44,3	39	0,039
	16:40	5:50	42,6	38	0,038
	16:50	6:00	41,3	37	0,037
	17:01	6:11	39,8	36	0,036
	17:12	6:22	38,7	35	0,035
	17:25	6:35	37,4	34	0,034
	17:40	6:50	36,5	33	0,033
	17:55	7:05	34,9	32	0,032
	18:10	7:20	33,2	30	0,03
	10:00	22:32	18,1	6	0,006

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

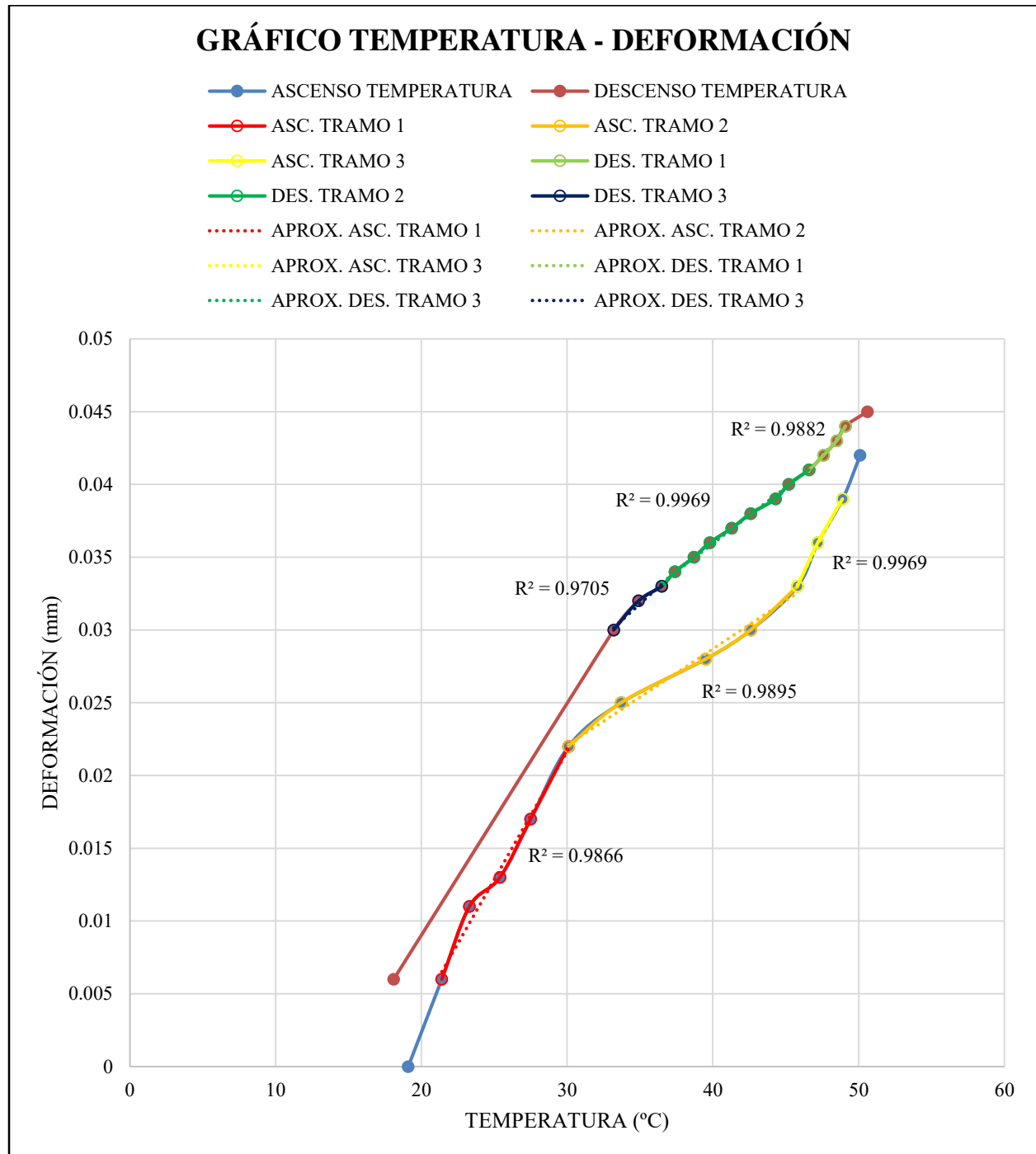


Figura F.13: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-10
Fuente: Elaboración Propia

Con los datos obtenidos se procede a calcular el Coeficiente de Expansión Térmica para cada proceso, dividiendo ambos en 3 partes según se observe en el Gráfico Temperatura – Deformación correspondiente.

Tabla F.39: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-10 en Temperatura Ascendente

ASCENSO	Ti	Tf	M (mm/°C)	R2	M/L	CTE
1	21.4	30.1	0.0017590	0.9865940	9.72E-06	5.24E-06
2	30.1	45.8	0.0006634	0.9895076	3.67E-06	1.13E-05
3	45.8	48.9	0.0019295	0.9968880	1.07E-05	4.30E-06
CTE PROM.					8.01E-06	6.95E-06

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.40: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-10 en Temperatura Descendente

DESCENSO	Ti	Tf	M (mm/°C)	R2	M/L	CTE
1	49.1	46.6	0.0011765	0.9882353	6.50E-06	8.46E-06
2	46.6	36.5	0.0007688	0.9968883	4.25E-06	1.07E-05
3	36.5	33.2	0.0009119	0.9704931	5.04E-06	9.92E-06
CTE PROM.					5.26E-06	9.70E-06

Fuente: Elaboración Propia

11) Ensayo Probeta T-11

a) Toma de Datos

Longitud Probeta = 0.181 m

Tabla F.41: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-11 durante el Ascenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	11:00	0:00	18,3	0	0
	11:20	0:20	18,3	0	0
	11:40	0:40	18,3	0	0
	12:00	1:00	18,3	0	0
ASCENSO DE TEMPERATURA	12:05	1:05	19,1	0	0
	12:10	1:10	21,3	10	0,01
	12:15	1:15	24,2	17	0,017
	12:20	1:20	25,8	20	0,02
	12:25	1:25	28,2	22	0,022
	12:30	1:30	29,5	23	0,023
	12:40	1:40	32,4	26	0,026
	12:50	1:50	35,6	29	0,029
	13:00	2:00	37,9	31	0,031
	13:10	2:10	39,8	33	0,033
	13:20	2:20	42,5	36	0,036
	13:30	2:30	45,7	38	0,038
	13:40	2:40	48,2	40	0,04
	13:50	2:50	50,7	41	0,041

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.42: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-11 durante el Descenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	13:55	2:55	51,1	42	0,042
	14:15	3:15	51,1	42	0,042
	14:35	3:35	51,1	42	0,042
	14:55	3:55	51,1	42	0,042
DESCENSO DE TEMPERATURA	15:00	4:00	51	42	0,042
	15:05	4:05	49,9	41	0,041
	15:10	4:10	48,7	40	0,04
	15:15	4:15	46,1	39	0,039
	15:20	4:20	44,2	38	0,038
	15:30	4:30	42,9	37	0,037
	15:40	4:40	40,6	36	0,036
	15:50	4:50	39,8	35	0,035
	16:00	5:00	37,4	34	0,034
	16:10	5:10	35,8	33	0,033
	16:20	5:20	34,2	32	0,032
	16:30	5:30	33,1	31	0,031
	16:45	5:45	32,4	30	0,03
	17:00	6:00	31,6	29	0,029
	17:15	6:15	30,1	28	0,028
	17:30	6:30	29,4	27	0,027
	18:00	7:00	28,7	26	0,026
	18:30	7:30	27,5	25	0,025
10:00	22:32	18,2	10	0,01	

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de cálculo

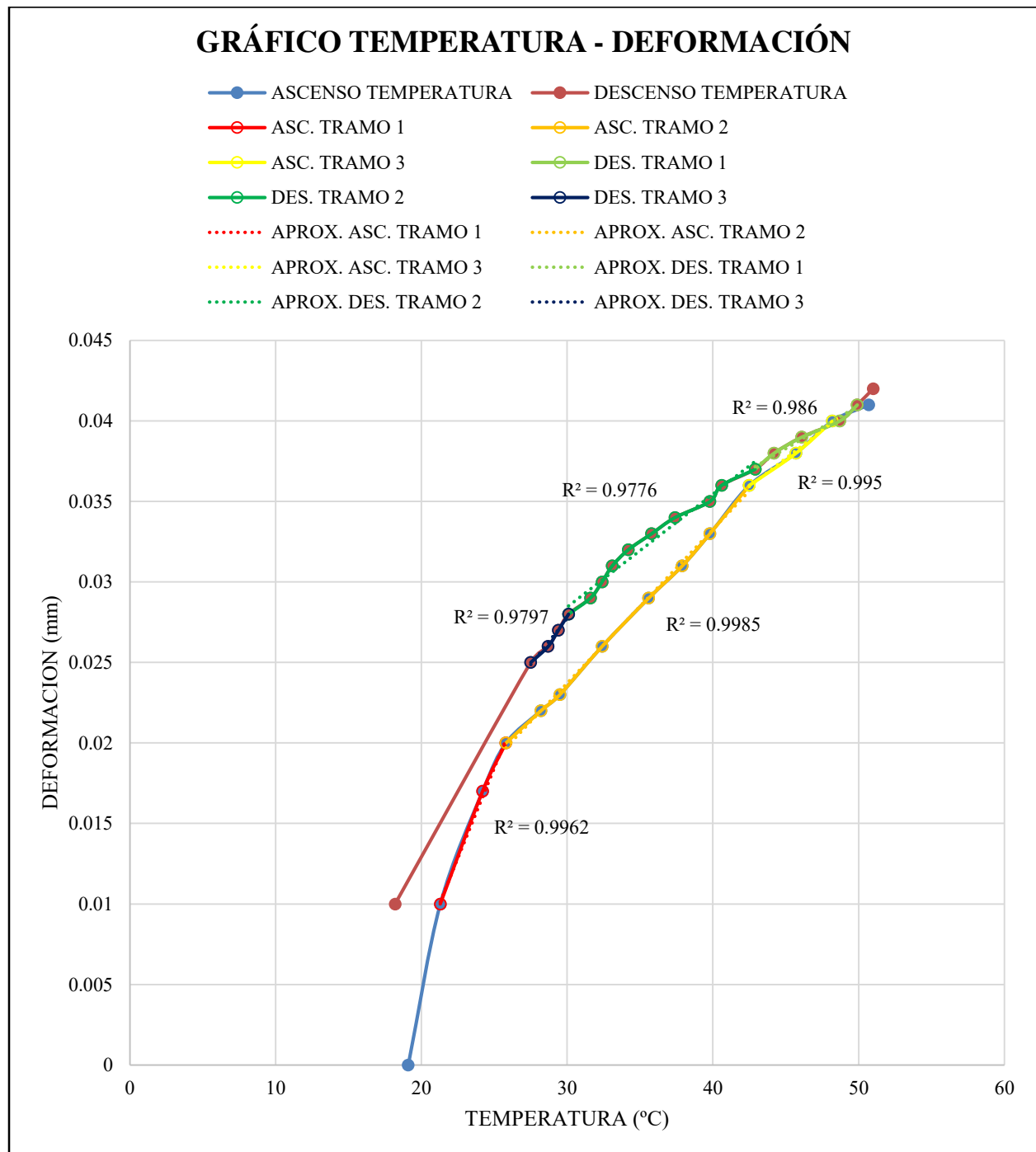


Figura F.14: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-11
Fuente: Elaboración Propia

Con los datos obtenidos se procede a calcular el Coeficiente de Expansión Térmica para cada proceso, dividiendo ambos en 3 partes según se observe en el Gráfico Temperatura – Deformación correspondiente.

Tabla F.43: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-11 en Temperatura Ascendente

ASCENSO	Ti	Tf	M (mm/°C)	R2	M/L	CTE
1	21.3	25.8	0.0022454	0.9961989	1.24E-05	2.56E-06
2	25.8	42.5	0.0009552	0.9984884	5.28E-06	9.68E-06
3	42.5	48.2	0.0006982	0.9949980	3.86E-06	1.11E-05
CTE PROM.					7.18E-06	7.78E-06

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.44: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-11 en Temperatura Descendente

DESCENSO	Ti	Tf	M (mm/°C)	R2	M/L	CTE
1	49.9	42.9	0.0005330	0.9885421	2.94E-06	1.20E-05
2	42.9	30.1	0.0007022	0.9665181	3.88E-06	1.11E-05
3	30.1	27.5	0.0011525	0.9796610	6.37E-06	8.59E-06
CTE PROM.					4.40E-06	1.06E-05

Fuente: Elaboración Propia

12) Ensayo Probeta T-12

a) Toma de Datos

Longitud Probeta = 0.183 m

Tabla F.45: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-12 durante el Ascenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	10:50	0:00	19,3	0	0
	11:10	0:10	19,3	0	0
	11:30	0:30	19,3	0	0
	11:50	0:50	19,3	0	0
ASCENSO DE TEMPERATURA	12:00	1:00	19,3	0	0
	12:06	1:06	20,4	8	0,008
	12:10	1:10	21,7	13	0,013
	12:15	1:15	23,8	17	0,017
	12:19	1:19	25,6	19	0,019
	12:26	1:26	29,7	23	0,023
	12:34	1:34	32,1	25	0,025
	12:41	1:41	35,8	29	0,029
	12:50	1:50	38,9	31	0,031
	13:00	2:00	41,3	33	0,033
	13:10	2:10	44,8	36	0,036
	13:20	2:20	47,3	38	0,038
	13:35	2:35	50,5	41	0,041

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.46: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-12 durante el Descenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	13:40	2:40	50,5	43	0,043
	14:00	3:00	50,5	43	0,043
	14:20	3:20	50,5	43	0,043
	14:40	3:40	50,5	43	0,043
DESCENSO DE TEMPERATURA	14:45	3:45	50,5	43	0,043
	15:00	4:00	49,2	42	0,042
	15:10	4:10	47,8	41	0,041
	15:19	4:19	46,2	40	0,04
	15:30	4:30	45,4	39	0,039
	15:42	4:42	44,3	38	0,038
	15:51	4:51	43,1	37	0,037
	16:00	5:00	42,1	36	0,036
	16:10	5:10	41,6	35	0,035
	16:20	5:20	39,6	34	0,034
	16:30	5:30	38,4	33	0,033
	16:45	5:45	37,3	32	0,032
	17:00	6:00	36,1	31	0,031
	17:15	6:15	34,2	30	0,03
	17:32	6:32	33,2	29	0,029
	17:50	6:50	32,1	27	0,027
10:00	22:32	18,1	10	0,01	

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

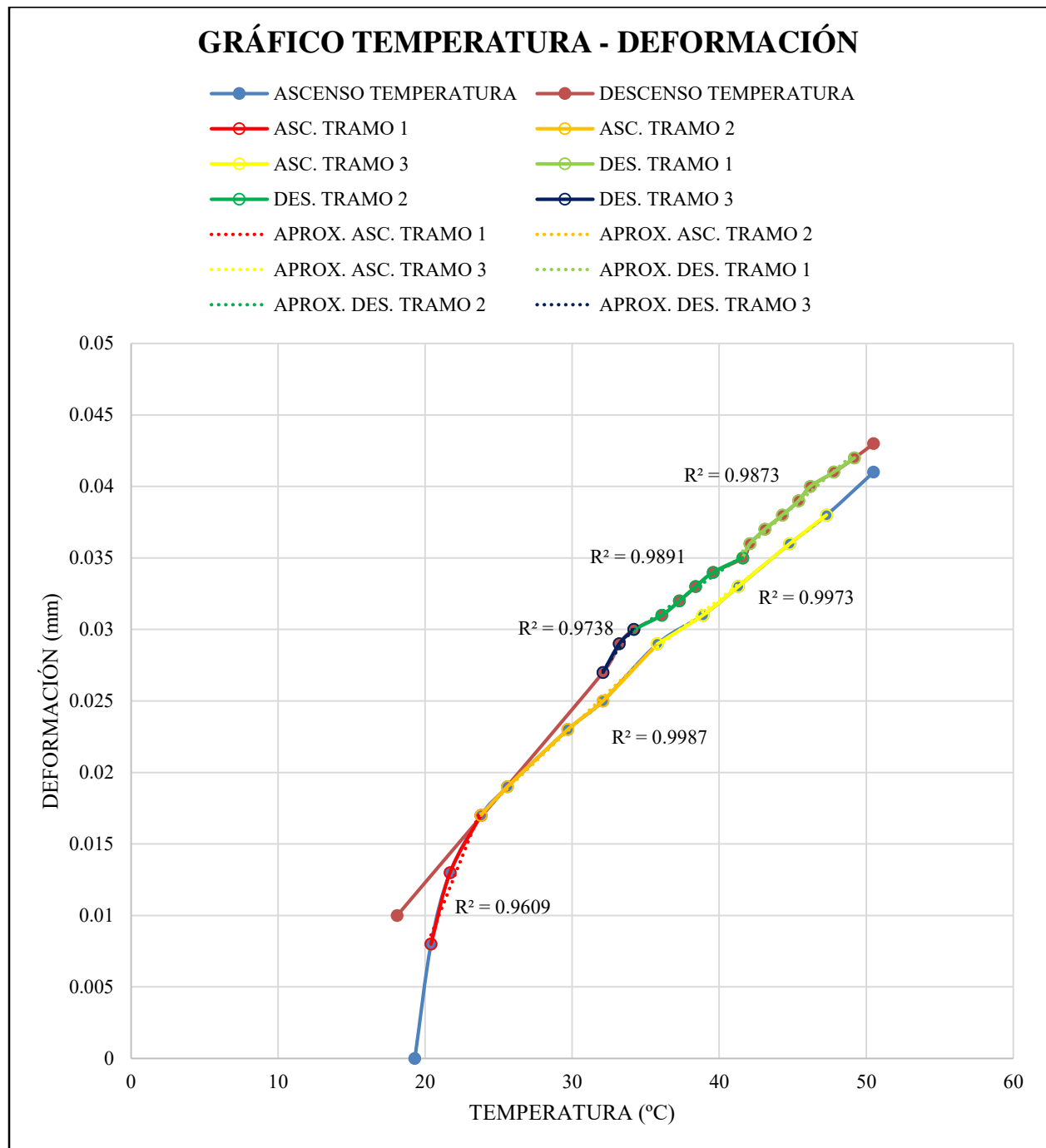


Figura F.15: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-12
Fuente: Elaboración Propia

Con los datos obtenidos se procede a calcular el Coeficiente de Expansión Térmica para cada proceso, dividiendo ambos en 3 partes según se observe en el Gráfico Temperatura – Deformación correspondiente.

Tabla F.47: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-12 en Temperatura Ascendente

ASCENSO	Ti	Tf	M (mm/°C)	R2	M/L	CTE
1	20.4	23.8	0.0025764	0.9608869	1.41E-05	8.83E-07
2	23.8	35.8	0.0009836	0.9987411	5.38E-06	9.59E-06
3	35.8	47.3	0.0007960	0.9973430	4.35E-06	1.06E-05
CTE PROM.					7.93E-06	7.03E-06

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.48: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-12 en Temperatura Descendente

DESCENSO	Ti	Tf	M (mm/°C)	R2	M/L	CTE
1	49.2	41.6	0.0009005	0.9873244	4.92E-06	1.00E-05
2	41.6	34.2	0.0007123	0.9891231	3.89E-06	1.11E-05
3	34.2	32.1	0.0014350	0.9737808	7.84E-06	7.12E-06
CTE PROM.					5.55E-06	9.41E-06

Fuente: Elaboración Propia

13) Ensayo Probeta T-13

a) Toma de Datos

Longitud Probeta = 0.180 m

Tabla F.49: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-13 durante el Ascenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	11:00	0:00	18,8	0	0
	11:20	0:20	18,8	0	0
	11:40	0:40	18,8	0	0
	12:00	1:00	18,8	0	0
ASCENSO DE TEMPERATURA	12:00	1:00	18,9	0	0
	12:05	1:05	21,3	9	0,009
	12:10	1:10	23,4	15	0,015
	12:15	1:15	25,9	19	0,019
	12:30	1:30	28,2	21	0,021
	12:45	1:45	31,3	23	0,023
	13:00	2:00	34,5	25	0,025
	13:15	2:15	37,6	27	0,027
	13:30	2:30	40,2	28	0,028
	13:46	2:46	43,7	30	0,03
	14:00	3:00	45,7	32	0,032
	14:15	3:15	48,6	33	0,033
14:30	3:30	50,5	35	0,035	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.50: Resultado del Ensayo de Obtención de Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-13 durante el Descenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	14:30	3:30	50,7	36	0,036
	14:50	3:50	50,7	36	0,036
	15:10	4:10	50,7	36	0,036
	15:30	4:30	50,7	36	0,036
DESCENSO DE TEMPERATURA	15:40	4:40	50,6	35	0,035
	15:50	4:50	48,3	34	0,034
	16:00	5:00	45,7	33	0,033
	16:10	5:10	41,6	32	0,032
	16:20	5:20	39,3	31	0,031
	16:30	5:30	37,1	30	0,03
	16:40	5:40	34,2	29	0,029
	16:50	5:50	32,2	28	0,028
	17:00	6:00	30,4	27	0,027
	17:10	6:10	29,1	26	0,026
	17:28	6:28	27,6	25	0,025
	17:51	6:51	25,8	23	0,023
	10:00	22:32	18	8	0,008

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

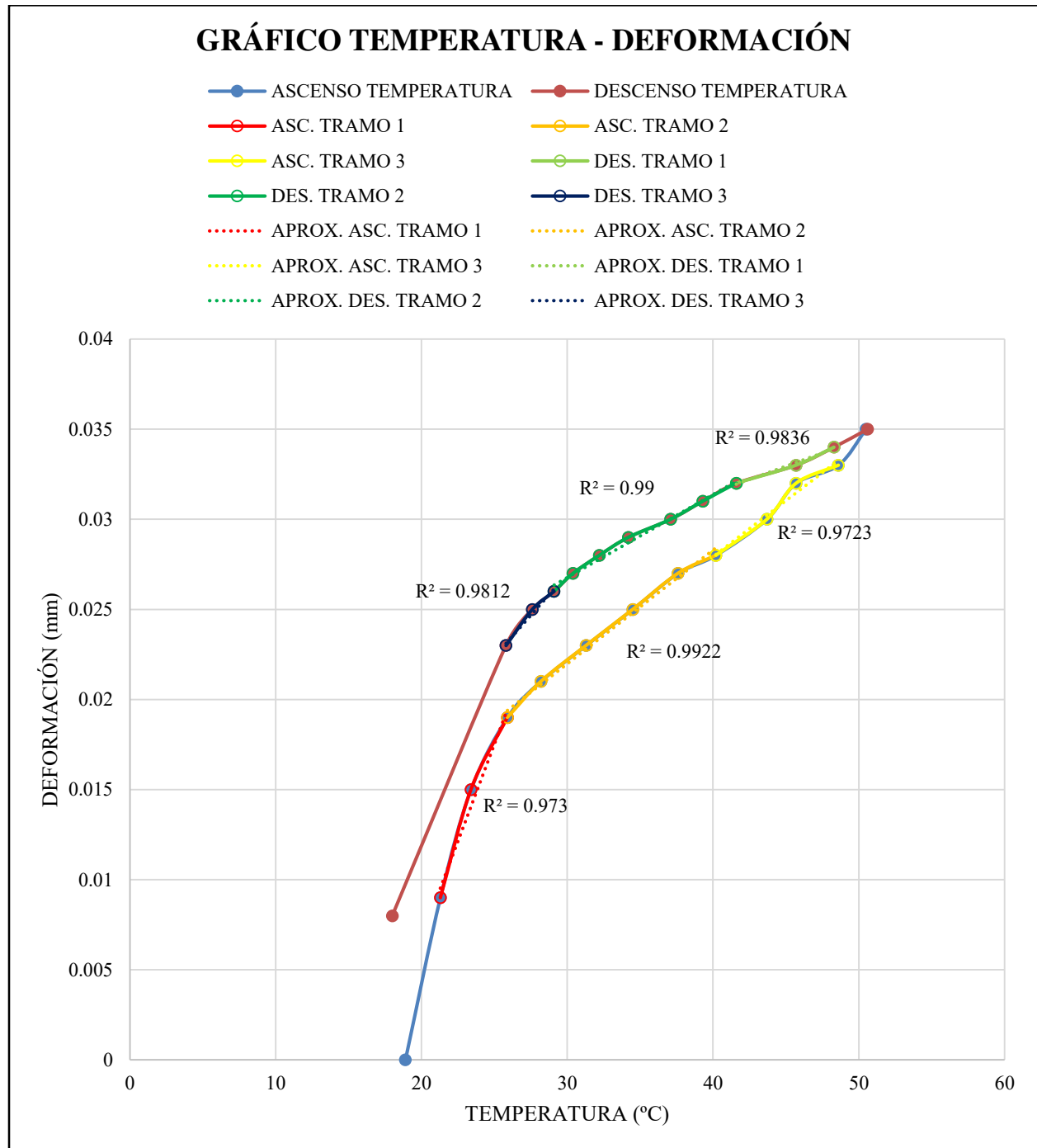


Figura F.16: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-13
Fuente: Elaboración Propia

Con los datos obtenidos se procede a calcular el Coeficiente de Expansión Térmica para cada proceso, dividiendo ambos en 3 partes según se observe en el Gráfico Temperatura – Deformación correspondiente.

Tabla F.51: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-13 en Temperatura Ascendente

ASCENSO	Ti	Tf	M (mm/°C)	R2	M/L	CTE
1	21.3	25.9	0.0021559	0.9729812	1.20E-05	2.98E-06
2	25.9	40.2	0.0006310	0.9922035	3.51E-06	1.15E-05
3	40.2	48.6	0.0006195	0.9722700	3.44E-06	1.15E-05
CTE PROM.					6.31E-06	8.65E-06

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.52: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-13 en Temperatura Descendente

DESCENSO	Ti	Tf	M (mm/°C)	R2	M/L	CTE
1	48.3	41.6	0.0002936	0.9835670	1.63E-06	1.33E-05
2	41.6	29.1	0.0004605	0.9900017	2.56E-06	1.24E-05
3	29.1	25.8	0.0009158	0.9811617	5.09E-06	9.87E-06
CTE PROM.					3.09E-06	1.19E-05

Fuente: Elaboración Propia

14) Ensayo Probeta T-14

a) Toma de Datos

Longitud Probeta = 0.181 m

Tabla F.53: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-14 durante el Ascenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	11:00	0:00	17,9	0	0
	11:20	0:20	17,9	0	0
	11:40	0:40	17,9	0	0
	12:00	1:00	17,9	0	0
ASCENSO DE TEMPERATURA	12:05	1:05	17,9	0	0
	12:10	1:10	20,1	6	0,006
	12:16	1:16	23,6	11	0,011
	12:20	1:20	25,7	15	0,015
	12:25	1:25	27,1	17	0,017
	12:31	1:31	28,9	19	0,019
	12:35	1:35	32,2	22	0,022
	12:40	1:40	34,9	25	0,025
	12:45	1:45	36,7	27	0,027
	12:50	1:50	38,2	30	0,03
	13:00	2:00	40,6	32	0,032
	13:11	2:11	42,3	34	0,034
	13:17	2:17	44,6	37	0,037
	13:25	2:25	47,3	40	0,04
	13:30	2:30	50,1	42	0,042

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.54: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-14 durante el Descenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	13:30	2:30	50,3	42	0,042
	13:50	2:50	50,3	42	0,042
	14:10	3:10	50,3	42	0,042
	14:30	3:30	50,3	42	0,042
DESCENSO DE TEMPERATURA	14:35	3:35	50,3	42	0,042
	14:42	3:42	49,7	41	0,041
	14:55	3:55	48,6	40	0,04
	15:08	4:08	46,9	39	0,039
	15:22	4:22	44,8	38	0,038
	15:31	4:31	42,1	37	0,037
	15:45	4:45	41,3	36	0,036
	16:00	5:00	40,1	35	0,035
	16:15	5:15	38,6	34	0,034
	16:40	5:40	37,5	33	0,033
	17:00	6:00	36,2	32	0,032
	17:20	6:20	35,4	31	0,031
	17:40	6:40	34,2	30	0,03
	18:00	7:00	32,1	29	0,029
	18:30	7:30	31,5	28	0,028
	10:00	22:32	18,1	12	0,012

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

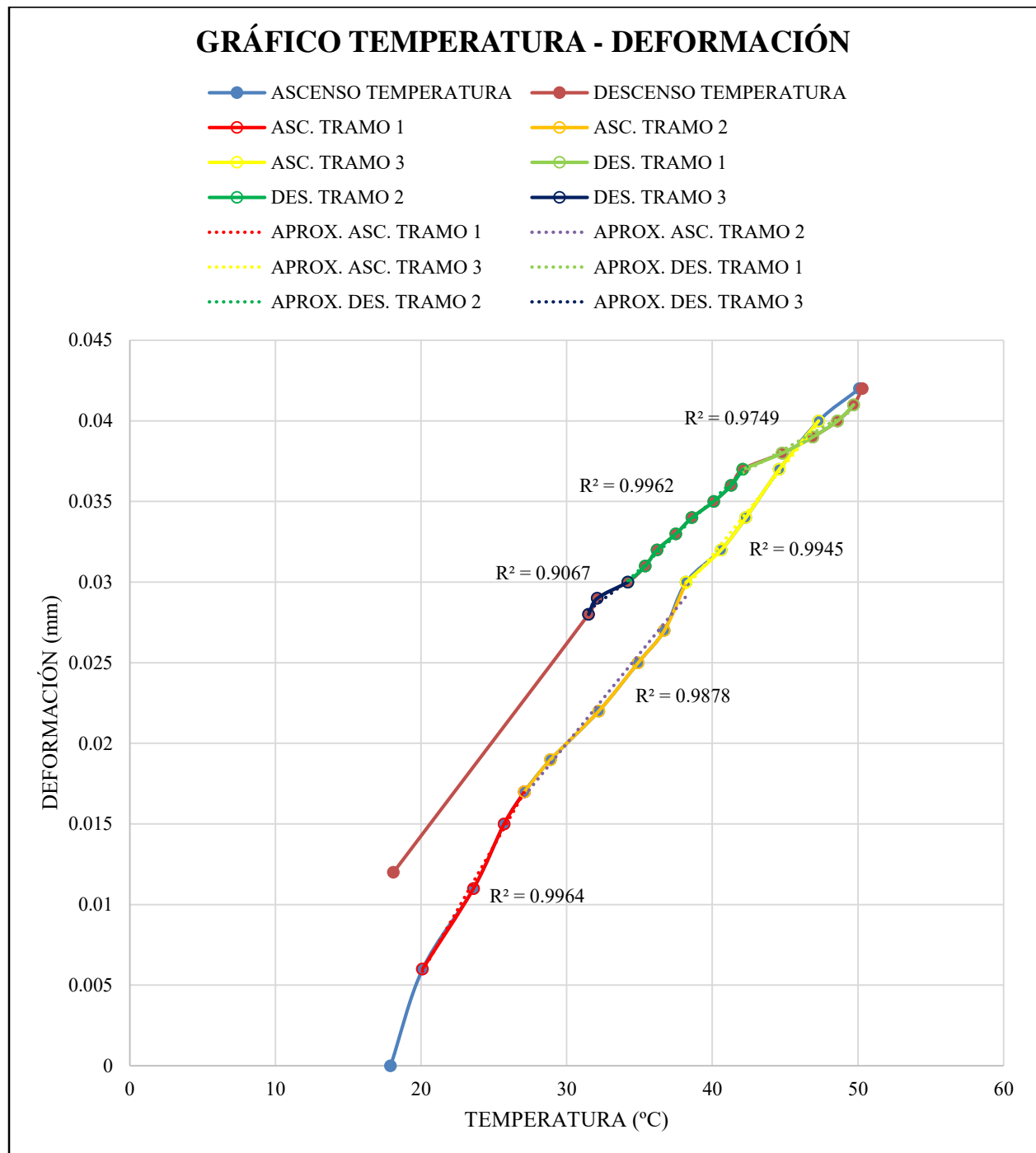


Figura F.17: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-14
Fuente: Elaboración Propia

Con los datos obtenidos se procede a calcular el Coeficiente de Expansión Térmica para cada proceso, dividiendo ambos en 3 partes según se observe en el Gráfico Temperatura – Deformación correspondiente.

Tabla F.55: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-14 en Temperatura Ascendente

ASCENSO	Ti	Tf	M (mm/°C)	R2	M/L	CTE
1	20.1	27.1	0.0015922	0.9963886	8.80E-06	6.17E-06
2	27.1	38.2	0.0011139	0.9877961	6.15E-06	8.81E-06
3	38.2	47.3	0.0011264	0.9944783	6.22E-06	8.74E-06
CTE PROM.					7.06E-06	7.90E-06

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.56: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-14 en Temperatura Ascendente

DESCENSO	Ti	Tf	M (mm/°C)	R2	M/L	CTE
1	49.7	42.1	0.0005131	0.9749379	2.83E-06	1.21E-05
2	42.1	34.2	0.0008148	0.9926456	4.50E-06	1.05E-05
3	34.2	31.5	0.0006716	0.9067164	3.71E-06	1.13E-05
CTE PROM.					3.68E-06	1.13E-05

Fuente: Elaboración Propia

15) Ensayo Probeta T-15

a) Toma de Datos

Longitud Probeta = 0.182 m

Tabla F.57: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-15 durante el Ascenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	11:30	0:00	19,2	0	0
	11:50	0:50	19,2	0	0
	12:10	1:10	19,2	0	0
	12:30	1:30	19,2	0	0
ASCENSO DE TEMPERATURA	12:30	1:30	19,2	0	0
	12:35	1:35	22,4	7	0,007
	12:40	1:40	24,6	11	0,011
	12:45	1:45	28,7	17	0,017
	13:00	2:00	30,4	19	0,019
	13:10	2:10	33,8	22	0,022
	13:18	2:18	35,4	25	0,025
	13:29	2:29	39,2	29	0,029
	13:40	2:40	41,7	31	0,031
	13:50	2:50	44,8	35	0,035
	14:01	3:01	47,6	37	0,037
	14:10	3:10	49,6	41	0,041
	14:20	3:20	50,4	43	0,043

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.58: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-15 durante el Descenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	14:25	3:25	51	43	0,043
	14:45	3:45	51	43	0,043
	15:04	4:04	51	43	0,043
	15:25	4:25	51	43	0,043
DESCENSO DE TEMPERATURA	15:30	4:30	50,9	43	0,043
	14:40	3:40	49,5	42	0,042
	15:50	4:50	48,6	41	0,041
	16:00	5:00	47,2	40	0,04
	16:10	5:10	46,3	39	0,039
	16:20	5:20	45,2	38	0,038
	16:30	5:30	44,3	37	0,037
	16:40	5:40	42,8	36	0,036
	16:50	5:50	40,5	34	0,034
	17:01	6:01	39,4	33	0,033
	17:12	6:12	38,6	32	0,032
	17:25	6:25	37,3	31	0,031
	17:40	6:40	36,8	30	0,03
	17:55	6:55	35,2	29	0,029
	18:10	7:10	33,1	28	0,028
	10:00	22:32	18,5	7	0,007

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

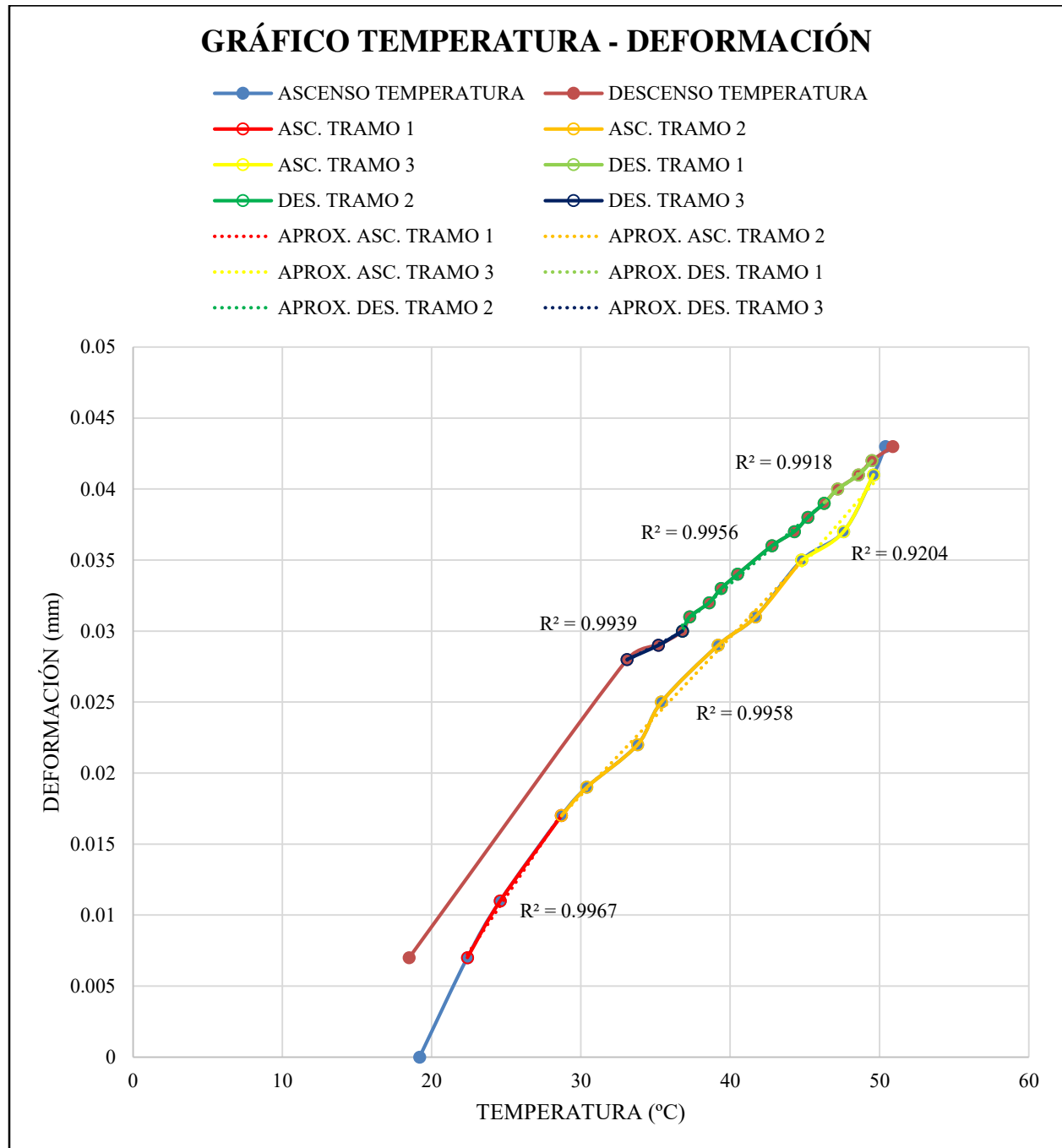


Figura F.18: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-15
Fuente: Elaboración Propia

Con los datos obtenidos se procede a calcular el Coeficiente de Expansión Térmica para cada proceso, dividiendo ambos en 3 partes según se observe en el Gráfico Temperatura – Deformación correspondiente.

Tabla F.59: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-15 en Temperatura Ascendente

ASCENSO	Ti	Tf	M (mm/°C)	R2	M/L	CTE
1	22.4	28.7	0.0015716	0.9967052	8.63E-06	6.33E-06
2	28.7	44.8	0.0011112	0.9958169	6.11E-06	8.86E-06
3	44.8	49.6	0.0012156	0.9203801	6.68E-06	8.28E-06
CTE PROM.					7.14E-06	7.82E-06

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.60: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-15 en Temperatura Descendente

DESCENSO	Ti	Tf	M (mm/°C)	R2	M/L	CTE
1	49.5	46.3	0.0009016	0.9918033	4.95E-06	1.00E-05
2	46.3	36.8	0.0009083	0.9955558	4.99E-06	9.97E-06
3	36.8	33.1	0.0005373	0.9939497	2.95E-06	1.20E-05
CTE PROM.					4.30E-06	1.07E-05

Fuente: Elaboración Propia

16) Ensayo Probeta T-16

a) Toma de Datos

Longitud Probeta = 0.182 m

Tabla F.61: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-16 durante el Ascenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	11:00	0:00	18,5	0	0
	11:20	0:20	18,5	0	0
	11:40	0:40	18,5	0	0
	12:00	1:00	18,5	0	0
ASCENSO DE TEMPERATURA	12:05	1:05	18,5	0	0
	12:10	1:10	20,7	8	0,008
	12:15	1:15	22,4	13	0,013
	12:20	1:20	25,9	19	0,019
	12:25	1:25	28,1	22	0,022
	12:30	1:30	29,8	23	0,023
	12:40	1:40	31,8	25	0,025
	12:50	1:50	34,7	28	0,028
	13:00	2:00	37,4	30	0,03
	13:10	2:10	39,8	32	0,032
	13:20	2:20	41,5	35	0,035
	13:30	2:30	44,6	37	0,037
	13:40	2:40	47,3	39	0,039
13:50	2:50	50,6	42	0,042	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.62: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-16 durante el Descenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	13:55	2:55	51	43	0,043
	14:15	3:15	51	43	0,043
	14:35	3:35	51	43	0,043
	14:55	3:55	51	43	0,043
DESCENSO DE TEMPERATURA	15:00	4:00	51	43	0,043
	15:05	4:05	49,2	42	0,042
	15:10	4:10	48,6	41	0,041
	15:15	4:15	46,1	40	0,04
	15:20	4:20	45,3	39	0,039
	15:30	4:30	42,8	37	0,037
	15:40	4:40	41,1	36	0,036
	15:50	4:50	39,7	35	0,035
	16:00	5:00	37,3	34	0,034
	16:10	5:10	35,9	33	0,033
	16:20	5:20	34,1	32	0,032
	16:30	5:30	33,6	31	0,031
	16:45	5:45	32,5	30	0,03
	17:00	6:00	31,4	29	0,029
	17:15	6:15	29,9	28	0,028
	17:30	6:30	28,1	27	0,027
	18:00	7:00	27,3	26	0,026
	18:30	7:30	26,5	25	0,025
10:00	22:32	18,2	10	0,01	

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

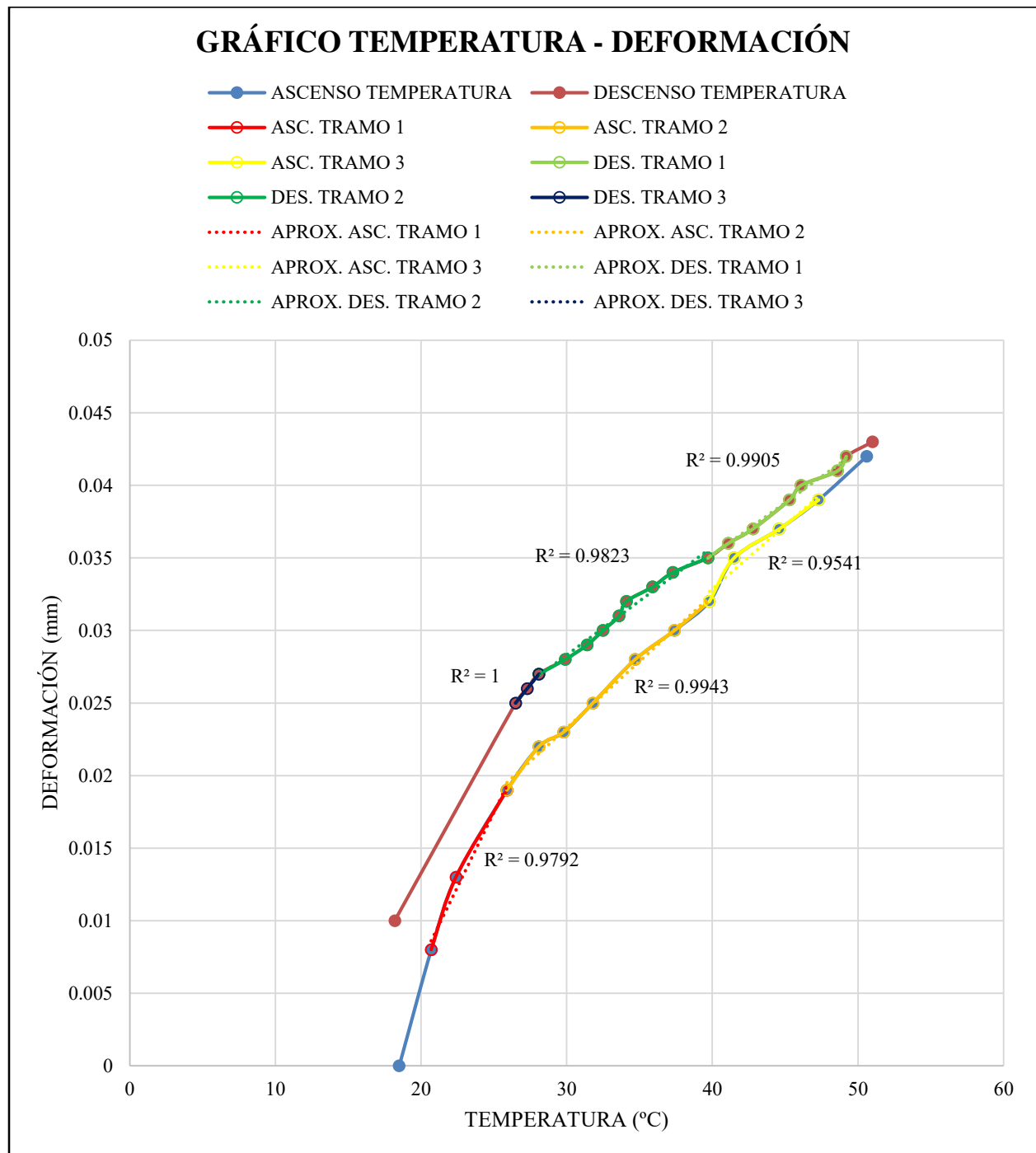


Figura F.19: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-16
Fuente: Elaboración Propia

Con los datos obtenidos se procede a calcular el Coeficiente de Expansión Térmica para cada proceso, dividiendo ambos en 3 partes según se observe en el Gráfico Temperatura – Deformación correspondiente.

Tabla F.63: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-16 en Temperatura Ascendente

ASCENSO	Ti	Tf	M (mm/°C)	R2	M/L	CTE
1	20.7	25.9	0.0020555	0.9791748	1.13E-05	3.67E-06
2	25.9	39.8	0.0009186	0.9942815	5.05E-06	9.91E-06
3	39.8	47.3	0.0008770	0.9540822	4.82E-06	1.01E-05
CTE PROM.					7.05E-06	7.91E-06

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.64: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-16 en Temperatura Descendente

DESCENSO	Ti	Tf	M (mm/°C)	R2	M/L	CTE
1	49.2	39.7	0.0007216	0.9904565	3.96E-06	1.10E-05
2	39.7	28.1	0.0007442	0.9822897	4.09E-06	1.09E-05
3	28.1	26.5	0.0012500	1.0000000	6.87E-06	8.09E-06
CTE PROM.					4.97E-06	9.99E-06

Fuente: Elaboración Propia

17) Ensayo Probeta T-17

a) Toma de Datos

Longitud Probeta = 0.181 m

Tabla F.65: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-17 durante el Ascenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	11:00	0:00	18,6	0	0
	11:20	0:20	18,6	0	0
	11:40	0:40	18,6	0	0
	12:00	1:00	18,6	0	0
ASCENSO DE TEMPERATURA	12:05	1:05	18,6	0	0
	12:10	1:10	20,1	7	0,007
	12:15	1:15	22,5	10	0,01
	12:20	1:20	24,6	15	0,015
	12:25	1:25	26,8	18	0,018
	12:30	1:30	29,3	21	0,021
	12:40	1:40	31,4	24	0,024
	12:50	1:50	34,8	27	0,027
	13:00	2:00	37,6	30	0,03
	13:10	2:10	40,2	32	0,032
	13:20	2:20	43,5	36	0,036
	13:30	2:30	45,6	39	0,039
	13:40	2:40	48,5	41	0,041
	13:50	2:50	50,1	43	0,043

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.66: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-17 durante el Descenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	13:55	2:55	50,8	45	0,045
	14:15	3:15	50,8	45	0,045
	14:35	3:35	50,8	45	0,045
	14:55	3:55	50,8	45	0,045
DESCENSO DE TEMPERATURA	15:00	4:00	50,8	45	0,045
	15:05	4:05	49,5	44	0,044
	15:10	4:10	47,6	43	0,043
	15:15	4:15	46,1	42	0,042
	15:20	4:20	45,2	41	0,041
	15:30	4:30	44,5	40	0,04
	15:40	4:40	43,2	39	0,039
	15:50	4:50	42,2	38	0,038
	16:00	5:00	41,4	37	0,037
	16:10	5:10	39,4	36	0,036
	16:20	5:20	38,6	35	0,035
	16:30	5:30	37,3	34	0,034
	16:45	5:45	36,2	33	0,033
	17:00	6:00	34,8	32	0,032
	17:15	6:15	33,6	31	0,031
	17:30	6:30	32,1	30	0,03
17:30	22:32	17,5	12	0,012	

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

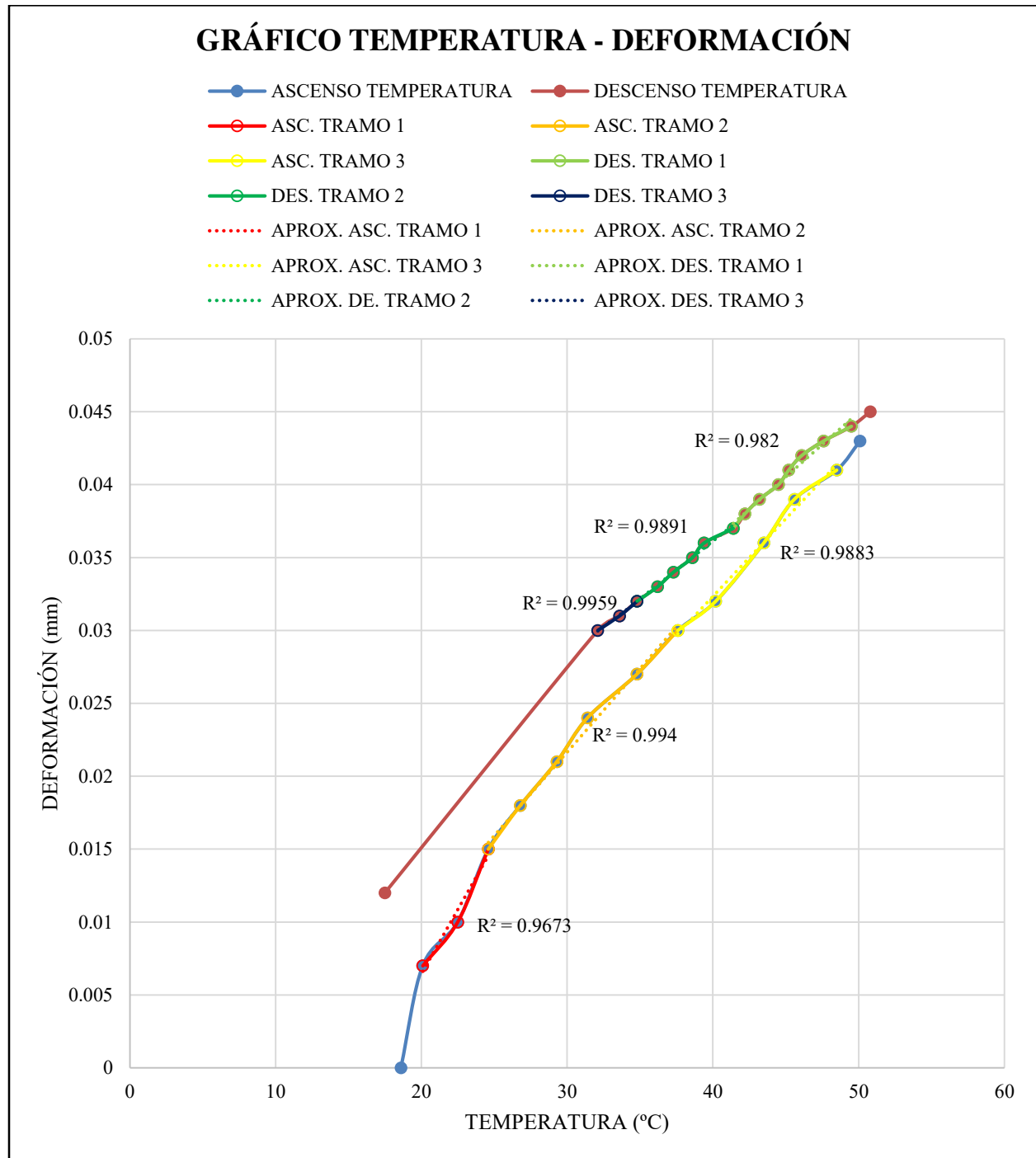


Figura F.20: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-17
Fuente: Elaboración Propia

Con los datos obtenidos se procede a calcular el Coeficiente de Expansión Térmica para cada proceso, dividiendo ambos en 3 partes según se observe en el Gráfico Temperatura – Deformación correspondiente.

Tabla F.67: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-17 en Temperatura Ascendente

ASCENSO	Ti	Tf	M (mm/°C)	R2	M/L	CTE
1	20.1	24.6	0.0017653	0.9673047	9.75E-06	5.21E-06
2	24.6	37.6	0.0011457	0.9940066	6.33E-06	8.63E-06
3	37.6	48.5	0.0010651	0.9883398	5.88E-06	9.08E-06
CTE PROM.					7.32E-06	7.64E-06

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.68: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-17 en Temperatura Descendente

DESCENSO	Ti	Tf	M (mm/°C)	R2	M/L	CTE
1	49.5	41.4	0.0008860	0.9819974	4.90E-06	1.01E-05
2	41.4	34.8	0.0007886	0.9890990	4.36E-06	1.06E-05
3	34.8	32.1	0.0007377	0.9959016	4.08E-06	1.09E-05
CTE PROM.					4.44E-06	1.05E-05

Fuente: Elaboración Propia

18) Ensayo Probeta T-18

a) Toma de Datos

Longitud Probeta = 0.181 m

Tabla F.69: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-18 durante el Ascenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	11:00	0:00	19,2	0	0
	11:20	0:20	19,2	0	0
	11:40	0:40	19,2	0	0
	12:00	1:00	19,2	0	0
ASCENSO DE TEMPERATURA	12:00	1:00	19,2	0	0
	12:05	1:05	21,1	9	0,009
	12:10	1:10	23,3	15	0,015
	12:15	1:15	25,4	19	0,019
	12:30	1:30	27,3	21	0,021
	12:45	1:45	30,5	23	0,023
	13:00	2:00	33,9	25	0,025
	13:15	2:15	37,1	27	0,027
	13:30	2:30	40,3	28	0,028
	13:45	2:45	43,4	30	0,03
	14:00	3:00	45,6	32	0,032
	14:15	3:15	48,2	33	0,033
14:30	3:30	50,3	36	0,036	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.70: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-18 durante el Descenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	14:30	3:30	50,5	37	0,037
	14:50	3:50	50,5	37	0,037
	15:10	4:10	50,5	37	0,037
	15:30	4:30	50,5	37	0,037
DESCENSO DE TEMPERATURA	15:40	4:40	50,4	36	0,036
	15:50	4:50	48,1	35	0,035
	16:00	5:00	45,6	34	0,034
	16:10	5:10	42,1	33	0,033
	16:20	5:20	39,6	32	0,032
	16:30	5:30	37,2	31	0,031
	16:40	5:40	34,3	30	0,03
	16:50	5:50	32,5	29	0,029
	17:00	6:00	30,8	28	0,028
	17:10	6:10	29,3	27	0,027
	17:30	6:30	27,4	26	0,026
	18:00	7:00	26,5	25	0,025
	10:00	22:32	18,5	8	0,008

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

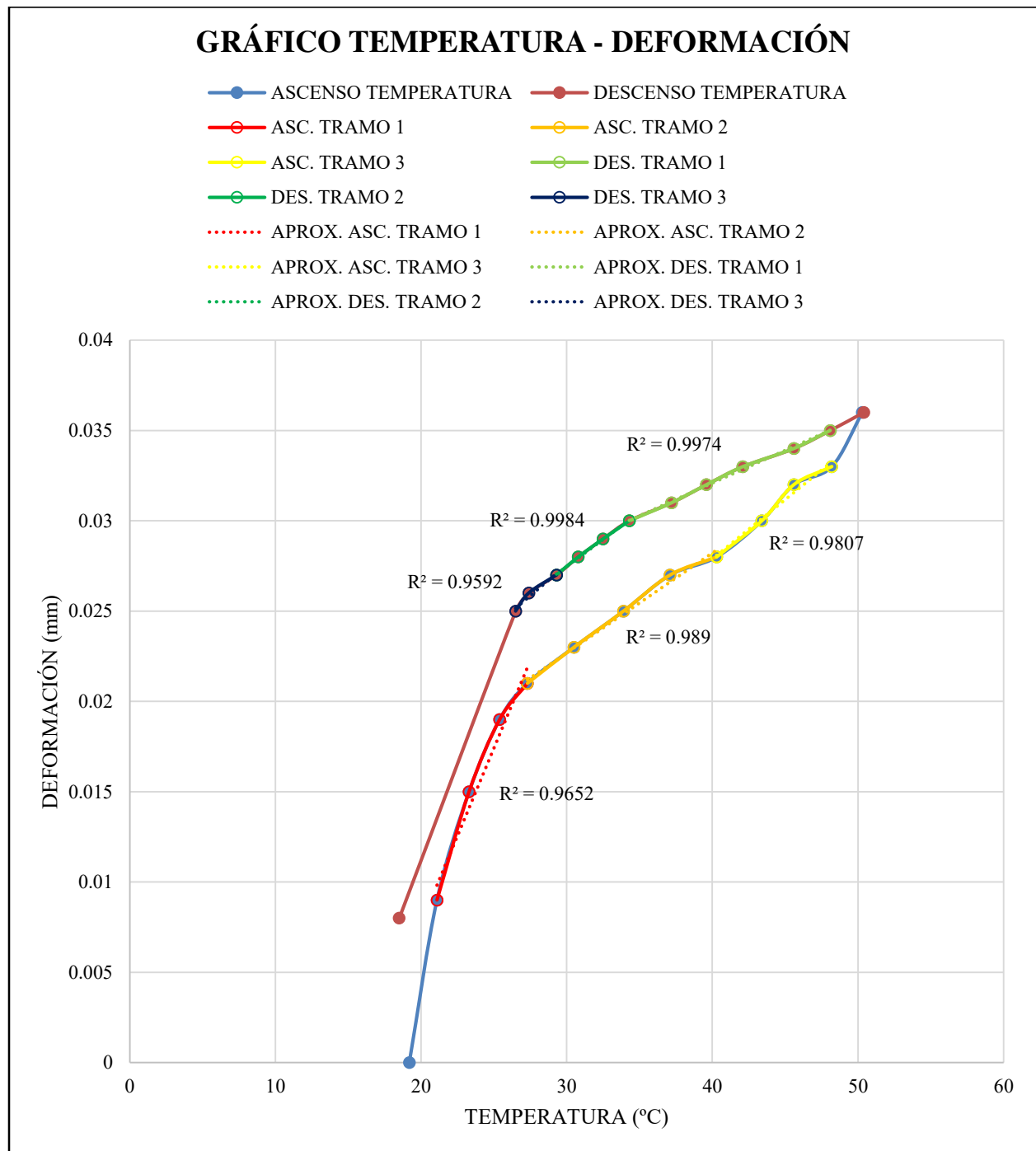


Figura F.21: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-18
Fuente: Elaboración Propia

Con los datos obtenidos se procede a calcular el Coeficiente de Expansión Térmica para cada proceso, dividiendo ambos en 3 partes según se observe en el Gráfico Temperatura – Deformación correspondiente.

Tabla F.71: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-18 en Temperatura Ascendente

ASCENSO	Ti	Tf	M (mm/°C)	R2	M/L	CTE
1	21.1	27.3	0.0019443	0.9651974	1.07E-05	4.22E-06
2	27.3	40.3	0.0005525	0.9890404	3.05E-06	1.19E-05
3	40.3	48.2	0.0006553	0.9807100	3.62E-06	1.13E-05
CTE PROM.					5.80E-06	9.16E-06

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.72: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-18 en Temperatura Descendente

DESCENSO	Ti	Tf	M (mm/°C)	R2	M/L	CTE
1	48.1	34.3	0.0003610	0.9973804	1.99E-06	1.30E-05
2	34.3	29.3	0.0005978	0.9983533	3.30E-06	1.17E-05
3	29.3	26.5	0.0006852	0.9592170	3.79E-06	1.12E-05
CTE PROM.					3.03E-06	1.19E-05

Fuente: Elaboración Propia

19) Ensayo Probeta T-19

a) Toma de Datos

Longitud Probeta = 0.181 m

Tabla F.73: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-19 durante el Ascenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	11:00	0:00	18,7	0	0
	11:20	0:20	18,7	0	0
	11:40	0:40	18,7	0	0
	12:00	1:00	18,7	0	0
ASCENSO DE TEMPERATURA	12:05	1:05	18,7	0	0
	12:10	1:10	20,6	8	0,008
	12:15	1:15	22,9	12	0,012
	12:20	1:20	25,4	19	0,019
	12:25	1:25	26,8	21	0,021
	12:30	1:30	28,5	23	0,023
	12:35	1:35	31,6	25	0,025
	12:40	1:40	33,8	27	0,027
	12:45	1:45	35,7	29	0,029
	12:50	1:50	38,3	31	0,031
	13:00	2:00	41,1	33	0,033
	13:10	2:10	44,2	35	0,035
	13:20	2:20	47,6	37	0,037
	13:30	2:30	50,1	39	0,039

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.74: Resultado del Ensayo de Obtención de Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-19 durante el Descenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	13:30	2:30	50,5	41	0,041
	13:50	2:50	50,5	41	0,041
	14:10	3:10	50,5	41	0,041
	14:30	3:30	50,5	41	0,041
DESCENSO DE TEMPERATURA	14:35	3:35	50,3	40	0,04
	14:42	3:42	49,6	39	0,039
	14:55	3:55	48,3	38	0,038
	15:08	4:08	46,2	37	0,037
	15:22	4:22	44,2	36	0,036
	15:30	4:30	41,8	35	0,035
	15:45	4:45	39,7	34	0,034
	16:00	5:00	37,5	33	0,033
	16:15	5:15	36,2	32	0,032
	16:40	5:40	35,4	31	0,031
	17:00	6:00	34,2	30	0,03
	17:20	6:20	33,2	29	0,029
	17:40	6:40	32,5	28	0,028
	18:00	7:00	31,3	27	0,027
	10:00	22:32	18,2	8	0,008

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

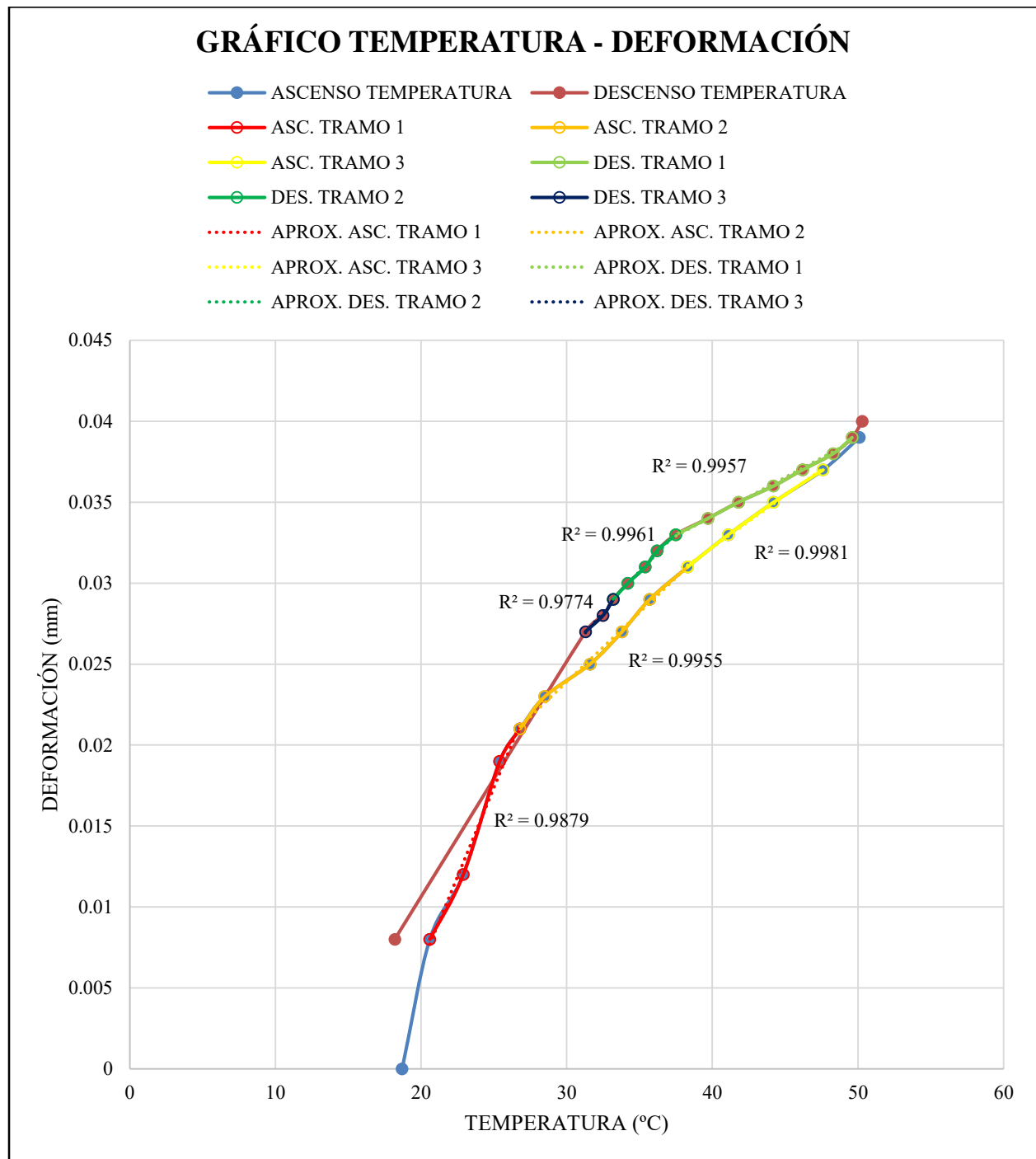


Figura F.22: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-19

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos obtenidos se procede a calcular el Coeficiente de Expansión Térmica para cada proceso, dividiendo ambos en 3 partes según se observe en el Gráfico Temperatura – Deformación correspondiente.

Tabla F.75: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-19 en Temperatura Ascendente

ASCENSO	Ti	Tf	M (mm/°C)	R2	M/L	CTE
1	20.6	26.8	0.0021954	0.9879144	1.21E-05	2.83E-06
2	26.8	38.3	0.0008571	0.9954577	4.74E-06	1.02E-05
3	38.3	47.6	0.0006440	0.9981305	3.56E-06	1.14E-05
CTE PROM.					6.81E-06	8.15E-06

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.76: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-19 en Temperatura Descendente

DESCENSO	Ti	Tf	M (mm/°C)	R2	M/L	CTE
1	49.6	37.5	0.0005030	0.9908344	2.78E-06	1.22E-05
2	37.5	33.2	0.0006957	0.9664874	3.84E-06	1.11E-05
3	33.2	31.3	0.0010289	0.9774368	5.68E-06	9.28E-06
CTE PROM.					4.10E-06	1.09E-05

Fuente: Elaboración Propia

20) Ensayo Probeta T-20

a) Toma de Datos

Longitud Probeta = 0.182 m

Tabla F.77: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-20 durante el Ascenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	11:30	0:00	18,7	0	0
	11:50	0:50	18,7	0	0
	12:10	1:10	18,7	0	0
	12:30	1:30	18,7	0	0
ASCENSO DE TEMPERATURA	12:30	1:30	18,7	0	0
	12:35	1:35	22,1	6	0,006
	12:40	1:40	24,3	10	0,01
	12:45	1:45	27,9	15	0,015
	13:00	2:00	30,1	18	0,018
	13:10	2:10	33,6	22	0,022
	13:20	2:20	35,2	25	0,025
	13:30	2:30	39,4	29	0,029
	13:40	2:40	40,8	31	0,031
	13:50	2:50	43,7	35	0,035
	14:00	3:00	46,5	37	0,037
	14:10	3:10	48,3	41	0,041
	14:20	3:20	50,3	43	0,043

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.78: Resultado del Ensayo de Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-20 durante el Descenso de la Temperatura

PROCESO	HORA	TIEMPO (horas)	TEMP. (°C)	LECTURA	DEF. (mm)
ESTABILIZACIÓN DE PROBETA	14:25	3:25	50,6	44	0,044
	14:45	3:45	50,6	44	0,044
	15:04	4:04	50,6	44	0,044
	15:25	4:25	50,6	44	0,044
DESCENSO DE TEMPERATURA	15:30	4:30	50,4	43	0,043
	14:40	3:40	49,2	42	0,042
	15:50	4:50	48,3	41	0,041
	16:00	5:00	47,1	40	0,04
	16:10	5:10	46,3	39	0,039
	16:20	5:20	45,1	38	0,038
	16:30	5:30	43,9	37	0,037
	16:40	5:40	41,8	36	0,036
	16:50	5:50	40,3	35	0,035
	17:01	6:01	39,6	34	0,034
	17:12	6:12	38,4	33	0,033
	17:25	6:25	37,3	32	0,032
	17:40	6:40	36,2	31	0,031
	18:10	7:10	35,4	30	0,03
10:00	22:32	18,5	7	0,007	

Fuente: Elaboración Propia

b) Memoria de Cálculo

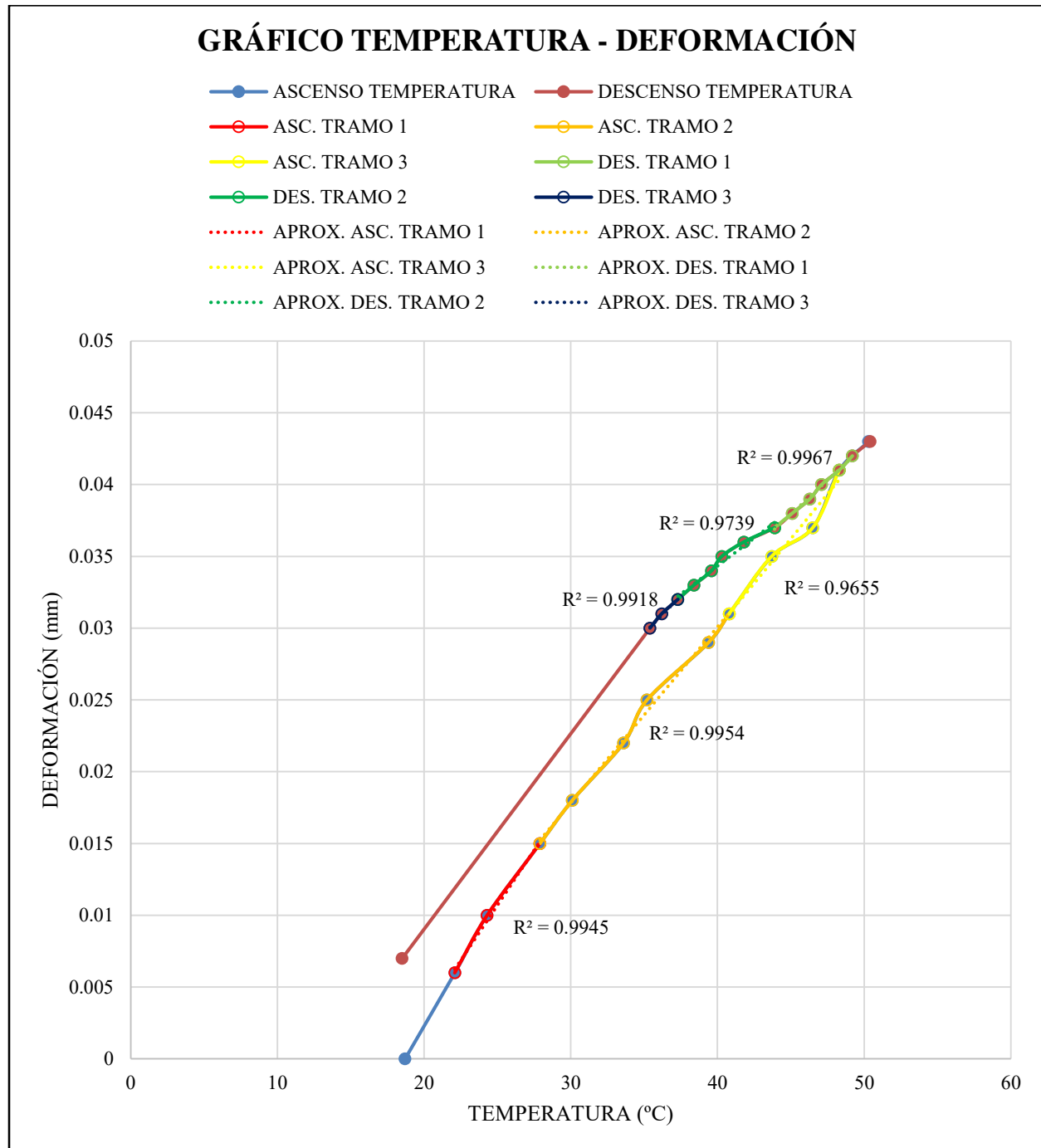


Figura F.23: Gráfico Temperatura – Deformación para la Probeta T-20
Fuente: Elaboración Propia

Con los datos obtenidos se procede a calcular el Coeficiente de Expansión Térmica para cada proceso, dividiendo ambos en 3 partes según se observe en el Gráfico Temperatura – Deformación correspondiente.

Tabla F.79: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-20 en Temperatura Ascendente

ASCENSO	Ti	Tf	M (mm/°C)	R2	M/L	CTE
1	22.1	27.9	0.0015358	0.9944739	8.44E-06	6.52E-06
2	27.9	40.8	0.0012265	0.9954070	6.74E-06	8.22E-06
3	40.8	48.3	0.0012458	0.9655306	6.85E-06	8.12E-06
CTE PROM.					7.34E-06	7.62E-06

Fuente: Elaboración Propia

Tabla F.80: Obtención del Coeficiente de Expansión Térmica de la Probeta T-20 en Temperatura Descendente

DESCENSO	Ti	Tf	M (mm/°C)	R2	M/L	CTE
1	49.2	43.9	0.0009454	0.9967498	5.19E-06	9.77E-06
2	43.9	37.3	0.0007484	0.9881015	4.11E-06	1.08E-05
3	37.3	35.4	0.0010440	0.9917582	5.74E-06	9.23E-06
CTE PROM.					5.01E-06	9.95E-06

Fuente: Elaboración Propia

G. RESISTENCIA A LA TENSIÓN POR FLEXIÓN

- **G.1 RESULTADOS Y PROCESAMIENTO DE DATOS DE ENSAYO A TENSIÓN POR FLEXIÓN A LOS 28 DÍAS**

G.1 RESULTADOS Y PROCESAMIENTO DE DATOS DEL ENSAYO A TENSIÓN POR FLEXIÓN A LOS 28 DIAS

Tabla G.1: Cálculo del Módulo de Rotura del Ensayo a Tensión por Flexión

CODIGO DE ESPECIMEN	L	b1	b2	b3	h1	h2	h3	P	Mr
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	KN	MPa
V-1	455.0	151.8	151.5	151.5	156.4	153.2	154.5	24,63	3.089
V-2	455.0	153.2	151.6	151.6	149.0	155.3	154.0	24,38	3.124
V-3	455.0	155.0	154.2	150.8	156.4	156.2	154.2	25,12	3.079
V-4	455.0	153.3	153.2	149.5	154.3	149.2	155.3	24,28	3.108
V-5	455.0	153.1	153.3	150.7	155.4	154.8	153.7	24,36	3.042
								PROM	3.088

Fuente: Elaboración Propia

H. NORMAS UTILIZADAS PARA LOS ENSAYOS

- **H.1 ACI 523.3R-93: GUIDE FOR CELLULAR CONCRETES ABOVE 50 PCF, AND FOR AGGREGATE CONCRETES ABOVE 50 PCF WITH COMPRESSIVE STRENGTHS LESS THAN 2500 PSI**
- **H.2 ASTM C469 / C469M – 14: MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICA Y LA RELACIÓN DE POISSON DEL CONCRETO EN COMPRESIÓN**
- **H.3 AASHTO TP-60: COEFFICIENT OF THERMAL EXPANSION OF HYDRAULIC CEMENT CONCRETE**
- **H.4 NTP 339.078 CONCRETO: MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGAS A LOS TERCIOS DEL TRAMO**

ACI 523.3R-93

**Guide for Cellular Concretes Above 50 pcf,
 and for Aggregate Concretes Above 50 pcf
 with Compressive Strengths Less Than 2500 psi**

Reported by Committee 523

George C. Hoff
 Chairman

Leo E. Rivkind
 Secretary

Frank M. Coda
 Robert A. Crist
 Richard J. Frazier*
 Richard E. Galer

Ernst Grunwald
 W.C. Hansen
 Leo M. Legatski
 Albert Litvin

Robert G. Malley
 Fred C. McCormick
 Richard J. O'Heir
 Thomas W. Reichard

Owen Richards
 Robert E. Tobis
 Rodolph C. Valero, Jr.
 William F. Wescott

* Deceased

Members of the Committee voting on the 1993 revisions:

Fouad H. Fouad
 Chairman

Leo A. Legnski
 Secretary

Theodore W. Bremner
 Philip M. Carlsner
 Hubert T. Dudley
 Werner H. Gumpertz
 Michael Hovly

George C. Hoff
 Gordon D. Lerch
 Albert Litvin
 William R. McDonald

Henry N. Marsh, Jr.
 Jan R. Prusinski
 Leo E. Rivkind
 Rodolph C. Valero, Jr.

This guide presents information on materials, fabrication, properties, design, and handling of cellular concretes with oven-dry densities greater than 50 pcf (800 kg/m³) and aggregate concretes with oven-dry densities above 50 pcf (800 kg/m³) but whose compressive strengths are less than 2500 psi (17.24 MPa). The usual density range of the concrete considered is 50 pcf to 120 pcf. These concretes in the lower portion of this range are generally used for thermal and sound insulation fills for roofs, walls, and floors. At the higher densities they are used in cast-in-place walls, floors, and roofs, and also for precast elements such as wall and floor panels.

Keywords: cellular concrete; compressive strength; concrete construction; fire resistance; formwork (construction); insulating concrete; lightweight aggregate concrete; lightweight concrete; mix proportioning; modulus of stability; precast concrete; shear properties; splitting tensile strength; structural design; thermal conductivity.

CONTENTS

Introduction, pg. 523.3R-2

ACI Committee Reports, Guides, Standard Practices, and Commentaries are intended for guidance in designing, planning, executing, or inspecting construction and in preparing specifications. References to these documents shall not be made in the Project Documents. If items found in these documents are desired to be a part of the Project Documents, they should be phrased in mandatory language and incorporated into the Project Documents.

Chapter 1-General, pg. 523.3R-2

- 1.1-Scope
- 1.2-Objective
- 1.3-Definitions
- 1.4-Standards and ACI documents cited in this report

Chapter 2-Materials, pg. 523.3R-3

- 2.1-Aggregates
- 2.2-Portland cement
- 2.3-Mixing water
- 2.4-Foam concrete
- 2.5-Fibers
- 2.6-Admixtures
- 2.7-Pozzolans

Chapter 3-Mixing and handling, pg. 523.3R-5

- 3.1-Storage of materials

ACI 523.3R-93 supersedes ACI 523.3R-75 (Revised 1982) (Disapproved 1987) and becomes effective November 1, 1993.

Copyright © 1975, American Concrete Institute.

All rights reserved including rights of reproduction and use in any form or by any means, including the making of copies by any photo process, or by any electronic or mechanical device, printed or written or oral, or recording for sound or visual reproduction, or for use in any knowledge or retrieval system or device, unless permission in writing is obtained from the copyright proprietors.

523.3R-2

ACI COMMITTEE REPORT

- 3.2-Mixing procedures
- 3.3-Conveying

Chapter 4-Forming and placing, pg. 523.3R-5

- 4.1-Form systems
- 4.2-Placing
- 4.3-Finishing

Chapter 5-Properties, pg. 523.3R-6

- 5.1-General
- 5.2-Notation
- 5.3-Cellular concrete properties
- 5.4-Group I ASTM C 332 aggregate concrete properties
- 5.5-Group II ASTM C 332 aggregate concrete properties

Chapter 6-Design considerations, pg. 523.3R-10

- 6.1-General
- 6.2-Structural design

Chapter 7-Proportioning of mixes, pg. 523.3R-11

- 7.1-General
- 7.2-Material properties
- 7.3-Selection of quantities

Chapter 8-Fire resistance, pg. 523.3R-13

References, pg. 523.3R-14

INTRODUCTION

The concretes which are the subject of this guide have applications ranging from insulating fills to structural elements. This is made possible mainly by the control of density which in turn affects other properties such as strength, modulus of elasticity, thermal conductivity, etc. Some of the present commercial uses of these concretes are:

1. Fills for thermal and sound insulation of floors, walls, and roofs
2. Cast-in-place walls, floors, and roofs
3. Precast elements such as wall and floor panels.

The steadily increasing use of these concretes and the fact that they are specifically not covered in other ACI guides and standards have led to the preparation of this guide.

CHAPTER 1-GENERAL

1.1-Scope

This guide applies to all cellular concretes which weigh more than 50 pcf (800 kg/m³) oven-dry and also to aggregate concretes which weigh more than 50 pcf (800

than 2500 psi (175 kgf/cm²). Lightweight aggregate concretes of higher strength are, by definition, within the scope of ACI Committee 213, Lightweight Aggregates and Lightweight Aggregate Concrete.

Both precast and cast-in-place concretes are within the scope of this guide.

1.2-Objective

The objective is to assemble, in this guide, the presently available information relating to the properties and use of the subject concretes. It is intended that such information will be an aid in the selection, proportioning, production, and use of these concretes.

1.3-Definitions

The terms "cellular concrete" and "aggregate concrete" are used throughout this guide. These terms have many meanings throughout the various areas of concrete technology but are defined as follows for use in this guide:

1.3.1 Cellular concretes-The cellular concretes referred to in this guide are lightweight concretes which contain stable air or gas cells uniformly distributed in the mix. In the density range covered by this guide, cellular concretes commonly include natural or manufactured sand aggregate. Other types of aggregates may be added; for example, manufactured lightweight aggregates such as expanded clay, shale, slate, sintered fly ash, perlite, and vermiculite as well as natural lightweight aggregates such as pumice, scoria, or tuff. The air cells are usually added at the mixer as a stable preformed foam metered from a calibrated nozzle and thoroughly blended into the mix. The air cells may also be formed mechanically by entrapping air during high speed mixing of the concrete materials containing a foaming agent. It is likewise possible to form gas cells in the mix as the product of a chemical reaction. This guide does not cover products or processes which use gas evolving chemical reactions. The air cells in cellular concrete are predominantly macroscopic bubbles as contrasted with the predominantly microscopic bubbles in air-entrained concrete.

1.3.2 Aggregate concretes-The aggregate concretes referred to in this guide are made with lightweight aggregates such as expanded clay, shale, slate, slag, sintered fly ash, perlite and vermiculite or natural aggregates such as pumice, scoria, or tuff. These aggregates are used with or without the addition of sand. By definition these concretes contain no air cells in the paste other than that entrapped by normal mixing and from conventional air-entraining agents.

1.4-Standards and ACI documents cited in this report

The standards of the various standards-producing organizations and ACI documents referred to in this document are listed below with their serial designation.

1.4.1 ACI documents

211.2 Standard Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete

211.2.1 Standard Practice for Selecting Proportions for Concrete Admixtures for Concrete

CELLULAR CONCRETES

523.3R-3

- 213R Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete
- 318 Building Code Requirements for Reinforced Concrete
- 347R Guide to Formwork for Concrete
- 408.1R Suggested Development Splice and Standard Hook Provisions for Deformed Bars in Tension
- 426R Shear Strength of Reinforced Concrete Members
- 517.2R Accelerated Curing of Concrete at Atmospheric Pressure
- 544.1R State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete

1.4.2 ASTM standards

- C 33 Standard Specification for Concrete Aggregates
- C 39 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens
- C 70 Standard Test Method for Surface Moisture in Fine Aggregate
- C 109 Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (using 2 in. or 50 mm cube specimens)
- C 128 Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregates
- C 138 Standard Test Method for Unit Weight, Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete
- C 144 Standard Specification for Aggregate for Masonry Mortar
- C 150 Standard Specification for Portland Cement
- C 157 Standard Test Method for Length Change of Hardened Cement Mortar and Concrete
- C 173 Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Volumetric Method
- C 177 Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded Hot Plate
- C 219 Terminology Relating to Hydraulic Cement
- C 260 Standard Specification for Air-Entraining Admixtures for Concrete
- C 330 Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete
- C 332 Standard Specification for Lightweight Aggregates for Insulating Concrete
- C 469 Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression
- C 494 Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete
- C 496 Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens
- C 567 Standard Test Method for Unit Weight of Structural Lightweight Concrete
- C 595 Standard Specification for Blended Hydraulic Cements
- C 618 Standard Specification for Fly Ash and Raw or

- Admixture in Portland Cement Concrete
- C 796 Standard Method of Testing Foaming Agents for Use in Producing Cellular Concrete Using Preformed Foam
- C 869 Standard Specification for Foaming Agents Used in Making Preformed Foam for Cellular Concrete
- E 72 Standard Method for conducting Strength of Panels for Building Construction

1.4.3 Structural Welding Code-Reinforcing Steel

- AWS D12.1 Recommended practice for Welding Reinforcing Steel, Metal Inserts, and Connections in Reinforced Concrete Construction

ACI publications are available from:
 American Concrete Institute
 P.O. Box 19150
 Detroit, Michigan 48219

ASTM standards may be obtained from:
 American Society for Testing Materials
 1916 Race St.
 Philadelphia, Pa. 19103

American Welding Society publications are available from:
 American Welding Society
 550 N.W. LeJeune Road
 Miami, Fl. 33135

CHAPTER 2-MATERIALS

2.1-Aggregates

2.1.1 Concrete aggregates should conform to ASTM Specifications C 33, C 144, C 332, or C 330 with the provision that aggregates failing to meet these specifications but which have been shown by test or actual service to produce concrete of the required unit weight, strength, durability, fire resistance, and wearing qualities may be used under ACI 318 when permitted by the authority having jurisdiction.

2.1.2 There are two groups of lightweight aggregates that are described in ASTM C 332 which are applicable to the type of concrete covered in this guide. Group I aggregates are prepared by heat processing to produce products such as expanded perlite and exfoliated vermiculite. Group II aggregates are prepared by expanding, calcining, or sintering products such as blast furnace slag, clay, diatomite, fly ash, shale, or slate; and aggregates prepared by processing natural materials, such as pumice, scoria, or tuff.

2.1.3 The maximum size of aggregate should in no case exceed one-fifth of the narrowest dimension between sides of forms, three-fourths of the minimum clear spacing between individual reinforcing bars or bundles of

Copyright American Concrete Institute. Provided by IES under license with ACI. No reproduction or retransmission permitted without license from IES.

Library/Archive 02/09/07/10:00
 File for Printing: 01232008.00:01:20:007

bars, not one-third of the depth of slabs. These limitations may be waived if workability and methods of consolidation are such that the concrete can be placed without honeycomb or excessive voids.

2.2-Portland cement

Portland cement, portland blast furnace slag cement, or portland pozzolan cement may be used. They should conform to ASTM specifications C 150 or C 595. High-early-strength cements, Type III and IIIA, are often used to advantage in these concretes.

2.3-Mixing water

Mixing water for concrete should be fresh, clean, and drinkable, except that undrinkable water may be used if it produces mortar cubes having 7- and 28-day strengths equal to at least 90 percent of the strength of similar specimens made with water from a municipal supply. The strength comparison should be made on mortars, identical except for the mixing water, prepared and tested in accordance with ASTM C 109.

2.4-Foam concrete

Foam cells in cellular concrete may be formed either by: (1) preforming an aqueous foam or (2) forming foam in the mixer (mix-foaming). The foam concentrate must be of such chemical composition that it is capable of producing stable foam cells in concrete which can resist the physical and chemical forces imposed during mixing, pumping, placing, and setting of the concrete. Change in concrete density during the time until initial set is a measure of the stability of the foam.

2.4.1 Preformed foam-Preformed foam is made by blending the foam concentrate, water, and compressed air in predetermined proportions in a foam generator calibrated for discharge rate. The foam is added, in measured amounts, to the slurry of cement, aggregate, and water in either batch or continuous mixing equipment to produce concrete of the desired density.

2.4.2 Mix-foaming-Mix-foaming results from high speed, high shear mixing, in an open mixer, of a slurry of water, cement, foam concentrate, and aggregate. The mix density is a function of the quantity and characteristics of the foam concentrate, the aggregates, if any, the time and speed of mixing, and the mixer characteristics.

2.5-Fibers

Nonload cracking of cellular concretes at early ages (due to thermal and moisture loss volume changes) can be reduced by the addition of suitable fibers to the mix. Fibers for this purpose must bond to the concrete, have a high modulus of elasticity and be of sufficient length, size, and number to develop the required tensile force at any section. Steel, resin-coated glass or alkali-resistant glass fibers are among the fibers that could satisfy the above requirements.¹

Glass fibers are often used in cellular concrete. Con-

crete search has been done on the use of glass fibers in portland cement products. A state-of-the-art report on the use of all types of fibers in both normal weight and lightweight concretes has been prepared by ACI Committee 544.² This report includes information on fiber types and sizes, and methods of handling, mixing, and placing concrete containing fibers which is directly applicable to the concretes of this guide.

2.6-Admixtures

Admixtures may be used when they will effect a specific desired change in the properties of the freshly mixed or hardened concrete. Admixtures should conform to ASTM C 260 and C 494. Guidance for the use of admixtures may be obtained from ACI 212.1R.

When two or more admixtures are used in aggregate concrete or when any admixture is used in cellular concrete, the compatibility of these admixtures with each other and with the other ingredients in the mix should be determined by tests.

2.7-Pozzolans

A pozzolan as defined by ASTM C 219 is a siliceous or siliceous and aluminous material, which in itself possesses little or no cementitious value but will, in finely divided form and in the presence of moisture, chemically react with calcium hydroxide at ordinary temperatures to form compounds possessing cementitious properties. Fly ash, volcanic glass, diatomaceous earths, and some shales or clays, either heat-treated or raw, are examples of pozzolanic materials. A summary of the significance of tests and properties of these materials can be found in Reference 2.

Pozzolans are used in both normally cured, low-pressure steam cured, and high-pressure steam cured (autoclaved) lightweight aggregate and cellular concretes. Fly ash and natural pozzolans used should conform to ASTM C 618. In general, using pozzolans as a partial cement replacement in normally cured cellular and lightweight aggregate concretes will produce the same type of behavior as when they are used in normal weight concretes (ACI 212.2R). In low-pressure steam cured products such as lightweight block, pozzolanic materials are often added either as an addition to or as a partial replacement for the portland cement. Descriptions of this and other low-pressure steam cured products can be found in ACI 517.1R. When pozzolans are used in lightweight aggregate and cellular concretes that are subjected to high-pressure steam curing (autoclaving) they perform the same function as the finely divided silica normally included in normal weight concrete subjected to autoclaving. In general, the behavior of the autoclaved lightweight products which contain pozzolans will not be significantly different from a similar product that contains finely divided silica, although some work seems to indicate improved physical characteristics result when pozzolans are used.³ A thorough description of the use of pozzolans in autoclaved lightweight products can be found in ACI 516R.

Copyright American Concrete Institute. Search has been done on the use of glass fibers in portland cement products. A state-of-the-art report on the use of all types of fibers in both normal weight and lightweight concretes has been prepared by ACI Committee 544.² This report includes information on fiber types and sizes, and methods of handling, mixing, and placing concrete containing fibers which is directly applicable to the concretes of this guide.

Copyright American Concrete Institute. Search has been done on the use of glass fibers in portland cement products. A state-of-the-art report on the use of all types of fibers in both normal weight and lightweight concretes has been prepared by ACI Committee 544.² This report includes information on fiber types and sizes, and methods of handling, mixing, and placing concrete containing fibers which is directly applicable to the concretes of this guide.

CHAPTER 3-MIXING AND HANDLING

3.1-Storage of materials

All materials should be stored in such a manner as to prevent deterioration or the intrusion of foreign matter.

3.2-Mixing procedures

All concrete should be mechanically mixed to produce a uniform distribution of the materials with a suitable consistency and the required wet unit weight. Precautions should be taken to avoid excessive mixing because of the possibility of changes in unit weight and consistency.

3.2.1 Cellular concrete-In batch mixing operations for cellular concrete, the batching sequence for materials differs from that for aggregate concretes. It is recommended that the required amount of water and any water-soluble admixtures be added to the mixer followed by the cement, foam concentrate (for mix-foaming), aggregate(s), preformed foam, and/or other admixtures. This sequence results in a minimal destruction, during mixing, of the air bubbles in the concrete, which form the cellular structure and thus determines the concrete density for a given amount of solid particles. Variations from this sequence may be used if shown to be advantageous. Materials should be so proportioned that the design wet unit weight is obtained at the point of placement. Allowance should be made for any additional agitation which may result from the method of placement, such as mechanical or pneumatic pumping, and for any unit weight changes which may result from such method of placement.

When truck mixing equipment is used for cellular concrete, the preformed foam should be added at the job site just prior to pumping or otherwise conveying the concrete into the forms, unless it is demonstrated that a mix of the required density and other properties can be delivered to the job site after adding the foam at the batching plant.

3.2.2 Lightweight aggregate concrete-In batch mixing of lightweight aggregate (ASTM C 332, Group II) concrete, using either stationary or truck mixing equipment, the same general procedures should be followed as for lightweight aggregate concrete with strengths over 2500 psi (17.24 MPa) (ACI 213R).

In those cases involving aggregates with relatively low water absorption, no special prewetting is required prior to batching and mixing of the concrete. Such aggregates are sometimes stocked in the kiln-dry condition, and at other times they contain some amount of moisture. These aggregates may be handled according to the procedures which have been established in the ready-mixed concrete industry. In so treating these aggregates, it should be realized that the water to be added at the batching plant should provide the required slump at the job; i.e., the added water may give high slump at the plant but water absorption into the aggregate will provide the specified slump at the building site.

In other cases, the absorptive nature of the lightweight

ture content as possible, or premixing with water, prior to addition of the other ingredients of the concrete. The proportioned volume of the concrete is then maintained and slump loss during transport is minimized.

Regardless of the type of aggregate, ACI Committee 213 recommends that the aggregate and a substantial portion of the total mixing water be mixed prior to introduction of the portland cement (ACI 213R).

Perlite, vermiculite, and other ASTM C 332 Group I aggregate concretes are mixed by first batching water and cement and adding aggregate last. With the very low densities associated with Group I aggregates, concrete densities over 50 pcf are possible only if air contents are minimized consistent with needed workability, if higher cement contents and hence more weight per unit volume of concrete are employed, if heavier aggregates such as those covered in Group II or ASTM C 33 fine aggregate (sand) are substituted for part of the Group I aggregate, or if combinations of the above are used. Transit mixers should not be operated enroute to the job site until a record of low variation in density and slump of concrete as tested in place proves adequacy of equipment and competence of supplier personnel.

3.3-Conveying

All equipment for conveying and placing, whether manual or mechanical, should be of such size and design and used in such manner as to insure uniform unsegregated concrete at the point of placement.

CHAPTER 4-FORMING AND PLACING

4.1-Form systems

Forms may be constructed of either wood, steel, rigid plastics, aluminum, concrete, or other acceptable materials. They may be either stay-in-place forms which become part of the structure or precast element, or removable, reusable forms. They should be designed to prevent undue deflection and distortion due to the weight of the concrete. When the concrete is reinforced, provisions should be made for accurately locating the reinforcing in the form. Coating the forms to prevent bond with the concrete should be done prior to placing any reinforcing steel.

4.1.1 Form systems for cellular concrete -Cellular concrete, especially without coarse aggregates, may be very fluid and workable. For slabs, floors, and other installations where the pressure of the plastic concrete due to hydrostatic head is relatively low, the normal forming procedures used with aggregate concretes should be followed. For cast-in-place vertical walls or other applications where substantial casting depths are required, forms must be tight, nonabsorptive, and designed to resist the hydrostatic pressure which would create openings through which the fluid cellular concrete, grout, or cement paste could leak.

4.1.2 Form systems for aggregate concretes-Forming

systems for these concretes should conform to the requirements of ACI 347.

4.2-Placing

Equipment for placing, chuting, pumping, and pneumatically conveying concrete should be of such size and design as to insure as nearly as practicable a continuous flow at the delivery point without separation of materials.

All concrete should be thoroughly consolidated in the form. Care should be taken to avoid changing the density of the concrete from the selected value by excessive vibration.

Concrete in the lower portion of the density range of the concretes considered in this guide contains large amounts of air or highly compressible low density aggregate or both. The pressure associated with increasing depth of unhardened concrete in monolithic placements in deep sections may compress the air voids or aggregates in the lower regions of the section before hardening, thus resulting in higher densities in those locations after hardening. These density increases produce corresponding changes in the other physical characteristics of the concrete. The amount of compressibility, and hence, increase in density can be determined by test and compensated for during placing by putting a lower density than required in the lower regions of the section and adjusting the density upward as the placement fills the section.

4.3-Finishing

4.3.1 Finishing flatwork-The procedures for finishing cast-in-place concrete flatwork vary with the end use. Following screeding to level by straight edge and by darbying, floors may be floated and if required, steel troweled. Often these concrete floors are topped with resilient tile, terrazzo, or carpeting. The finish required must be compatible with the specified topping.

4.3.2 Curing and crack control-Plastic shrinkage in the fresh concrete due to abnormal initial drying conditions is a potential cause of cracks in floor and roof slabs.

Concrete may bleed water to the surface when it is first placed. This is evidenced by the appearance of a shiny film which quickly evaporates. When evaporation exceeds bleeding, cracks may form. The rate of evaporation is influenced by temperature, wind, and relative humidity of the air. The amount of water evaporated can at times be very significant. For example, at 90 F (32.2 C) with wind at 25 mph (40 km/hr) and a humidity of 10 percent, the water evaporation rate is 0.74 lb/sq ft hr (3.6 kg/m²-hr).⁵ This condition may cause tear cracks to form in the fresh concrete surface in an irregular noncontinuous pattern. Even though subsequent finishing with a trowel may close these cracks on the surface, a weakened section remains which is vulnerable to cracking again at a later age.

A fog sprayer may be used to reduce plastic shrinkage cracks. As soon as the shiny surface or bleed water disappears from the concrete, it should be restored and

moisture with a mist type fog sprayer. Frequent light applications of moisture are preferred rather than excessive amounts. Weather conditions and visual inspection will govern the required amount of moisture replacement. Immediately after completion of final finishing a membrane curing compound should be applied, or other specified curing methods may be used. Concrete should be protected from traffic until the necessary strength has developed.

CHAPTER 5-PROPERTIES

5.1-General

In presenting information about properties in this guide, cellular concretes and lightweight aggregate concretes will be considered separately.

5.2-Notation

A	= dry weight of aggregate
C	= weight of cement
d	= diameter of test specimen
E_c	= static modulus of elasticity of concrete
F	= temperature, deg
f_i	= inside surface conductance
f_o	= outside surface conductance
f_c'	= compressive strength of concrete specimen at 28 days unless otherwise specified
f_{ct}'	= splitting tensile strength of concrete
k	= thermal conductivity of concrete
l	= length of test specimen
P	= applied load
U	= thermal transmittance coefficient
w	= weight of concrete, lb/cu ft
W	= oven-dry density of concrete
x	= thickness of material

5.3-Cellular concrete properties

5.3.1 Compressive strength-the compressive strength of cellular concrete is affected by such factors as unit weight, cement content, water-cement ratio, properties of aggregates, and curing. The curve in Fig. 5.3.1 indicates how compressive strength of cellular concrete is affected by both water-cement ratio and cement content. Strengths are related to the freshly mixed density (plastic density) in this figure instead of the usual 28-day oven-dry density so that the information can be used by field personnel who only have freshly mixed density as a control during placing. Oven-dry densities will be less than the freshly mixed densities and can be estimated from the expression in Section 5.3.4. The curve was developed from mixes containing natural concrete sand as aggregate.* The minimum water-cement ratios are consistent with the sand and cement contents to provide a workable mixture for shallow sections such as for slabs and beams

Copyright American Concrete Institute. All rights reserved. This material is intended only for the personal use of the individual user and is not to be disseminated broadly. No reproduction or translation permitted without written permission from ACI.

* Flakel Corp., communication to ACI Committee 523, March 1964, Ann Arbor, Mich.
 U.S. Government Printing Office
 For Sale by the Superintendent of Documents, Washington, D.C. 20540

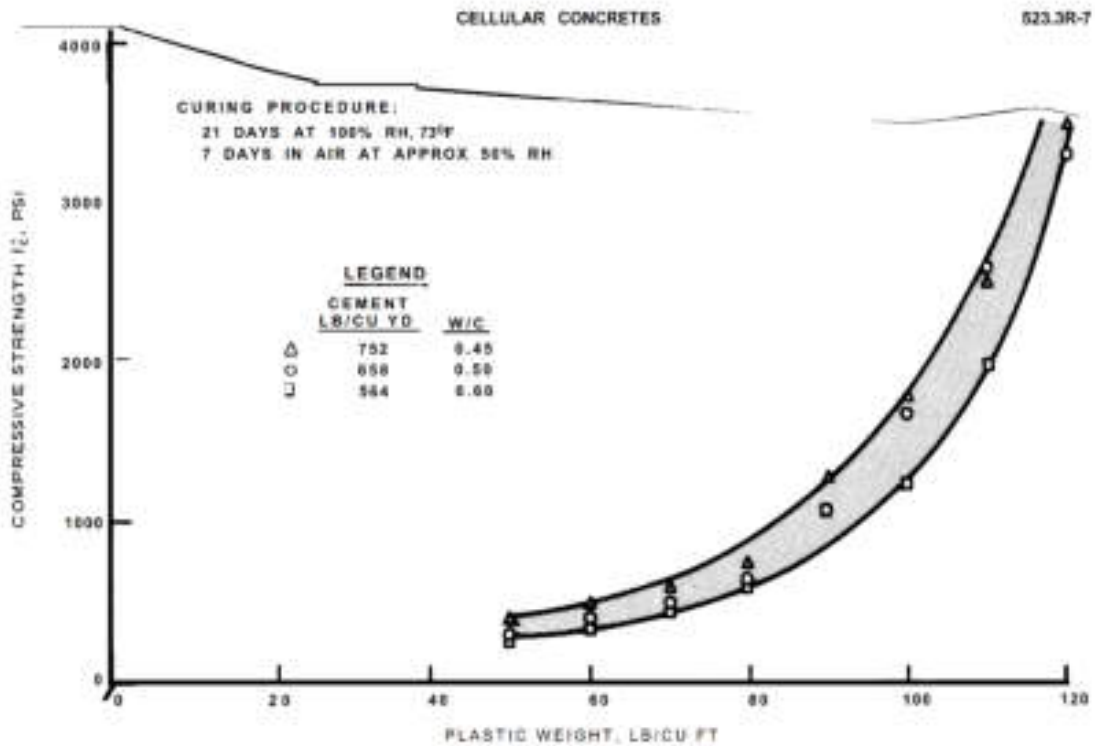


Fig. 5.3.1-Plastic weight versus compressive strength for sanded cellular concretes of various cement contents and water-cement ratios⁵

Table 5.3.1-Compressive strength of typical cellular concrete using Type I cement¹²

Plastic weight,		Sand-cement ratio	Water-cement ratio	Cement factor,		Compressive strength,	
pcf	kgm ³			lb/yd ³	kgm ³	psi	MPa
50	890	0.79	0.60	564	335	250	1.72
50	800	0.53	0.30	658	390	300	2.07
50	990	0.29	0.30	752	446	400	2.76
60	960	1.27	0.60	564	335	350	2.41
60	960	0.96	0.50	658	390	400	2.76
60	960	0.65	0.50	752	446	500	3.45
70	1120	1.75	0.60	564	335	450	3.16
70	1120	1.37	0.50	658	390	500	3.45
70	1120	1.06	0.45	752	446	600	4.14
80	1280	2.22	0.60	564	335	600	4.14
80	1280	1.78	0.50	658	390	650	4.48
80	1280	1.42	0.45	752	446	750	4.83
90	1440	2.85	0.45	564	335	1100	7.59
90	1440	2.19	0.30	658	390	1100	7.59
90	1440	1.78	0.45	752	446	1300	8.97
100	1600	3.18	0.60	564	335	1250	8.62
100	1600	2.65	0.45	658	390	1700	11.73
100	1600	2.14	0.45	752	446	1800	12.41
110	1760	3.86	0.60	564	335	2000	13.78
110	1760	3.06	0.45	658	390	2600	17.94
110	1760	2.44	0.50	752	446	2500	17.24
120	1920	3.32	0.60	658	390	3520	22.89
120	1920	2.80	0.50	752	446	3520	24.77

Copyright, American Concrete Institute
 Provided by WS under license with ACI
 No reproduction or retransmission permitted without license from ACI

Licensee: Andrey FIC/00070110
 Issued for Project: 01/25/2006-02/21/2010

533.3R-8

ACI COMMITTEE REPORT

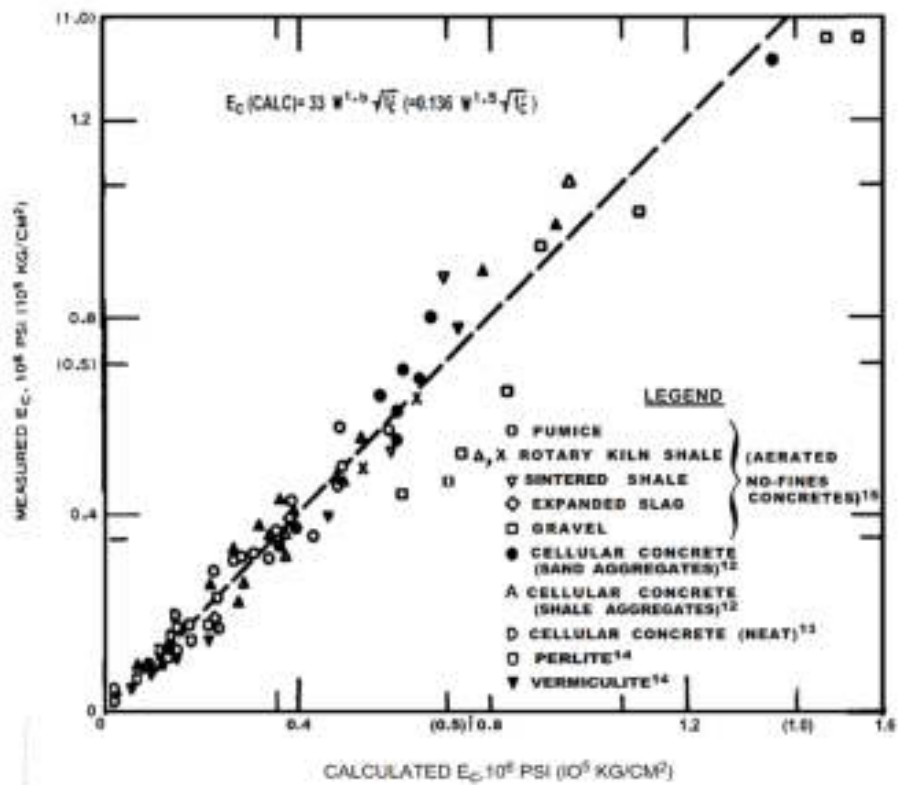


Fig. 5.3.2-Measured Versus calculated modulus of elasticity

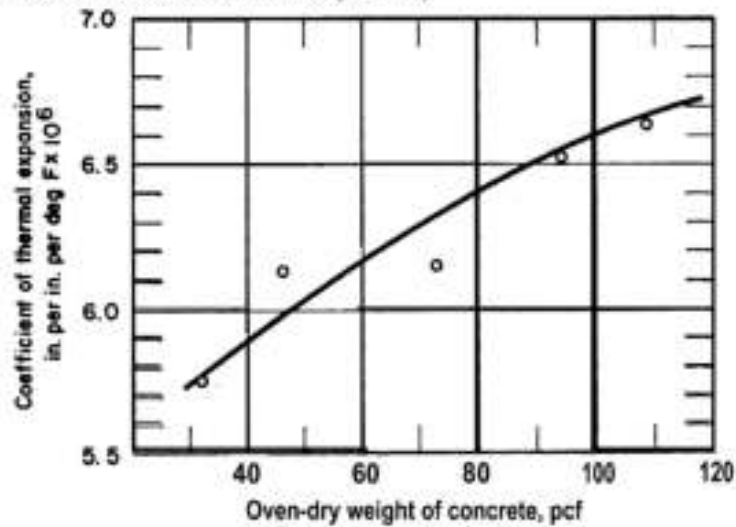


Fig. 5.3.3-Thermal expansion of cellular concrete made with siliceous fine aggregate

Copyright International Concrete Institute
 Provided by IHS under license with ACI
 No reproduction or translation permitted without license from IHS

Licensee: User 1000000000
 Not for Resale, 01/23/2009 00:01:32 AM

(see Table 5.3.1). The compressive strengths were determined from tests of 6 x 12 in. (150 x 300 mm) cylinders.

It is recommended that determination of the compressive strength of cellular concretes covered by this guide be made according to the ASTM C 330 with the exception that the sides of the mold shall be tapped with a rubber hammer while the mold is being filled. Alternatively, the mold may be lightly vibrated on a vibrating table while being filled.

5.3.2 Modulus of elasticity—In this guide, the modulus of elasticity, E_c , is the secant modulus at $1/2 f_c'$. ACI 318 contains a provision for the determination of the modulus of elasticity in lieu of actual measurements by using

$$E_c = w^{1.5} \times 3.3 \times \sqrt{f_c'}$$

where values of w are between 90 and 155 lb/cu ft. Fig. 5.3.2 shows the relation between E_c and actual measured values of modulus of elasticity^{6,9} for a number of concretes having w values between 23 and 90 lb/cu ft. The data in Fig. 5.3.2 suggest that the expression for E_c can be satisfactorily applied to the concretes of this guide as a first approximation for modulus.

5.3.3 Coefficient of thermal expansion—The thermal expansion of cellular concrete increases with its dry density approximately as shown by the curve in Fig. 5.3.3.*

5.3.4 Thermal conductivity—The thermal conductivity of concrete is primarily a function of its unit weight. This property of a material, designated as k , (Btu in./hr sq ft deg F) is determined at the oven-dry density of the concrete in accordance with ASTM C 177. Small differences in reported values should not be considered as evidence of a more or less advantageous heat transmission value. Table 5.3.4 gives values of k referred to oven-dry density. Oven-dry values are commonly used in specifying. The oven-dry weight, W , in pounds per cubic foot, may be approximated as

$$W = \frac{1.2C + A}{27}$$

when the weights of the cement and aggregate, in pounds per cubic yard of concrete, are known.

The thermal transmittance (U) is the overall coefficient of heat transfer, or air to air heat flow, through a wall, floor, or roof system. It is expressed in Btu/hr sq ft deg F. For a wall of a single homogeneous material of thermal conductivity, k and thickness x with surface coefficients f_i and f_o , U is equal to

$$U = \frac{1}{\frac{1}{f_i} + \frac{1}{f_o} + \frac{x}{k}}$$

where f equals the surface conductance or the time rate of heat transfer by radiation, conduction, and convec-

Table 5.3.4—Thermal conductivity of concrete

Oven-dry density		Thermal conductivity* (k factor) for oven-dry concrete		Adjustment factor† (times k factor) for normal air dry concrete
		Btu in./hr ft² F	mw/cmC	
50	800	1.40	2.02	1.31
60	960	1.70	2.45	1.25
70	1120	2.10	3.03	1.22
80	1280	2.50	3.61	1.20
90	1440	3.00	4.33	1.17
100	1600	3.60	5.19	1.16
110	1760	4.25	6.13	1.15
120	1920	5.20	7.50	1.13
140	2240	9.00	12.99	1.11

* Their intended use is as typical values (not specification) for insulating concretes in normal use by designers who require such values in preliminary designs. For the conductivity of a specific concrete, the user may obtain the value supplied by the producer or secure the results of tests.

† The adjustment factor times the k factor will result in an adjusted k factor applicable to normal air dry (not oven-dry) concrete. It is assumed that a constant 5 percent moisture by volume or 3.12 pcf (50 kg/m³) exists at all densities.

tion of a unit area of surface with its surrounding. Subscripts i and o denote inside and outside conductances, respectively. Typical values are $f_i = 1.46$ for still air and $f_o = 6.0$ for a wind velocity of 15 mph.¹⁰

5.3.5 Tensile strength—The splitting tensile strength of the cellular concretes covered by this guide may be determined by the test procedure described in ASTM C 496. The expression for splitting tensile strength taken from that ASTM method is

$$f_s' = \frac{2P}{\pi ld}$$

where P is the maximum applied load and l and d are the length and diameter of the specimen, respectively.

5.3.6 Shear and diagonal tension—Data are not available to indicate that the requirements of ACI 318 may be applied to cellular concrete. Any such projected application should be verified by test. Typical tests are shown in Reference 11 which contains descriptions of tests that have been used for shear and diagonal tension for a variety of structural shapes of normal weight concrete.

5.3.7 Development of reinforcement—Data are not available to indicate that the requirements of Chapter 12 of ACI 318 may be applied to the cellular concretes of this guide. Any projected application, by considering these concretes as "sand-lightweight," should be verified by test. Typical tests for development of reinforcement in normal weight concrete are included in ACI 408R and References 12 and 13 and can be used as examples of procedures which might be used with the concretes of this guide.

* Elstizell Corp., communication to ACI Committee 523, March 1964, Ann Arbor, Mich.
 L-44444—Revised (11/20/02) 11/13
 104 for 104446, 11/22/2006, 02:21:20 AM ET

5.4-Group I ASTM C 332 aggregate concrete properties

Lightweight aggregate concrete in the over 50-pcf-density range which is made with Group I aggregates is used primarily for floor fills and unheated slabs on grade. They usually conform to the following typical physical properties:

Compressive strength	1000-1500 psi
Wet density	80 + 4 pcf
Air-dry density	75 ± 4 pcf
Modulus of elasticity	700,000 psi
Thermal conductivity	See Table 5.3.4

5.5-Group II ASTM C 332 aggregate concrete properties

Because of the wide variety of lightweight aggregates in this group, it is difficult to completely cover the range of properties of concrete made with these aggregates. In the case of some of the aggregates in this group, their properties are well established by virtue of their widespread usage. Other aggregates are not as widely used and data on their properties have not been totally developed. For more specific data on any aggregate in this group, the user should consult the individual producers in his market area.

5.5.1 Compressive strength-The compressive strength of concrete made with Group II lightweight aggregates is generally approximately proportional to its unit weight. That is, lower unit weights of this concrete show lower strengths as compared to mixes using the same aggregates that produce higher unit weights. The ratio of the water and cement (or the total cement content) also controls the strength or, more specifically, this ratio controls the strength of the paste fraction of the mix. The proportionate strength produced by the aggregate itself is therefore controlled by both its volume in the mix and its density or bulk specific gravity. The volume of entrained air or foam (which in turn affects unit concrete weight) will also affect the compressive strength.

Most of the aggregates in the Group II classification have the capacity to absorb water. The rate of absorption varies but is generally faster on initial contact with water and is reduced as time increases. It is felt by some investigators that additional absorption may occur after these lightweight aggregate mixes have been deposited in-place. This phenomenon would have the net effect of reducing the water-cement ratio of the paste, thereby increasing the strength of the paste component as well as the total strength of the concrete. In other words, the initial (as mixed) water-cement ratio may not always reflect the final concrete strength of these lightweight mixtures.

While Group II aggregates have been used extensively to produce concretes having densities from 105 to 130 pcf (1680 to 2080 kg/m³), very little published information is available on the strengths of concrete made with these aggregates when the densities are from 50 to 105 pcf (800 to 1680 kg/m³). Some unpublished test results of expanded shale and clay lightweight aggregate

grades graded from 3/8 in. (9 mm) maximum size having an oven-dry weight of 70 pcf (1120 kg/m³) showed 28-day compressive strengths from 1400 to 1700 psi (9.66 to 11.73 MPa). Similar mixtures using greater amounts of aggregate and less air had oven-dry weights of 90 pcf (1440 kg/m³) with 28-day compressive strengths from 2000 to 2500 psi (13.78 to 17.24 MPa). Some of the expanded shale producers report that structural quality concretes having strengths in excess of 2500 psi (17.24 MPa) have been made at air-dry unit weights between 80 and 90 pcf (1280 to 1440 kg/m³).

5.5.2 Modulus of elasticity-The modulus of elasticity may be computed if the strength and unit weight are known as described in Section 5.3.2 of this report. For a given specimen of lightweight concrete, it may also be determined by test as described in ASTM C 469.

5.5.3 Thermal conductivity-Tests of the thermal conductivity of lightweight concrete indicate that it is a function of the density and the moisture content of the mixture. Values given in Section 5.3.4 of this report would serve as a guide to applicable values of thermal conductivity.

5.5.4 Tensile splitting strength-The tensile splitting strength of lightweight aggregate concrete can be determined by the method described in Section 5.3.5 of this report. The tensile strength not only varies with the compressive strength, but it also varies with the weight or density of the material. Very little research on tensile strength has been performed on concretes in the weight and strength limitations of this guide. Theoretical analyses¹⁴ indicate that tensile strengths might vary from 50 to 75 percent of those for comparable compressive strength levels of dense (noncellular) concrete.

5.5.5 Other properties-Information on creep and shrinkage, development of reinforcement, fire endurance, durability, abrasive resistance, sound absorption and transmission, and other properties may be needed in some cases but usually is not readily available. If these or other properties are required, it is suggested that they be determined by test on the specific mixtures and ingredients which might be used. Also, material producers in various localities may have much valuable test information on their specific products. ACI 213R describes many of the properties of this material.

CHAPTER 6-DESIGN CONSIDERATIONS

6.1-General

The concretes covered by this guide have some of the same general structural characteristics as stone aggregate concrete. Designers are accustomed to using normal weight aggregate concrete of any given quality (compressive strength) in designing structural elements. This is possible because the strength and stiffness properties such as tensile strength, shear strength, bond strength, and modulus of elasticity are functions of the compressive strength. These properties, in some cases, are also

Copyright American Concrete Institute
 Provided by IES, under license with ACI
 No reproduction or retransmission permitted without license from IES.

Licensee: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa
 Date of Issue: 21-03-2008 00:37:05 AMST

functions of the compressive strength for cellular and lightweight aggregate concretes. Furthermore, the relationships between compressive strength and the strength and stiffness properties of cellular concretes are, in general, the same as for normal weight aggregate concrete. Thermal conductivity of cellular concrete and lightweight aggregate concrete is related to unit weight rather than strength. Similarly, normal weight aggregate concrete, which has substantially a constant unit weight, has a constant thermal conductivity.

6.2-Structural design

For structural design purposes, the elastic modulus and compressive strength of cellular concretes may be considered to be in the general category of lightweight aggregate concrete. Specifically, this means that design of the concretes in this guide for these properties may follow the same general course as for normal weight aggregate concrete as modified by the Code, ACI 318. For example, given the unit weight and compressive strength:

(a) The elastic modulus may be calculated from ACI 318, Section 8.3.1, and the modular ratio m may be calculated.

(b) Allowable compressive stress (WSD) is the same fraction of f'_c as for normal weight aggregate concrete (ACI 318, Section 8.10.1).

(c) Data are not available to indicate whether the permissible shear and torsion stresses given in ACI 318, Section 8.10.3 (WSD) and Chapter 11 (USD), for lightweight aggregate concretes may be applied to the concretes of this guide. Any projected application should be verified by test.¹⁷

(d) Data are not available to indicate whether the requirements of ACI 318 for the development of reinforcement for lightweight concrete are applicable to the concretes of this guide. Any projected application should be verified by test (ACI 408R and References 12 and 13).

The design of members may be accomplished by either strength design or working stress design procedures.

CHAPTER 7-PROPORTIONING OF MIXES

7.1—General

As in conventional concrete mixtures, quantities of materials for suitable mixtures of lightweight concretes should be selected on a rational basis. Computations based on the absolute or solid volumes of the constituents are straightforward and provide good results once the design parameters and individual material properties are known. Mixture proportioning parameters may include concrete unit weight (wet or dry), compressive strength, and thermal properties.

7.2-Material properties

In order to proportion mixtures by absolute volume

weights must be known or determined for all the materials. The absorption characteristics or free moisture conditions of the aggregates must also be determined and controlled during the batching operation. Procedures set forth in ASTM C 128 and ASTM C 70 may be followed for determining the aggregate properties.

7.3-Selection of quantities

7.3.1 Lightweight aggregate concrete-Proportioning of lightweight aggregate mixtures may be determined in essentially the same manner as recommended in ACI 213R. However, the cement factor will be reduced because of the lower strength requirements.

7.3.1.1 Group I ASTM C 332 aggregate concrete-A typical mix for 1 cu yd of lightweight aggregate concrete made with a C 332 Group I aggregate and sand is given below.

Mixture	Aggregate		Cement		Sand		Water		Air-entraining agent
	ft ³	m ³	lb	kg	lb	kg	lb	kg	—
Perlite/sand	18	0.51	564	256	1200	544	400	181	Yes

Materials should be mixed in accordance with recommendations under Section 3.2.2.

Varying the proportions of aggregate and sand from the preceding typical mix by field trials will produce concrete with a freshly mixed density of 60 to 80 pcf (960 to 1280 kg/m³).

7.3.1.2 Group II ASTM C 332 aggregate concretes. Proportioning lightweight mixtures using Group II aggregates may be done by the methods proposed by ACI 211.2 or by the method of Section 7.3.2.1. The methods contained in the ACI Committee 211 standard are for structural grade lightweight aggregates (ASTM C 330) and lightweight aggregate concretes whose compressive strength is greater than 2500 psi (17.24 MPa). The general procedures and reasoning for the proportioning in that standard can be adopted, however, for the Group II ASTM C 332 aggregate as they apply to this guide keeping in mind that the strengths will be less than 2500 psi (17.24 MPa) at comparable cement and water contents due to the generally lighter density and lower inherent strengths of the Group II aggregates. The Section 7.3.2.1 method consists essentially in selecting the desired wet density from which the total weight per cubic yard will be determined. This will then establish the combined weight of cement, water, and lightweight aggregates and their absolute volumes may also be calculated. The amount of air to produce a full cubic yard of concrete is then finally determined. By varying the amount of cement in proportion to the amount of aggregates, optimum strengths may be achieved under trial mix conditions. Local lightweight aggregate producers should also be consulted to establish the specific properties of their materials along with other materials that may be available.

Copyright American Concrete Institute
 Provided by IIR under license with ACI. No reproduction or retransmission permitted without permission from ACI.

Library: Arequipa 14/08/2015 10:00:25 AM
 100 An. P. 14/08/2015 10:00:25 AM

523.38-12

ACI COMMITTEE REPORT

7.3.2 Cellular concrete

7.3.2.1 Preformed foam cellular concrete-The mix proportioning begins with the selection of the unit weight of the plastic concrete (wet density), the cement content, and the water-cement ratio (*w/c*).

The choice of these parameters is usually made after a study of requirements such as compressive strength and thermal conductivity. For example, if strength is the primary consideration, with in-place unit weight secondary, the plastic weight, *w/c* and cement content can be selected from Fig. 5.3.1. The mix can then be proportioned by the method of absolute volumes. The sum of the absolute volumes of cement, water, and aggregate (usually sand) for 1 cu yd (0.76 m³) of concrete subtracted from 27 cu ft (0.76 m³) gives the volume of air required per cubic yard of concrete. The relation between air volume and foam volume is calculated from the foam gun calibration data as the ratio of foam volume per minute to air volume per minute. This ratio is usually about 1.05 to 1.07. The weight of water calculated from the cement content and *w/c* should be reduced by the weight of the foam volume (considered as water).

Example: Proportion a cellular concrete mix whose wet density is to be 90 pcf (1440 kg/m³). Use 658 lb (298 kg) Type I cement per cubic yard (0.76 m³) and *w/c* = 0.5. Use sand aggregate as needed to satisfy the weight requirement and foam as required for volume.

The foam gun calibration results are:

- Foam output = 16.04 ft³ per min (0.45 m³ per min)
- Unit weight of foam = 3.25 pcf (52 kg/m³)
- Air output = 15.205 ft³ per min (0.43 m³ per min)
- Foam output = 1.055
- Air output
- Specific gravity of cement = 3.15
- Specific gravity of sand = 2.65
- Unit weight of water = 62.4 pcf (1000 kg/m³)

Mix proportions:

(For 1 yd³ (0.76 m³) of concrete)

$$\begin{aligned} \text{Total batch weight} &= \\ 27 \text{ ft}^3 &\times 90 \text{ pcf} = 2430 \text{ lb} \\ (0.76 \text{ m}^3) & (1440 \text{ kg/m}^3) = (1102 \text{ kg}) \end{aligned}$$

Weights	Absolute volume	
Cement		
= 658 (299 kg)	$\times \frac{1}{3.15 \times 62.4 \text{ pcf}}$	= 3.348 ft ³ (0.095 m ³)
	(1000 kg/m ³)	

$$\begin{aligned} \text{Water (gross)} \\ 0.5 \times 658 \text{ lb} &= 329 \text{ lb} \times \frac{1}{62.4 \text{ pcf}} = 5.272 \text{ ft}^3 \\ (298 \text{ kg}) (149 \text{ kg}) & (1000 \text{ kg/m}^3) (0.149 \text{ m}^3) \end{aligned}$$

Total	987 lb	8.620 ft ³
	(448 kg)	(0.244 m ³)

Copyright American Concrete Institute
 Provided by FIE under license with ACI.
 No reproduction or retransmission permitted without license from FIE.

$$\begin{aligned} \text{Dry sand required} \\ 2430 \text{ lb} - 987 \text{ lb} &= 1443 \text{ lb} \\ (1102 \text{ kg}) - (448 \text{ kg}) & (654 \text{ kg}) \\ \times \frac{1}{2.65 \times 62.4 \text{ pcf}} &= 8.726 \text{ ft}^3 \\ (1000 \text{ kg/m}^3) & (0.247 \text{ m}^3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Absolute volume of cement, water, and sand} &= 17.346 \text{ ft}^3 \\ & (0.491 \text{ m}^3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Air volume required} &= \\ 27.000 \text{ ft}^3 - 17.346 \text{ ft}^3 &= 9.654 \text{ ft}^3 \\ (0.765 \text{ m}^3) - (0.491 \text{ m}^3) & (0.273 \text{ m}^3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Foam volume} &= \\ 9.654 \text{ ft}^3 \times 1.055 &= 10.185 \text{ ft}^3 \\ (0.273 \text{ m}^3) & (0.288 \text{ m}^3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Water in foam} &= \\ 3.25 \text{ pcf} \times 10.185 \text{ ft}^3 &= 33.1 \text{ lb} \\ (52 \text{ kg/m}^3) (0.288 \text{ m}^3) & (15 \text{ kg}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Water in sand (assume 2 percent)} &= \\ 0.02 \times 1443 \text{ lb} &= 28.9 \text{ lb} \\ (654 \text{ kg}) & (13 \text{ kg}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Corrected water} &= \\ 329 \text{ lb} - 33.1 \text{ lb} - 28.9 \text{ lb} &= 267 \text{ lb} \\ (149 \text{ kg}) (15 \text{ kg}) (13 \text{ kg}) & (121 \text{ kg}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Corrected sand} &= \\ 1443 \text{ lb} + 28.9 \text{ lb} &= 1472 \text{ lb} \\ (654 \text{ kg}) (13 \text{ kg}) & (668 \text{ kg}) \end{aligned}$$

The final mix is then

Cement	658 lb (299 kg)
Added water	267 lb (121 kg)
Sand	1472 lb (668 kg)

$$\begin{aligned} \text{Foam} &= \frac{10.185 \text{ ft}^3}{16.04 \text{ ft}^3/\text{min}} = 0.635 \text{ min} = 38 \text{ sec} \end{aligned}$$

$$\frac{0.288 \text{ m}^3}{0.45 \text{ m}^3/\text{min}}$$

When *w/c* is near the minimum for a stable mix, some air is accidentally entrapped during mixing. The calculated foam time can be reduced to compensate for the additional air. Usually a 10 percent reduction in foam time is sufficient correction. It is difficult to specify this correction more precisely because it is also a function of the cement used. Alternative methods for proportioning cellular concrete have also been suggested.^{6,15}

7.3.2.2 Mixer generated foam-The proportioning procedures described in Section 7.3.2.1 for the preformed foam mixtures are applicable with the exception of selec-

For the Results: 01/22/2008 00:37:00 AM ET

CELLULAR CONCRETES

523.3R-13

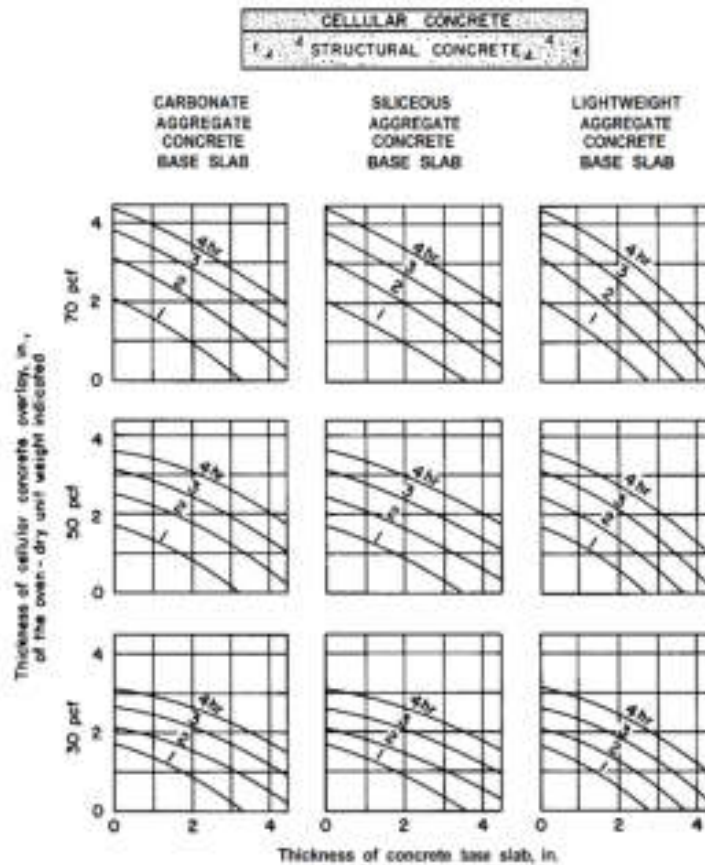


Fig. 8.1 (a)-Fire endurance of slabs consisting of cellular concrete overlays on structural concrete base slabs-Courtesy Cement and Concrete Research, see Reference 16

ting the quantity of foaming agent required to produce a specified density. The amount of agent required varies with speed of mixing, character of mix ingredients, type of agent employed, and other considerations. Manufacturers' recommendations should be referred to for guidance with the particular agent selected.

CHAPTER 8-FIRE RESISTANCE

The fire retardant functions of low-density concrete range from that of supporting design loads during and after a fire to that of significantly reducing the transfer of heat through a construction assembly. This ability to resist the flow of heat at high temperature, as measured by the rise of temperature on the unexposed side of an assembly (side away from fire) is an important criterion in measuring fire retardance. It should be pointed out

presented herein are only applicable to heat transmission and that heat transmission is not the only criterion by which to judge the fire resistive abilities of a material.

Recently a series of tests¹⁶ was completed at the Fire Research Laboratory of the Portland Cement Association on vermiculite and perlite concretes having oven-dry weights of from about 25 to 80 pcf (400 to 1280 kg/m³), cellular concrete made with preformed foam, having oven-dry unit weights of from 30 to 100 pcf (480 to 1600 kg/m³); and vermiculite and expanded shale aggregate concrete of about 80 pcf (1280 kg/m³) oven-dry weight. Based on these heat transmission tests, the thickness required for fire endurance of 2, 3, 4, and 5 hr are shown in Table 8.1 for the various unit weight ranges shown.

Another series of tests, also reported in Reference 24, was made using two-course slab assemblies without roofing. That series included a number of tests in which vermiculite and perlite and preformed foam cellular concretes

Copyright American Concrete Institute. Provided by ASCE under license only. All rights reserved. No reproduction or translation permitted without license from ASCE.

Downloaded from ascelibrary.org by University of Florida on 07/22/15. See all rights reserved. For more information, contact ASCE at 7000 Ashford Drive, Suite 100, Alexandria, VA 22304-6145. Tel: 703/295-6000. Fax: 703/295-6070. Email: service@ascelibrary.org

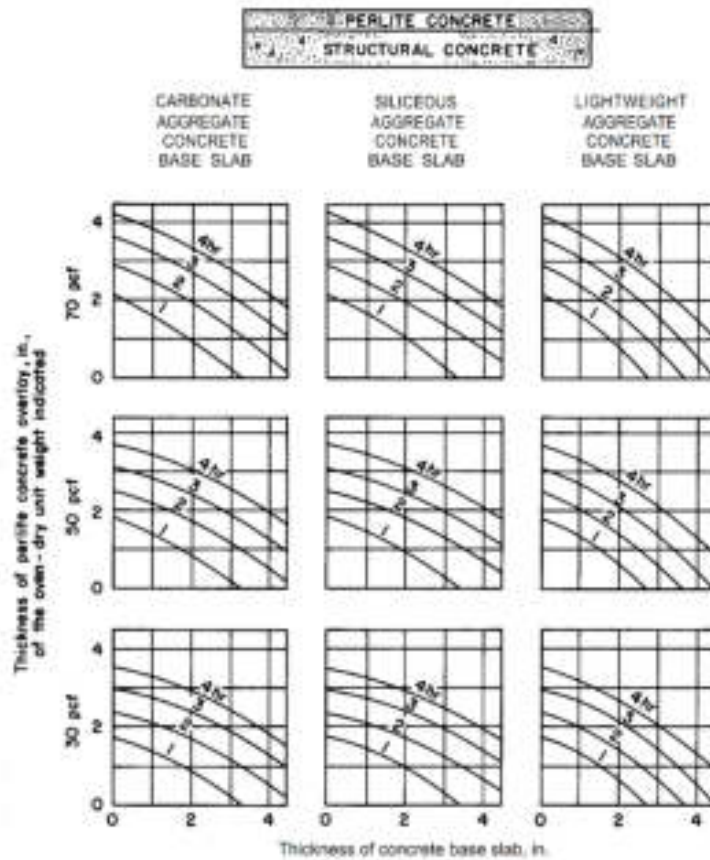


Fig. 8.1 (b)-Fire endurance of slabs consisting of perlite concrete overlays on structural concrete base slabs-Courtesy Cement and Concrete Research, see Reference 16

of densities 30, 50, and 70 pcf (480,800, and 1120 kg/m³) were used as the upper course of the two-course assembly. The base slabs were carbonate, siliceous, or lightweight aggregate concrete. Three sets of design aids, taken from Reference 16, are shown in Fig. 8.1(a), 8.1(b), and 8.1(c).

Other fire retardance tests have been conducted on wall, floor, and roof assemblies constructed of low density concrete. Test results and construction details are published by the American Insurance Association and Underwriters Laboratories.

Table 8.1-Thickness in inches of material required for indicated fire endurance period (heat transmission only)

Oven-dry unit weight		Fire endurance, hr			
pcf	kg/m ³	2	3	4	5
25-30	400-480	2.2-2.8	2.8-3.3	3.3-3.8	3.8-4.2
50-60	800-960	2.8-3.1	3.3-3.5	3.9-4.1	4.4-4.6
70-80	1120-1280	3.1-3.4	3.8-4.2	4.4-4.8	4.9-5.4
100	1600	4.0	5.0	5.8	—

Copyright American Concrete Institute
 Reprinted by permission from ACI
 No reproduction or retransmission permitted without license from ACI

REFERENCES

1. Monfore G.E. "A Review of Fiber Reinforcement of Portland Cement Paste Mortar, and Concrete," JOURNAL, Portland Cement Association V. 10, No. 8, Sept. 1968, pp. 43-49.
2. Meissner, H.S., "Mineral Admixtures," *Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete Aggregates*, STP 169, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1955, pp. 375-387.
3. Criswiler, C.M., and Hardy, R.G., "Cellular Concrete

Library of Congress
 Call No. HD3045 .C72
 Date Recd. 01-23-1968 00:37:00 AM '68

CELLULAR CONCRETES

523.3R-15

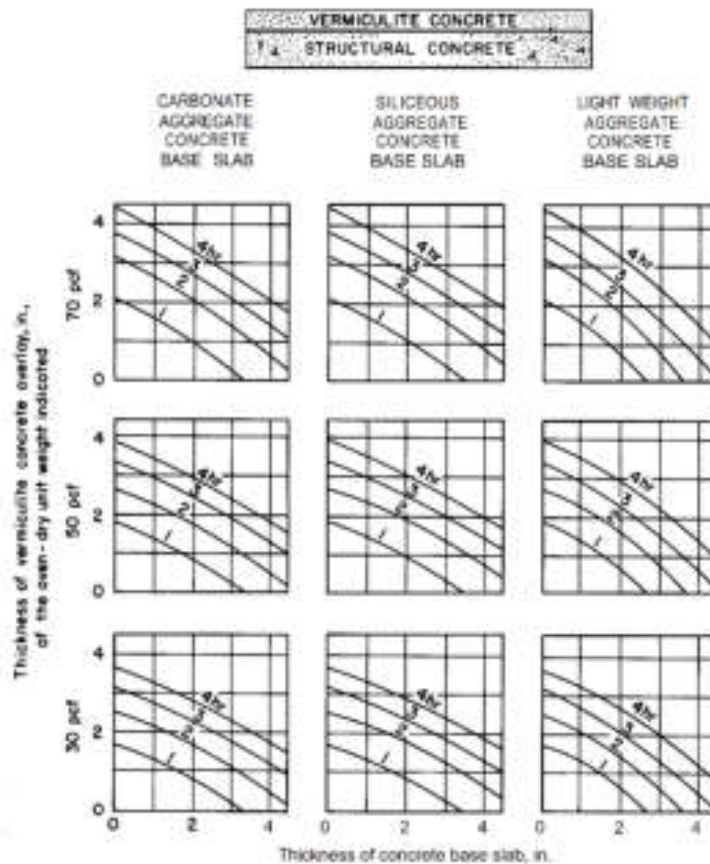


Fig. 8.1(c)-Fire endurance of slabs consisting of vermiculite concrete overlays on structural concrete base slabs-Courtesy Cement and Concrete Research, see Reference 16

of Kansas Pozzolanic Materials," *Kansas Geological Survey Bulletin*, No. 191, Part 1, 1968, pp. 27-34.

4. Hoff, George C., "Low Density Concrete Backfills for Lined Tunnels" *Lightweight Concrete*, SP-29, American Concrete Institute, Detroit, 1971, pp. 221-251.

5. "Prevention of Plastic Cracking in Concrete," *Concrete Information*, Structural Bureau, ST 80, Portland Cement Association, Skokie, 1955, 2 pp.

6. McCormick, Fred C., "Rational Proportioning of Preformed Foam Cellular Concrete," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 64, No. 2, Feb. 1967, pp. 104-110.

7. Hoff, George C., "Shock Absorbing Materials, Report 2, Cellular Concrete as a Backpacking Material," *Technical Report No. 6-763*, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, June 1971, 184 pp.

8. Reichard, T.W., "Mechanical Properties of Insulating Concretes," *Lightweight Concrete*, SP-29, American Concrete Institute, Detroit, 1971, pp. 253-316.

9. Valore, R.C., "North American Lightweight Concretes," Presented at Polish-American Symposium on the Use of Concrete in Housing, Warsaw, Oct. 1973, 81 pp.

10. *ASHRAE Handbook of Fundamentals*, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, New York, 1972, pp. 347-348.

11. ASCE-ACI Task Committee 426, "The Shear Strength of Reinforced Concrete Members," *Proceedings, ASCE*, V. 99, ST6, June 1973, pp. 1091-1187.

12. Mathey, Robert G., and Watstein, David, "Investigation of Bond in Beam and Pull-Out Specimens with High-Yield-Strength Deformed Bars," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 57, No. 9, Mar. 1961, pp. 1071-1090.

13. Ferguson, Phil M., and Thompson, J. Neils, "Development Length in High Strength Reinforcing Bars in Bond," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 59, No. 7, July 1962, pp. 887-922.

14. Tobin, Robert E., "Tensile Strength as a Function of Cellular Concrete," *Concrete Facts*, Expanded Shale, 1967.

Copyright American Concrete Institute
 Provided by IES under license with ACI
 No reproduction or retransmission permitted without license from IES

Copyright American Concrete Institute
 Provided by IES under license with ACI
 No reproduction or retransmission permitted without license from IES

523.3R-18

ACI COMMITTEE REPORT

Clay, and Slate Institute, V. 16, No. 4, 1972, pp. 8-10.

15. Hoff, George C., "Porosity-Strength Considerations for Cellular Concrete," *Cement and Concrete Research*, V. 2, No. 1, Jan. 1972, pp. 91-100.

16. Gustaferrro, A.H.; Abrams, M.S.; and Litvin, A., "Fire Resistance of Lightweight Insulating Concretes,"

Lightweight Concrete, SP-29, American Concrete Institute, Detroit, 1971, pp. 161-180.

ACI 523.3R-93 was submitted to letter ballot of the committee and processed in accordance with ACI balloting procedures.

Método Estándar de Ensayo para

MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y RELACIÓN DE POISSON DEL CONCRETO EN COMPRESIÓN

1. Alcance

1.1 Este método de ensayo cubre la determinación de (1) el módulo de elasticidad secante (de Young) y (2) la relación de Poisson en cilindros de concreto moldeados y núcleos de concreto taladrados cuando son sometidos a esfuerzos de compresión longitudinal. Las definiciones de módulo de elasticidad secante y módulo de Young se encuentran en Terminología E 6.

1.2 Los valores establecidos en unidades libras-pulgadas son considerados como los estándar.

1.3 Esta norma no pretende dar todas las direcciones de seguridad, si alguna, asociada con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma, establecer la seguridad apropiada y prácticas de salud así como determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras antes de su uso.

2. Documentos Referenciados

2.1 Estándares ASTM

C 31 Práctica para Elaboración y Curado en el Campo de Especímenes de Concreto para ensayo.

C 39 Método de Ensayo para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto

C 42 Método de Ensayo para Obtención y Ensayo de Núcleos

Taladrados y Vigas Aserradas de Concreto.

C 174 Método de Ensayo para Medida de la Longitud de Núcleos de Concreto

C 192 Práctica para Elaboración y Curado en el Laboratorio de Especímenes de Concreto para Ensayo.

C 617 Práctica para Cabeceado de Especímenes Cilíndricos de Concreto

E 4 Práctica para Verificación de Carga en Máquinas de Ensayo

E 6 Terminología Relativa a Métodos de Ensayos Mecánicos

E 83 Práctica para verificación y Clasificación de Extensómetros

E 177 Práctica para Uso de los Términos Precisión y Desviación en los Métodos de Ensayo ASTM.

3. Significado y uso

3.1 Este método de ensayo proporciona un valor de la relación esfuerzo a deformación y una relación de deformación lateral a longitudinal para el concreto endurecido a cualquier edad y condiciones de curado que pueden ser establecidas.

3.2 Los valores del módulo de elasticidad y relación de Poisson, aplicables dentro del rango de esfuerzos de trabajo (0 a 40% de la resistencia última del concreto), puede ser usada en el dimensionamiento de miembros estructurales reforzados y no reforzados para establecer la cantidad del refuerzo y calcular los esfuerzos para las deformaciones observadas.

3.3 Los valores del módulo de elasticidad obtenido serán usualmente menores que el módulo derivado de aplicación de carga rápida (por ejemplo, ratas dinámicas o sísmicas), y usualmente serán mayores que los valores obtenidos bajo aplicación de carga lenta o extendiendo la duración de la carga, manteniendo las otras condiciones de ensayo.

4. Aparatos

4.1 Máquina de Ensayo—Puede ser usada cualquier tipo de máquina de ensayo capaz de imponer una carga en la rata y de la magnitud establecida en el numeral 6.4. La máquina debe adecuarse a los requerimientos de la Práctica E 4 (sección Máquinas de Ensayo del Tipo CRT Constant-Rate of-Transverse). La cabeza esférica y los bloques de apoyo estarán conforme con la Sección Aparatos del Método de Ensayo C 39.

4.2 Compresómetro - Para determinar el módulo de elasticidad, se debe disponer de un dispositivo sensible unido o no a la probeta, para medir con una aproximación de 5 millonésima la deformación promedio de dos marcas de referencia diametralmente opuestas, cada una paralela al eje y centradas hacia la mitad de la altura del espécimen. La longitud efectiva de cada marca de referencia no deberá ser menor que tres veces el tamaño máximo del agregado en el concreto ni mayor que 2/3 la altura del espécimen; la longitud preferida de las marcas de referencia es la mitad de la altura del espécimen. Las marcas de referencia pueden ser embebidas o adheridas al espécimen y la

deformación de las dos líneas leídas independientemente; o puede ser usado un Compresómetro (tal como el mostrado en la Fig. 1) consistiendo en dos anillos, uno de los cuales (ver B en la Fig.1) está rigidamente ligado al espécimen y el otro (ver C en la Fig.1), ligado en dos puntos diametralmente opuestos de tal forma que está libre para rotar. En un punto de la circunferencia del anillo o yugo, a mitad entre los dos puntos de soporte, deberá ser usado un vástago pivotado (ver A en la Fig. 1) para mantener una distancia constante entre los dos anillos. En el punto opuesto en la circunferencia del yugo rotativo, el cambio de distancia entre los dos anillos (esto es la lectura del deformímetro), sea igual a la suma del desplazamiento debido a la deformación del espécimen y el desplazamiento debido a la rotación del yugo sobre el pivote (ver Fig. 2).



4.2.1 La deformación puede ser medida por un dial usado directamente o por un sistema multiplicador de palanca, por un deformímetro de alambre o por un

transformador diferencial lineal variable. Si la distancia del vástago pivotado y el medidor del plano vertical que pasa a través del punto de soporte del yugo rotativo son iguales, la deformación del espécimen es igual a un medio la lectura del dial. Si estas distancias no son iguales, la deformación deberá ser calculada como sigue:

g = Lectura del dial, (μ pulg., μ m)

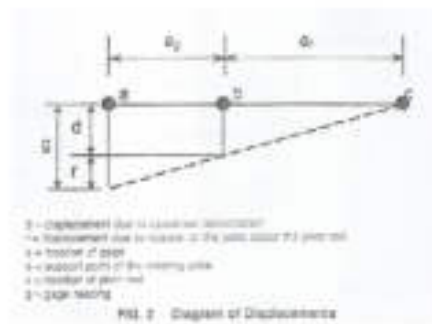
e_r = La distancia perpendicular, (pulg., mm), con aproximación de 0.01 pulg. (0.254 mm) desde el vástago pivotado al plano vertical que pasa por los dos puntos de soporte del yugo rotativo.

e_s = La distancia perpendicular, (pulg., mm), con aproximación de 0.01 pulg. (0.254 mm) desde el dial a al plano vertical que pasa por los dos puntos de soporte del yugo rotativo.

Los procedimientos para calibración de aparatos medidores de deformación están dados en la Práctica E 83

Nota 1—Aunque las marcas de referencia son satisfactorias en los especímenes secos, puede ser difícil, si no imposible, montarlas en especímenes de curado húmedo continuo, antes de ser ensayados.

4.3 Extensómetro – Si se desea la relación de Poisson, la deformación transversal puede ser determinada (1) mediante un Extensómetro no adherido, capaz de medir con una aproximación de 25 μ pulg. (0.635 μ m) el cambio del diámetro en la altura media del espécimen o (2) mediante dos líneas de referencia adheridas (Nota 1) montadas circularmente en puntos diametralmente opuestos a media altura del espécimen y capaz de medir deformación circunferencial con una aproximación de 5 millonésima. Un aparato que combine Compresómetro y Extensómetro (Fig. 3) es conveniente. Este contendrá un tercer yugo o anillo (consistiendo de dos segmentos iguales)



$$d = \frac{g e_r}{(e_r + e_s)} (1)$$

Donde:
 d = Deformación total del espécimen a lo largo de la longitud efectiva de la línea de referencia, (μ pulg., μ m)

localizados entre los dos anillos del Compresómetro y fijados al espécimen en dos puntos diametralmente opuestos. Entre estos dos puntos se ubica una barra de pivote corta (A' , ver Fig. 3) adyacente a la barra de pivote larga, que debe ser usada para mantener una distancia constante entre los anillos inferior y medio. El anillo medio debe ser articulado en el punto de pivote para permitir la rotación de los dos segmentos del anillo en el plano horizontal. En el punto opuesto a la circunferencia, los



dos segmentos deben estar conectados a través de un dial u otro aparato sensible, capaz de medir deformación transversal con una aproximación de 50 μ pulg. (1.27 μ m). Si las distancias de la articulación y el punto del plano vertical que pasan a través de los puntos soportados en el anillo medio son iguales, la deformación transversal del diámetro del espécimen es igual a la mitad en la lectura del medidor. Si estas distancias

no son iguales, la deformación transversal del diámetro del espécimen puede ser calculada de acuerdo con la ecuación 2.

$$d' = \frac{g' e' h}{(e' h + e' g)} (2) \quad \text{[Especimen]}$$

(μ pulg., μ m)

g' = Lectura del deformímetro transversal (μ pulg., μ m)

$e' h$ = La distancia perpendicular (medida en pulg. o mm) con una precisión de 0.01 pulg. (0.254 mm) desde la articulación al plano vertical pasando por los puntos de soporte en la mitad del yugo

$e' g$ = La distancia perpendicular, medida en pulg. o mm, con una precisión de 0.01 pulg. (0.254 mm) desde el medidor al plano vertical pasando a través de los puntos de soporte en la mitad del yugo.

4.4 Balanza o Báscula, de ser necesario debe suministrarse una balanza con precisión de 0.1 lb (0.045 Kg)

5. Especímenes de Ensayo

5.1 Especímenes Cilíndricos Moldeados - Los cilindros para ensayo serán moldeados de acuerdo con los requisitos para ensayo de probetas a compresión de la Práctica C 192, ó la Práctica C 31. Los especímenes estarán sujetos a las condiciones de curado especificado y ensayados a la edad para la cual se desea la información de elasticidad. Las probetas serán ensayadas dentro de 1 hora después de removerlos del curado o sala de almacenamiento. Las probetas sacadas del cuarto húmedo para ensayo, serán mantenidas húmedas mediante una tela húmeda que las cubra durante el intervalo de tiempo entre la remoción y el ensayo.

5.2 Núcleos Taladrados—Los

núcleos deben cumplir con los requerimientos para taladrado y condiciones de humedad aplicables a especímenes a compresión del Método de Ensayo C 42, excepto que solamente se deben usar núcleos taladrados con broca de diamante que posean una relación longitud a diámetro mayor que 1.5. Los requerimientos relativos a almacenamiento y condiciones ambientales previas al ensayo serán las mismas que para especímenes cilíndricos moldeados

5.3 Los extremos de los especímenes de ensayo serán perpendiculares a su eje (con tolerancia de $\pm 0.5^\circ$) y planos (dentro de 0.02 pulg., 0.05 mm). Si el espécimen no reúne los requisitos de plano, lo plano será realizado mediante un cabeceado de acuerdo con la Práctica C 617, cubriendo parcialmente o por esmerilado. Los agregados salientes que ocurren en los extremos de la probeta pueden ser reparados con tal que el área total de los salientes no exceda el 10% del área del espécimen y las reparaciones sean hechas antes de completar el cabeceado o esmerilado (Nota 2). Será considerado plano dentro de la tolerancia, cuando una lamina calibrada de 0.002 pulg. (0.5 mm) no pase entre la superficie del espécimen y una lamina recta apoyada contra la superficie.

Nota 2— Las reparaciones pueden ser hechas pegando los agregados sueltos de nuevo en su lugar o llenando los vacíos con material de cabeceo y permitiendo un tiempo adecuado para su endurecimiento.

5.4 El diámetro del espécimen de ensayo será medido por calibrado

con aproximación de 0.01 pulg. (0.25 mm) promediando dos diámetros medidos en ángulo recto entre sí, cerca del centro de la longitud del espécimen. Este diámetro promedio será usado para calcular el área de la sección transversal. La longitud del espécimen moldeado, incluyendo su cabeceado será medida y reportado con una aproximación de 0.1 pulg. (2.54 mm). La longitud de los especímenes taladrados será medida de acuerdo con el Método de Ensayo C 174; la longitud, incluyendo el cabeceado, será reportada con una aproximación de 0.1 pulg.

6. Procedimiento

6.1 Durante el ensayo, mantenga la temperatura ambiente y la humedad tan constante como sea posible. Registre alguna fluctuación inusual de la temperatura o humedad en el informe.

6.2 Use el espécimen compañero para determinar la resistencia a la compresión de acuerdo al Método de Ensayo C 39, previo al ensayo para módulo de elasticidad.

6.3 Coloque el espécimen, con el equipo medidor de deformaciones unido, en la platina inferior o bloque de apoyo de la máquina de ensayo. Cuidadosamente alinear el eje del espécimen con el centro de empuje del bloque de carga superior con asiento esférico. Anote la lectura del deformímetro. A medida que el bloque de asiento esférico es llevado lentamente a asentarse sobre la probeta, rotar la parte móvil del bloque suavemente con las manos hasta que se obtenga un apoyo uniforme.

6.4 Cargue el espécimen al menos dos veces. No registre ningún dato durante la primera carga. Los cálculos se basarán en el promedio de los resultados de las subsecuentes cargas.

Nota 3 - Por lo menos dos cargas subsecuentes son recomendadas para que la repetitividad del ensayo pueda ser notada.

Durante la primera carga, la cual es primeramente para ajustar los deformímetros, observar el comportamiento de estos (Nota 4) y corregir cualquier comportamiento inusual previo a la segunda carga. Obtener cada conjunto de lecturas como sigue: Aplique la carga continuamente y sin golpe. Las maquinas de ensayo tipo tornillo con cabezal móvil viajan a una rata de alrededor 0.05 pulg. (1.25 mm)/ minuto cuando la maquina esta corriendo libre. En maquinas operadas [espécimen]mente, aplique la carga a una rata constante dentro del rango 35 ± 5 psi (241 ± 34 Kpa)/segundos. Sin interrupción de carga, registre la carga aplicada y la deformación longitudinal en el punto (1) cuando la deformación longitudinal es 50 millonésima y (2) cuando la carga aplicada es igual al 40 % de la carga ultima (ver sección 6.5). La deformación longitudinal es definida como el total de la deformación longitudinal dividida por la longitud efectiva del patrón. Si se va a determinar la relación de Poisson, registre la deformación transversal en los mismos puntos. Si se desea la curva esfuerzo-deformación tome lecturas en dos o más puntos intermedios sin interrupción de la carga; o use un instrumento que haga un registro continuo. Inmediatamente se

alcance la carga máxima, excepto en la carga final, reduzca la carga a cero a la misma rata que fue aplicada. Si el observador falla en obtener una lectura, complete el ciclo de carga y repítalo. Registre el ciclo extra en el informe.

Nota 4 - Donde un deformímetro de carátula sea utilizado para medir la deformación longitudinal, es conveniente ajustarlo antes de cada carga, de tal manera que el indicador pase por el punto cero cuando la deformación longitudinal sea 50 millonésima.

6.5 El módulo de elasticidad y la resistencia pueden ser obtenidos en la misma carga suministrada, aun cuando los deformímetros sean prescindibles, removibles o adecuadamente protegidos para cumplir con los requerimientos de carga continua dados en el Método de Ensayo C 39. En este caso, registrar varias lecturas y determinar el valor de la deformación al 40 % de la carga última por interpolación.

6.6 Si se toman lecturas intermedias, dibujar los resultados de cada una de los tres ensayos con la deformación longitudinal en las abscisas y el esfuerzo de compresión en las ordenadas. Calcúlese el esfuerzo de compresión dividiendo el valor de la carga en la maquina de ensayo por el área de la sección transversal del espécimen determinada de acuerdo con la sección 5.4.

7. Cálculos

7.1 Calcúlese el modulo de elasticidad, próximo a 50,000 psi (344.74 Mpa) como sigue:

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\epsilon_2 - 0.000050)} \quad (3)$$

Donde:

E = módulo de elasticidad secante, psi

S₂ = esfuerzo correspondiente al 40 % de la carga última

S₁ = esfuerzo correspondiente a la deformación longitudinal, ϵ_1 , de 50 millonésima, y

ϵ_2 = deformación longitudinal producida por el esfuerzo S₂

7.2 Calcúlese la relación de Poisson próximo a 0.01 como sigue:

$$\mu = \frac{(e_{12} - e_{11})}{(\epsilon_2 - 0.000050)} \quad (4)$$

donde:

μ = relación de Poisson

e_{12} = deformación transversal a media altura del espécimen, producida por el esfuerzo S₂, y

e_{11} = deformación transversal a media altura del espécimen, producida por el esfuerzo S₁.

8. Informe

8.1 Reportar la siguiente información:

8.1.1 Número de identificación del espécimen

8.1.2 Dimensiones del espécimen, en pulg. o mm

8.1.3 Historia del curado y medio ambiente del espécimen

8.1.4 Edad del espécimen

8.1.5 Resistencia del concreto, si ha sido determinada

8.1.6 Peso unitario del concreto, si ha sido determinado

8.1.7 Curva esfuerzo-deformación, si son dibujadas

8.1.8 Módulo de elasticidad secante, y

8.1.9 Relación de Poisson, si ha sido determinada

9. Precisión y Desviación

9.1 Precisión - La precisión maquina multirrevoltura -un solo operador es $\pm 4.25\%$ (R15%) máximo, como se define en la Práctica E 177, sobre el rango de 2.5 a 4 x 10⁶ psi (17.3 a 27.6 x 10⁶ Pa); entonces los resultados de ensayos de cilindros duplicados desde diferentes revolturas no saldrá en más del 5% del promedio de las dos.
9.2 Desviación—Este método de ensayo no tiene desviación porque los valores determinados pueden únicamente ser definidos en términos del método de ensayo mismo.

10. palabras clave

10.1 ensayos de compresión; concreto; módulo de elasticidad; coeficiente de Poisson

AASHTO TP-60

Standard Method of Test for

Coefficient of Thermal Expansion of Hydraulic Cement Concrete

AASHTO Designation: TP 60-00 (2006)¹



1. SCOPE

- 1.1. This test method covers determination of the coefficient of thermal expansion (CTE) of hydraulic cement concrete cores or cylinders. Since it is known that the degree of saturation of concrete influences its measured coefficient of thermal expansion, the moisture condition of the concrete specimens must be controlled. For this test procedure, the specimens must be in a saturated condition.
- 1.2. The values stated in SI units shall be regarded as the standard.

2. REFERENCED DOCUMENTS

- 2.1. *AASHTO Standards:*
 - R 39, Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory
 - T 23, Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field
 - T 24, Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete

3. SUMMARY OF TEST METHOD

- 3.1. This method determines the CTE of a cylindrical concrete specimen, maintained in a saturated condition, by measuring the length change of the specimen due to a specified temperature change. The measured length change is corrected for any change in length of the measuring apparatus (previously determined), and the CTE is then calculated by dividing the corrected length change by the temperature change and then the specimen length, as described in the section on calculations.

4. SIGNIFICANCE AND USE

- 4.1. Measurement of the CTE permits assessment of the potential for length/volume change of concrete due to a uniform temperature change, and the potential deformation of a concrete structure due to a temperature gradient through the concrete. As an example, for pavement slabs on grade, uniform temperature change will affect the openings at joints, and a temperature gradient through the thickness of these same slabs will produce curling of the slabs. Using the results of this test, better estimates of slab movement and stress development due to temperature change can be obtained.

5. APPARATUS

- 5.1. *Concrete Saw*—Capable of sawing the ends of a cylindrical specimen perpendicular to the axis and parallel to each other.
- 5.2. *Balance*—A scale or balance having a capacity of 20 kg (44 lb), and accurate to 0.1 percent over its range.
- 5.3. *Caliper*—Comparator or other suitable device to measure the specimen length to the nearest 0.1 mm (0.004 in.).
- 5.4. *Water Bath*—A controlled-temperature water bath with a temperature range of 10 to 50°C (50 to 122°F), capable of controlling the temperature to 0.1°C (0.2°F).
- 5.5. *Support Frame*—A rigid support frame for the specimen to be used during length change measurement. The frame should be designed to have minimal influence on the length change measurements obtained during the test, and support the specimen such that the specimen is allowed to freely adjust to any change in temperature. A suitable support frame is described in detail in Appendix X1.
- 5.6. *Temperature Measuring Devices*—Four submersible temperature measuring devices with a resolution of 0.1°C (0.2°F) and accurate to 0.2°C (0.4°F).
- 5.7. *Gauge*—A submersible LVDT gauge head with excitation source and digital readout, with a minimum resolution of 0.00025 mm (0.00001 in.), and a range suitable for the test (for ease in setting up the apparatus, a range of ± 3 mm (0.1 in.) has been found practical) (Note 1).
- Note 1**—Linear variable differential transformers (LVDTs) with the appropriate associated electronic actuating and indicating apparatus appear to give the best results with respect to stability, sensitivity, and reliability. Multichannel recording of outputs has been found to be practical and efficient. As an alternate, a data logger can be used to excite the LVDT and record the LVDT and both temperature and time outputs. The data can be stored directly in a personal computer for graphing of test results.
- 5.8. *Micrometer*—A micrometer or other suitable device for calibrating the LVDT over the range to be used in the test and with a minimum resolution of 0.00025 mm (0.00001 in.).

6. TEST SPECIMENS

- 6.1. Test specimens shall consist of drilled 100-mm (4-in.) nominal diameter cores sampled from the concrete structure being evaluated, or 100-mm (4-in.) nominal diameter cylinders. Cores shall be obtained in accordance with T 24. Cylinders shall be cast in accordance with T 23 or R 29. The specimens shall be sawed perpendicular to the axis at a suitable length. A length of 180 ± 2 mm (7.0 ± 0.1 in.) has been found acceptable. The standard reference material used for calibration (see Appendix X2) shall be the same length as the test specimen so that the frame does not have to be adjusted between calibration and testing. The sawed ends shall be flat and parallel.

7. PROCEDURE

- 7.1. *Specimen Conditioning*—The specimens shall be conditioned by submersion in saturated lime water at $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73 \pm 4^\circ\text{F}$) for not less than 48 hours and until two successive weighings of the surface-dried sample at intervals of 24 hours show an increase in weight of less than 0.5 percent. A surface-dried sample is obtained by removing the surface moisture with a towel.
- 7.2. *Testing Procedure:*
- 7.2.1. Place the measuring apparatus, with LVDT attached, in the water bath and fill the bath with cold tap water. Place the four temperature sensors in the bath at locations that will provide an average temperature for the bath as a whole. To avoid any sticking at the points of contact with the specimen, put a very thin film of silicon grease on the end of the support buttons and LVDT tip.
- 7.2.2. Remove the specimen from the saturation tank and measure its length at room temperature to the nearest 0.1 mm (0.004 in.). After measuring the length, place the specimen in the measuring apparatus located in the controlled-temperature bath, making sure that the lower end of the specimen is firmly seated against the support buttons, and that the LVDT tip is seated against the upper end of the specimen (Note 2).
- Note 2**—The desired range of travel in the linear range of the LVDT over which it has been calibrated. The LVDT travel during the test should remain well within this range to insure accurate results.
- 7.2.3. Set the temperature of the water bath to $10 \pm 1^\circ\text{C}$ ($50 \pm 2^\circ\text{F}$). When the bath reaches this temperature, allow the bath to remain at this temperature until thermal equilibrium of the specimen has been reached, as indicated by consistent readings of the LVDT to the nearest 0.00025 mm (0.00001 in.) taken every 10 minutes over a one-half hour time period. Also at this time, check that the specimen is firmly seated against the support buttons, as confirmed by the LVDT reading.
- 7.2.4. Record the temperature readings from the four sensors to the nearest 0.1°C (0.2°F). Record the LVDT reading to the nearest 0.00025 mm (0.00001 in.). These are the initial readings.
- 7.2.5. Set the temperature of the water bath to $50 \pm 1^\circ\text{C}$ ($122 \pm 2^\circ\text{F}$). Once the bath has reached $50 \pm 1^\circ\text{C}$ ($122 \pm 2^\circ\text{F}$), allow the bath to remain at this temperature until thermal equilibrium of the specimen has been reached, as indicated by consistent readings of the LVDT to the nearest 0.00025 mm (0.00001 in.) taken every 10 minutes over a one-half hour time period.
- 7.2.6. Record the temperature readings from the four sensors to the nearest 0.1°C (0.2°F). Record the LVDT reading to the nearest 0.00025 mm (0.00001 in.). These are the second readings.
- 7.2.7. Set the temperature of the water bath to $10 \pm 1^\circ\text{C}$ ($50 \pm 2^\circ\text{F}$). When the bath reaches this temperature, allow the bath to remain at this temperature until thermal equilibrium of the specimen has been reached, as indicated by consistent readings of the LVDT to the nearest 0.00025 mm (0.00001 in.) taken every 10 minutes over a one-half hour time period.
- 7.2.8. Record the temperature readings from the four sensors to the nearest 0.1°C (0.2°F). Record the LVDT reading to the nearest 0.00025 mm (0.00001 in.). These are the final readings.

8. CALCULATIONS

- 8.1 *Coefficient of Thermal Expansion*—Calculate the CTE of one expansion or contraction test segment of a concrete specimen as follows (reported in micro strains/°C):

$$CTE = (\Delta L_s / L_s) / \Delta T \quad (1)$$

where:

- ΔL_s = actual length change of specimen during temperature change, mm, (see Equation 2);
 L_s = measured length of specimen at room temperature, mm; and
 ΔT = measured temperature change (average of the four sensors), °C (increase = positive, decrease = negative).

$$\Delta L_s = \Delta L_m + \Delta L_f \quad (2)$$

where:

- ΔL_m = measured length change of specimen during temperature change, mm (increase = positive, decrease = negative); and
 ΔL_f = length change of the measuring apparatus during temperature change, mm. (See Equation 3.)

$$\Delta L_f = C_f \times L_s \times \Delta T \quad (3)$$

where:

- C_f = correction factor accounting for the change in length of the measurement apparatus with temperature, in./in./°C. (See Appendix X2.)

- 8.2. For the expansion test segment, the initial and second readings are used in the calculations. For the contraction test segment, the second and final readings are used in the calculations.

- 8.3. The test result is the average of the two CTE values obtained from the two test segments provided the two values are within 0.3 micro strain/°C (0.5 micro strain/°F) of each other. If the two values are not within 0.3 micro strain/°C (0.5 micro strain/°F) of each other, one or more additional test segments are completed until two successive test segments yield CTE values within 0.3 micro strain/°C (0.5 micro strain/°F) of each other. The test result is the average of these two CTE values (Note 3).

$$CTE = (CTE_1 + CTE_2) / 2 \quad (4)$$

Note 3—Differences in successive CTEs greater than the required value sometimes occur during the first few cycles of temperature change due to minor misalignment, or lack of proper initial seating of the specimen. This is usually self-correcting during the first few temperature cycles. However, it does point out the importance of carefully positioning the specimen at the start of the test.

9. REPORT

- 9.1. *The report shall include the following information:*
- 9.1.1. Identification number;

- 9.1.2. Specimen type, description, and source;
- 9.1.3. Specimen dimensions, including length and diameter;
- 9.1.4. Mixture proportions and aggregate type, if available;
- 9.1.5. All temperature and length measurements collected during the test;
- 9.1.6. All calculated values, including CTE data and the final CTE value;
- 9.1.7. The frame's correction factor, C_s , as well as the reference material used and its thermal coefficient;
- 9.1.8. Date of test;
- 9.1.9. Place of test;
- 9.1.10. Technician conducting test; and
- 9.1.11. Any other pertinent information.

10. PRECISION AND BIAS

- 10.1. *Precision*—No precision has been established for this test method.
- 10.2. *Bias*—No bias can be established because no reference material is available for this test.

APPENDIXES

(Nonmandatory Information)

X1. SPECIMEN MEASURING APPARATUS

- X1.1. The measuring apparatus consists of two primary components: a frame and a length change measuring device.
- X1.2. *Frame:*
 - X1.2.1. Figure X1.1 shows a schematic of a suitable measuring frame. Any specimen measuring frame should be constructed with the following features in mind:
 - X1.2.2. Because the frame will be submerged in water throughout the test, components should be made of a noncorroding material. In so far as possible, the portions of the frame, which directly affect measurement over a change in temperature, should be constructed of invar and protected from corrosion as necessary.
 - X1.2.3. The frame may be designed to be adjustable to accommodate different sample lengths; however, calibrations will be required after each adjustment.

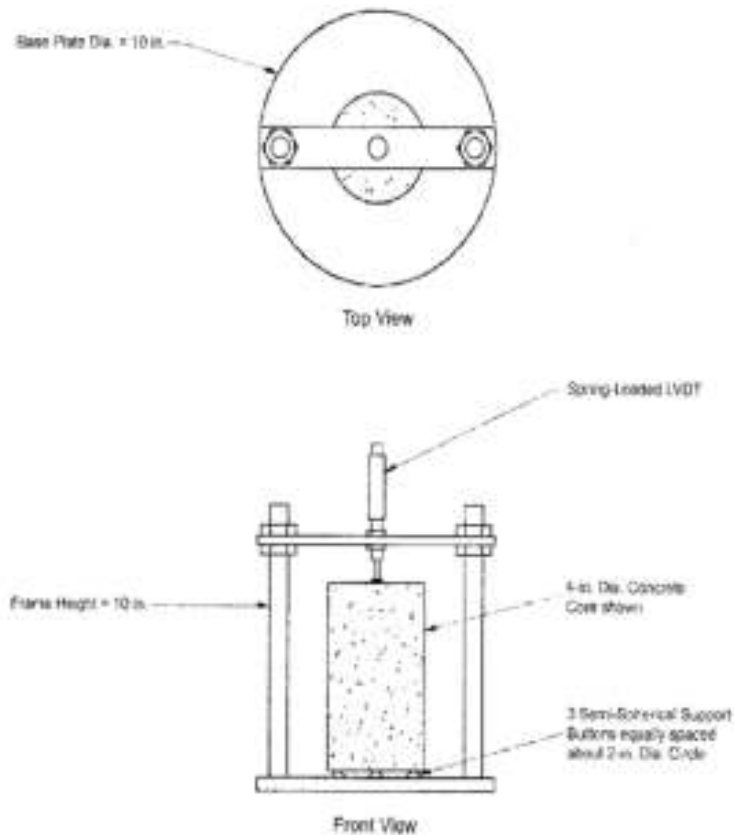


Figure X1.1—Schematic of a Measuring Frame

X1.3. *Length Change Measurement Devices:*

X1.3.1. The sample length change may be measured using any suitable apparatus that can be submerged in water, has sufficient resolution, and gives reproducible results. Some apparatus use a submersible spring-loaded LVDT gauge head for length change measurement.

X1.3.2. Appropriate signal conditioning equipment will be required if an LVDT or other electronic transducer is used for length change measurements. A voltmeter or a computer and data acquisition software may also be required if the signal conditioning equipment does not have a digital readout. The LVDT will require calibration using a micrometer to relate the digital readout output (which may be in volts or arbitrary units) to actual length changes.

X1.3.3. The contact tip (at the point of contact between the measuring device and the specimen) must be attached to the length change measuring device with a suitable adhesive to prevent loosening during a test.

X2. REFERENCE TEST FOR DETERMINATION OF CORRECTION FACTOR

X2.1. The test procedure described in Section 7.2 is used to determine a correction factor to account for expansion of the measuring apparatus during the test. A specimen with a known coefficient of thermal expansion is used. The specimen should be composed of a material which is essentially linearly elastic, noncorroding, non-oxidizing, and nonmagnetic, and should have a thermal coefficient as close as possible to that of concrete (304 stainless steel, which has a CTE of $17.3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, is a suitable material). The reference material sample should also be of the same nominal dimensions as the test samples, so that no adjustment of the frame and/or the LVDT is necessary between calibration and testing.

X2.2. *Calculation of the Correction Factor:*

X2.3. Assuming that the length change of the apparatus varies linearly with temperature, the correction factor C_f is defined as:

$$C_f = \Delta L_f / L_o / \Delta T \quad (X2.1)$$

where:

ΔL_f = length change of the measuring apparatus during temperature change, mm (see Equation X2.2);

L_o = measured length of calibration specimen at room temperature, mm; and

ΔT = measured temperature change, $^{\circ}\text{C}$ (increase = positive, decrease = negative).

$$\Delta L_f = \Delta L_a - \Delta L_m \quad (X2.2)$$

where:

ΔL_a = actual length change of calibration specimen during temperature change, mm (see Equation X2.3); and

ΔL_m = measured length change of calibration specimen during temperature change, mm (increase = positive, decrease = negative).

$$\Delta L_a = L_o \times \alpha_c \times \Delta T \quad (X2.3)$$

where:

α_c = CTE of calibration specimen, $^{\circ}\text{C}$ (known).

Note X1—It is recommended that at least three calibration tests be performed, and that the average of the correction factors calculated for each test be used for calculations on actual concrete tests.

¹ Approved in January 2000, this standard was first published in 2000 and reconfirmed in 2006.

NORMA TÉCNICA	NTP 339.078
PERUANA	2012

Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias - INDECOPI
Calle de La Prosa 104, San Borja (Lima 41) Apartado 145 Lima, Perú

CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo

CONCRETE. Standard test method for flexural strength of concrete using simple beam with third-point loading

2012-09-26
3ª Edición

R.0092-2012/CNB-INDECOPI. Publicada el 2012-10-31 Precio basado en 10 páginas
I.C.S.: 91.100.30 ESTA NORMA ES RECOMENDABLE
Descriptores: Concreto, vigas, resistencia a la flexión, ensayo

ÍNDICE

	página
ÍNDICE	i
PREFACIO	ii
1. OBJETO	1
2. REFERENCIAS NORMATIVAS	1
3. RESUMEN DEL MÉTODO	2
4. SIGNIFICADO Y USO	2
5. APARATOS	3
6. ENSAYO	4
7. PROCEDIMIENTO	5
8. MEDICIÓN DE LAS MUESTRAS LUEGO DE LAS PRUEBAS	6
9. CÁLCULOS	7
10. INFORME	8
11. PRECISIÓN Y DESVIACIÓN	9
12. ANTECEDENTES	9
ANEXO A	10

PREFACIO

A. RESEÑA HISTÓRICA

A.1 La presente Norma Técnica Peruana ha sido elaborada por el Comité Técnico de Normalización de Agregados, concreto, concreto armado y concreto pretensado, mediante el Sistema 2 u Ordinario, durante los meses de enero a mayo de 2012, utilizando como antecedente a los documentos que se mencionan en el capítulo correspondiente.

A.2 El Comité Técnico de Normalización de Agregados, concreto, concreto armado y concreto pretensado, presentó a la Comisión de Normalización y Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias -CNB-, con fecha 2012-06-27, el PNTP 339.078:2012, para su revisión y aprobación, siendo sometido a la etapa de discusión pública el 2012-07-27. No habiéndose presentado observaciones fue oficializada como Norma Técnica Peruana **NTP 339.078:2012 CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo**, 3ª Edición, el 31 de octubre de 2012.

A.3 Esta Norma Técnica Peruana reemplaza a la NTP 339.078:2001 y utilizó como antecedente a la norma ASTM C 78/C 78M - 10. La presente Norma Técnica Peruana ha sido estructurada de acuerdo a las Guías Peruanas GP 001:1995 y GP 002:1995.

B. INSTITUCIONES QUE PARTICIPARON EN LA ELABORACIÓN DE LA NORMA TÉCNICA PERUANA

Secretaría	Asociación de Productores de Cemento - ASOCEM
Presidente	Manuel Gonzáles de la Cotera Scheirmüller - ASOCEM
Secretario	Juan Avalo Castillo

ENTIDAD	REPRESENTANTE
CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.	Rosaura Vásquez
FIRTH INDUSTRIES PERU S.A.	Juan Harman Patricia Bayón
PREMIX S.A.	Carlos Forero
UNICON	Enrique Pasquel José Álvarez
SIKA PERÚ S.A.	Patricio Arellano
CONSULTOR	Ana Biondi
MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES – Dirección de Estudios Especiales de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles	Mario Gamarra José Marín
MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO	Daniel Carrión Roberto Prieto
ARPL TECNOLOGÍA INDUSTRIAL S.A.	Wilfredo Quintana
COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ - Capitulo de Civiles	Enrique Rivva
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA	Gladys Villa García
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA	Ana Torre Rafael Cachay
SENCICO	Vanna Giuffanti
CORPORACIÓN ACEROS AREQUIPA S.A.	Victor Granados Edgar García.
QUÍMICA SUIZA S.A.	Milan Pejnovic
UNIVERSIDAD RICARDO PALMA	Enriqueta Percyra Liliana Chavarría

---000000---

NORMA TÉCNICA
PERUANA

NTP 339.078
1 de 10

CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo

1. OBJETO

Esta Norma Técnica Peruana establece el procedimiento para determinar la resistencia a la flexión de vigas simplemente apoyadas, moldeadas con concreto o de vigas cortadas extraídas del concreto endurecido y ensayadas con cargas a los tercios de la luz.

2. REFERENCIAS NORMATIVAS

Las siguientes normas contienen disposiciones que al ser citadas en este texto, constituyen requisitos de esta Norma Técnica Peruana. Las ediciones indicadas estaban en vigencia en el momento de esta publicación. Como toda norma está sujeta a revisión, se recomienda a aquellos que realicen acuerdos en base a ellas, que analicen la conveniencia de usar las ediciones recientes de las normas citadas seguidamente. El Organismo Peruano de Normalización posee la información de las Normas Técnicas Peruanas en vigencia en todo momento.

2.1 Normas Técnicas Peruanas

- | | | |
|-------|------------------|--|
| 2.1.1 | NTP 339.033:2009 | HORMIGÓN (CONCRETO). Práctica normalizada para la elaboración y curado de los especímenes de concreto de campo |
| 2.1.2 | NTP 339.037:2008 | HORMIGÓN (CONCRETO). Práctica normalizada para el refrentado de testigos cilíndricos de hormigón (concreto) |

NORMA TECNICA
PERUANA

NTP 339.078
2 de 10

2.1.3 NTP 339.059: 2011 HORMIGÓN (CONCRETO), Método de ensayo normalizado para la obtención y ensayo de corazones diamantinos y vigas seccionadas de concreto

2.1.4 NTP 339.183:2003 HORMIGÓN (CONCRETO). Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de hormigón (concreto) en el laboratorio.

2.2 Normas Técnicas de Asociación

2.2.1 ASTM C 1077-11c Standard Practice for Agencies Testing Concrete and Concrete Aggregates for Use in Construction and Criteria for Testing Agency Evaluation

2.2.2 ASTM E 4-10 Standard Practices for Force Verification of Testing Machines

3. RESUMEN DEL MÉTODO

Este método de ensayo consiste en aplicar una carga en los tercios de la luz de la viga hasta que ocurra la falla. El módulo de rotura se calculará, según la ubicación de la falla: dentro del tercio medio o a una distancia de éste no mayor del 5 % de la luz libre.

4. SIGNIFICADO Y USO

4.1 Este método de ensayo se usa para determinar la resistencia a la flexión de especímenes preparados y curados con las NTP 339.033 ó NTP 339.183. Los resultados se calculan y reportan como el módulo de rotura. La resistencia que se determina variará si existen diferencias en el tamaño del espécimen, su preparación, condiciones de humedad, o si la viga ha sido moldeada o cortada al tamaño requerido.

NORMA TECNICA
PERUANA

NTP 339.078
3 de 10

4.2 Los resultados de este método de ensayo se pueden usar para determinar el cumplimiento con las especificaciones o como base para operaciones de dosificación, mezcla y colocación del concreto. Se utiliza en ensayos de concreto para la construcción de losas y pavimentos.

5. APARATOS

5.1 Máquina de Ensayo

5.1.1 La máquina de ensayo debe cumplir los requisitos de las secciones sobre la base de la verificación, correcciones, e intervalo de tiempo entre verificaciones, según ASTM E 4. No están permitidas las máquinas de ensayo manuales que funcionan con bombas que no aplican una carga continua en una sola carrera del pistón. Son permitidas las motobombas o bombas manuales de desplazamiento positivo, con volumen suficiente para completar el ensayo en una sola carrera del pistón sin necesidad de reabastecimientos. Deberá ser capaz de aplicar cargas a una velocidad uniforme, sin golpes ni interrupciones.

5.2 Aparatos de Carga

5.2.1 El método de ensayo de cargas a los tercios se utilizará en los ensayos de flexión del concreto empleando placas de apoyo que aseguren que las fuerzas aplicadas a la viga serán perpendiculares a la cara de la probeta y aplicarse sin excentricidad. Un diagrama de un aparato que cumple este propósito se muestra en la Figura 1 (Véase Anexo A).

5.2.2 Todos los aparatos para hacer ensayos de flexión en el concreto deben ser capaces de mantener constante la longitud del tramo especificado y las distancias entre placas de carga dentro de $\pm 1,0$ mm .

5.2.3 La relación de la distancia horizontal entre el punto de aplicación de la carga y el punto de aplicación de la reacción más cercana a la profundidad de la viga deberá ser de $1,0 \pm 0,03$.

NORMA TECNICA
PERUANA

NTP 339.078
4 de 10

5.2.4 El aparato será capaz de mantener constante la distancia entre apoyos y la distancia entre placas de carga, con aproximación de 2,0 mm .

5.2.5 La carga deberá aplicarse perpendicularmente a la cara superior de la viga de manera tal que se evite toda excentricidad.

5.2.6 La dirección de las reacciones deberán ser paralelas a la dirección de la carga aplicada mientras se realice la prueba.

5.2.7 La carga debe ser incrementada gradualmente y sin impacto.

5.2.8 La relación entre la distancia desde el punto de aplicación de la carga a su reacción más cercana y la altura de la viga no debe ser menor que la unidad.

5.2.9 Si un aparato similar al ilustrado en la Figura 1 se utiliza: las placas de carga y de apoyo no tendrán más de 65 mm de alto, medido desde el centro o eje del pivote, y deberá extenderse completamente a través o más allá del ancho total de la muestra. Cada superficie de apoyo en contacto con la viga no se apartará de un plano por más de 0,05 mm , tendrá forma cilíndrica y su eje deberá coincidir con el del rodillo o con el centro de la rótula esférica, según sea el caso. El ángulo al centro definido por la superficie curva de cada placa deberá tener por lo menos de 45°. Las placas de carga y de apoyo deberán mantenerse en posición vertical y en contacto con el rodillo o rótula esférica por medio de tornillos con resortes que los mantengan en contacto. La placa de soporte superior y la esfera en el punto central de la Figura 1 pueden omitirse cuando se utiliza un cojinete esférico de bloque asentado, se utilizan una varilla y una bola como pivotes para las superficies de las cargas de placas superiores.

6. ENSAYO

6.1 Los especímenes de ensayo deberán estar conforme a todos los requerimientos de los métodos de ensayo de la NTP 339.033, NTP 339.059 ó NTP 339.183 aplicable a la viga a ensayar. La viga tendrá una luz libre entre apoyos equivalente a tres veces su altura con una tolerancia del 2 %. Las caras laterales de la viga formarán ángulos rectos con las caras superior e inferior de la misma. Todas las superficies deberán ser lisas y libres de asperezas, porosidad (cangrejeras) o marcas de identificación no apropiadas.

NORMA TÉCNICA
PERUANA

NTP 339.078
5 de 10

6.2 El laboratorista que lleve a cabo los ensayos de las vigas de concreto para los ensayos de aceptación, deberá cumplir con la ASTM C 1077, para técnico de laboratorio de concreto, incluyendo esta Norma Técnica Peruana como una prueba relevante.

NOTA 1: El laboratorio de ensayo que realiza este método puede ser evaluado de conformidad con ASTM C 1077.

7. PROCEDIMIENTO

7.1 La prueba de flexión se realizará tan pronto como sea posible, luego de retirar la viga de la cámara de curado. Las vigas con superficie seca arrojan resultados menores en mediciones del módulo de rotura.

7.2 Cuando se usan vigas moldeadas, se gira sobre uno de los lados con respecto a la posición de moldeado y se centra sobre las placas de apoyo. Cuando se usan vigas cortadas, se posiciona ésta para que la tensión corresponda a la superficie superior o al inferior de la misma, tal como se hizo el corte inicialmente.

7.3 Se centra el sistema de aplicación de carga en relación con la fuerza aplicada. Se colocan los bloques a los cuales se aplicará la carga en contacto con la superficie de la muestra en los tercios de la luz de la viga y aplicar una carga entre 3 % y 6% de la carga de rotura estimada. Usando medidores de espesores tipo láminas de 0,10 mm y 0,40 mm, determinar si algún espacio existente entre la muestra y el bloque de carga o los de soporte, es mayor o menor que cada uno de los medidores de espesor en una longitud de 25 mm o más. Si no se obtiene un contacto completo entre la viga y los bloques de aplicación de la carga, será necesario refrentar, lijar o poner una cuña de cuero. Las tiras de cuero serán de un espesor uniforme de 6 mm y tendrán un ancho comprendido entre 25 mm a 50 mm, y deberán extenderse a todo el ancho de la viga. Los espacios de más de 0,40 mm deben ser eliminados solamente mediante refrentado o esmerilado. El lijado de las superficies laterales debe ser mínimo, debido a que esta acción puede cambiar las características físicas de las muestras. El refrentado se hará en conformidad con las secciones aplicables de la NTP 339.037.

7.4 Se aplica la carga al espécimen de forma continua y sin impactos. La carga se aplica a una velocidad constante hasta el punto de ruptura. Aplicar la carga a una

velocidad que incremente constantemente la resistencia de la fibra extrema, entre 0,9 MPa/min y 1,2 MPa/min , hasta producir la rotura de la viga. La relación de carga se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$r = \frac{Sbd^2}{L} \quad (1)$$

En donde:

- r : es la relación de carga, en N/min
- S : tasa de incremento de la tensión máxima en la cara de tracción, en MPa/min
- b : ancho promedio de la viga según su disposición para el ensayo, mm
- d : altura promedio de la viga, según su disposición para el ensayo, mm
- L : longitud del tramo, en mm

8. MEDICIÓN DE LAS MUESTRAS LUEGO DE LAS PRUEBAS

8.1 Para determinar las dimensiones de la sección transversal de la muestra para su aplicación en el cálculo del módulo de ruptura, tomar las mediciones a través de una de las caras fracturadas después de la prueba. El ancho y profundidad se miden en la muestra conforme se dispuso para el ensayo. Para cada dimensión, tomar una medición en cada borde y una en el centro de la sección transversal. Tomar tres medidas a lo largo de cada dimensión (una en cada extremo y al centro), para determinar el ancho promedio, altura promedio y ubicación de la línea de fractura de la viga en la sección de falla. Tomar todas las medidas con una precisión de 1 mm . Si la fractura ocurre en una sección de refrentado, se incluye la medida del espesor de la capa.

9. CÁLCULOS

9.1 Si la falla ocurre dentro del tercio medio de la luz, el módulo de rotura se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$M_r = \frac{PL}{bh^2} \quad (2)$$

En donde:

- M_r : es el módulo de rotura, en MPa.
- P : Es la carga máxima de rotura indicada por la máquina de ensayo, en N
- L : Es la luz libre entre apoyos, en mm
- b : Es el ancho promedio de la viga en la sección de falla, en mm
- h : Es la altura promedio de la viga en la sección de falla, en mm.

NOTA 2: El peso de la viga no está incluido en los cálculos antes detallados.

9.2 Si la falla ocurre fuera del tercio medio y a una distancia de éste no mayor del 5 % de la luz libre, el módulo de rotura se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$M_r = \frac{3Pa}{bh^2} \quad (3)$$

En donde:

- a : Es la distancia promedio entre la línea de falla y el apoyo más cercano, medida a lo largo de la línea central de la superficie inferior de la viga, en mm

NOTA: El peso de la viga no está incluido en los cálculos antes detallados.

NORMA TECNICA
PERUANA

NTP 339.078
8 de 10

9.3 Si la falla ocurre fuera del tercio medio y a una distancia de éste mayor del 5 % de la luz libre, se rechaza el ensayo.

10. INFORME

10.1 Indicar la siguiente información:

10.1.1 Identificación de la viga.

10.1.2 Ancho promedio en mm, con aproximación a 1 mm.

10.1.3 Altura promedio en mm, con aproximación a 1 mm.

10.1.4 Luz libre entre apoyos, en mm.

10.1.5 Carga máxima aplicada, en N.

10.1.6 Módulo de rotura en MPa, calculado con una aproximación a 0,05 MPa.

10.1.7 Referencia del curado y condiciones aparentes de humedad de la viga al momento del ensayo.

10.1.8 Indicar si la viga fue refrentada, lijada o se le colocó una coña de cuero.

10.1.9 Defectos observados en la viga, si los hubiera, y

10.1.10 Edad de la viga.

NORMA TÉCNICA
PERUANA

NTP 339.078
9 de 10

11. PRECISIÓN Y DESVIACIÓN

11.1 Precisión

Se ha observado que el coeficiente de variación de los resultados de la prueba depende del nivel de resistencia de las vigas. Para un operador simple, el coeficiente de variación se ha establecido en 5,7 %. Luego, los resultados de dos ensayos realizados adecuadamente por el mismo operador sobre vigas a partir de la muestra del mismo lote, no diferirán en más de 16 % .

11.2 Cuando se trate de varios laboratorios, el coeficiente de variación se ha establecido en 7,0 % ; luego los resultados de dos ensayos sobre vigas de la muestra de un mismo lote, no diferirán entre sí en más de 19 % .

11.3 Desviación

En la presente Norma Técnica Peruana no se establece la desviación mientras no sea aceptado un procedimiento normalizado para determinarla.

12. ANTECEDENTES

- | | | |
|------|------------------|---|
| 12.1 | NTP 339.078:2001 | HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del hormigón en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo |
| 12.2 | ASTM C78/C78M-10 | Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third Point Loading) |

ANEXO A (INFORMATIVO)

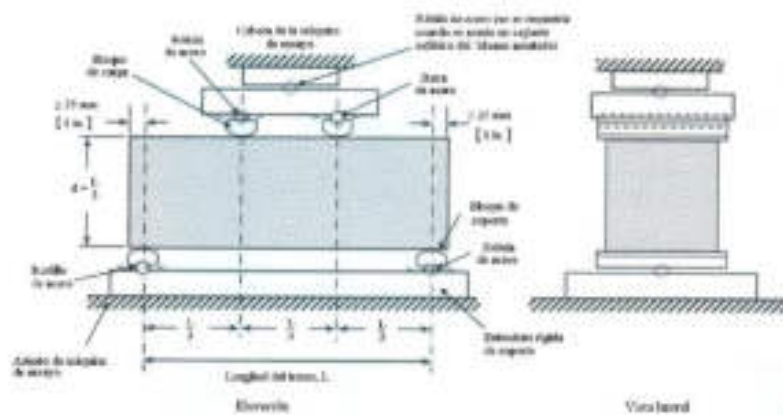
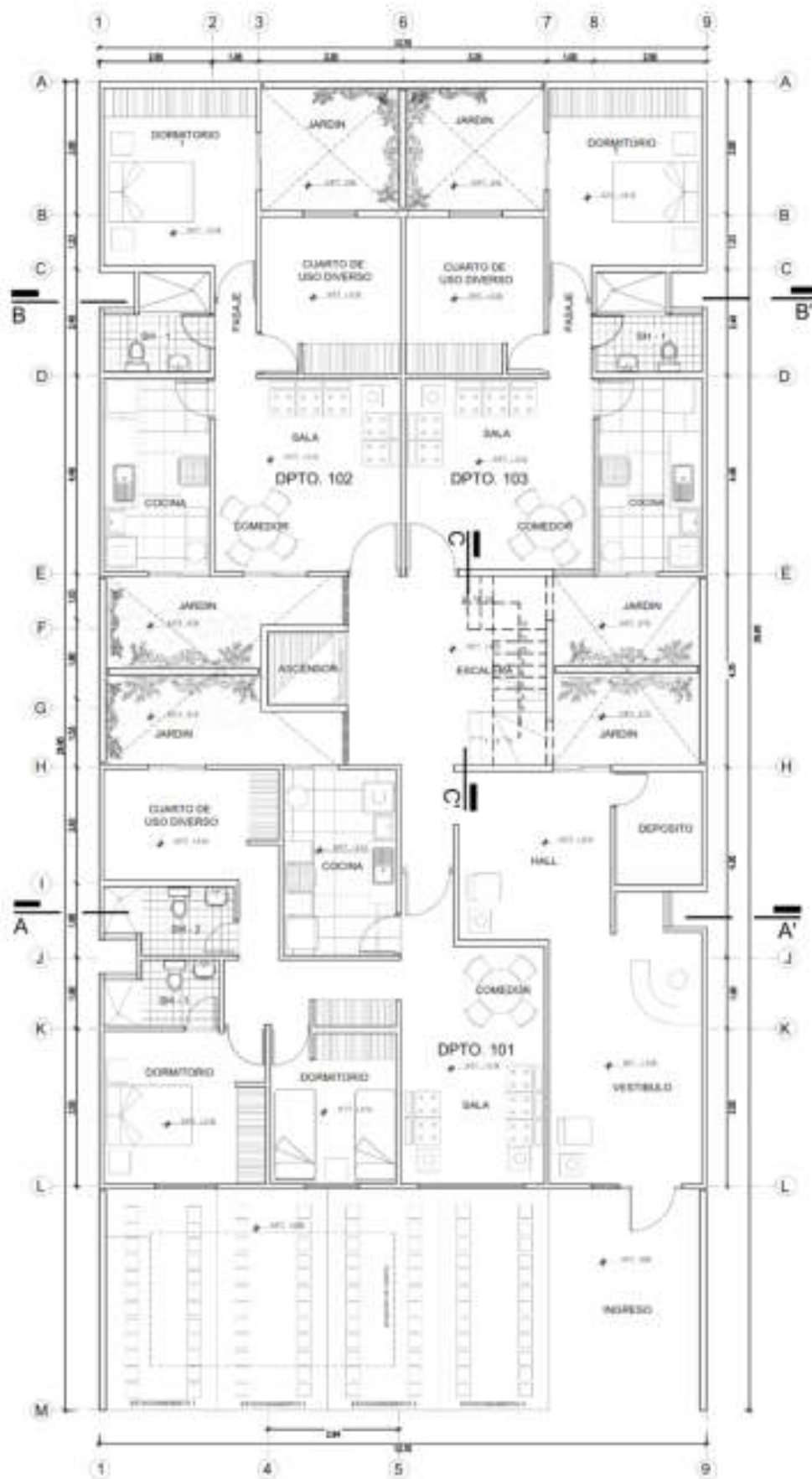
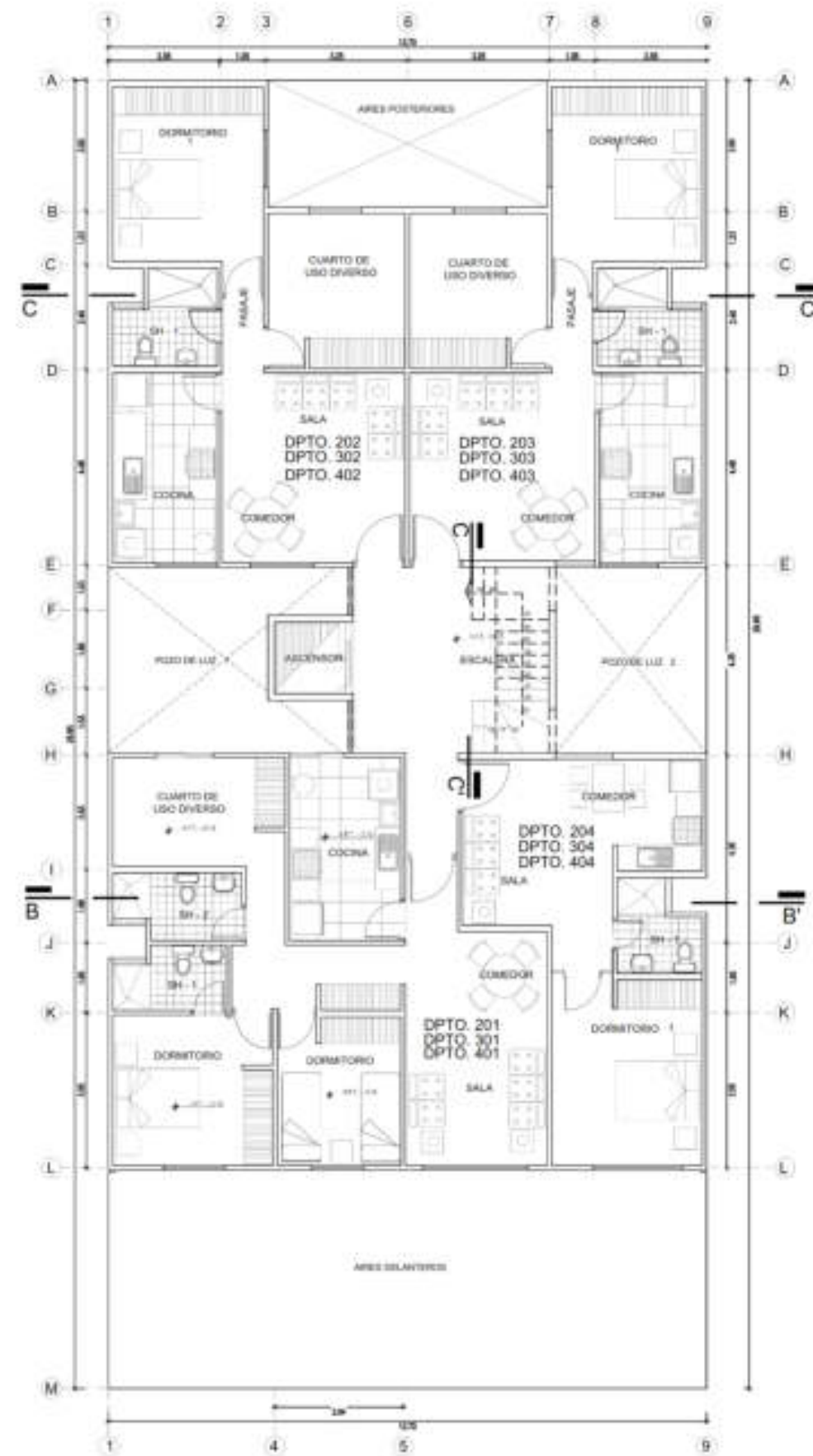


FIGURA 1 - DIAGRAMA DE UN DISPOSITIVO ADECUADO PARA ENSAYAR A FLEXIÓN VIGAS CON CARGAS A LOS TERCIOS

I. PLANOS DE ARQUITECTURA DEL EDIFICIO USADO EN EL ANÁLISIS

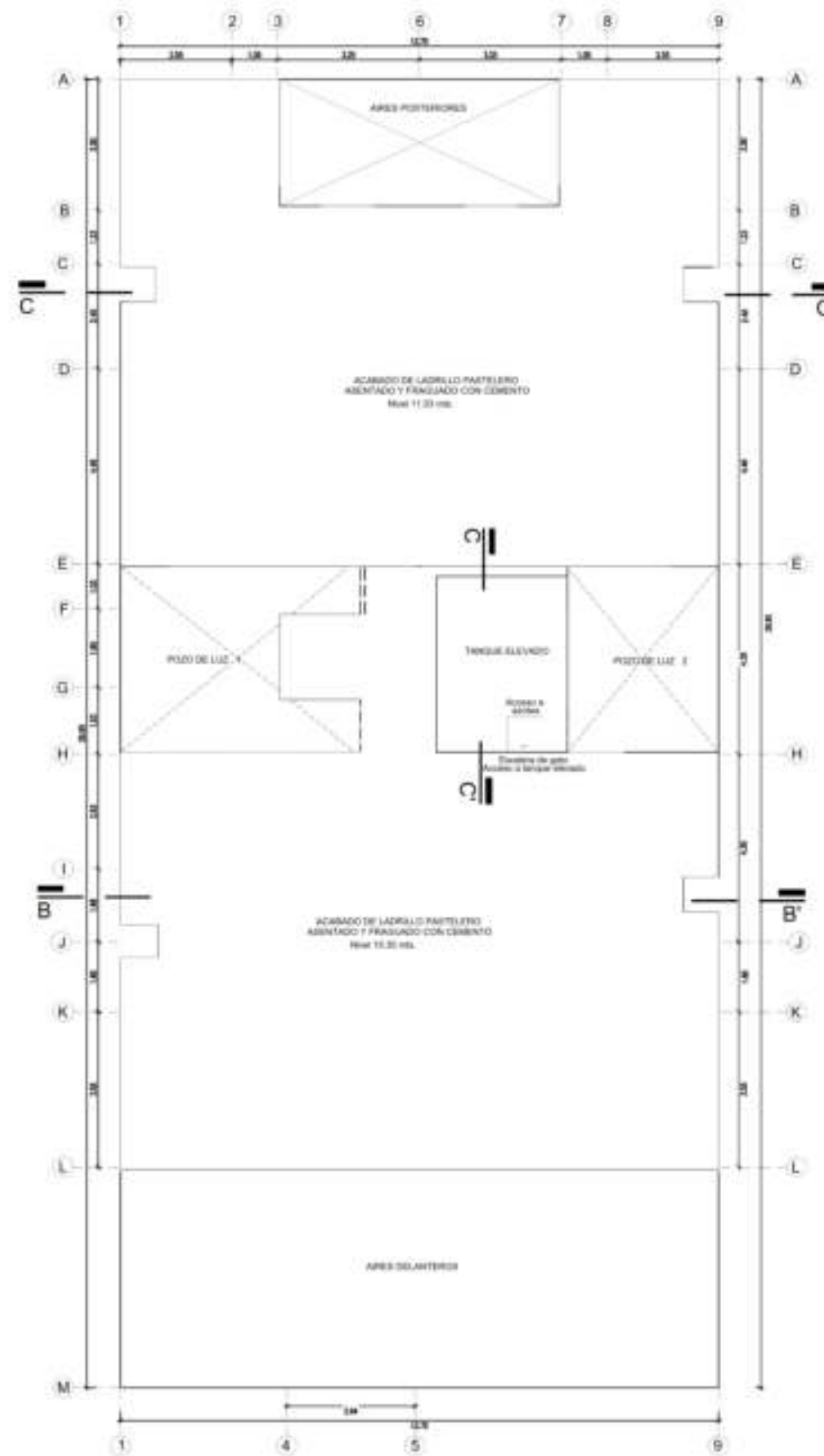


PLANTA 1er PISO
1:50



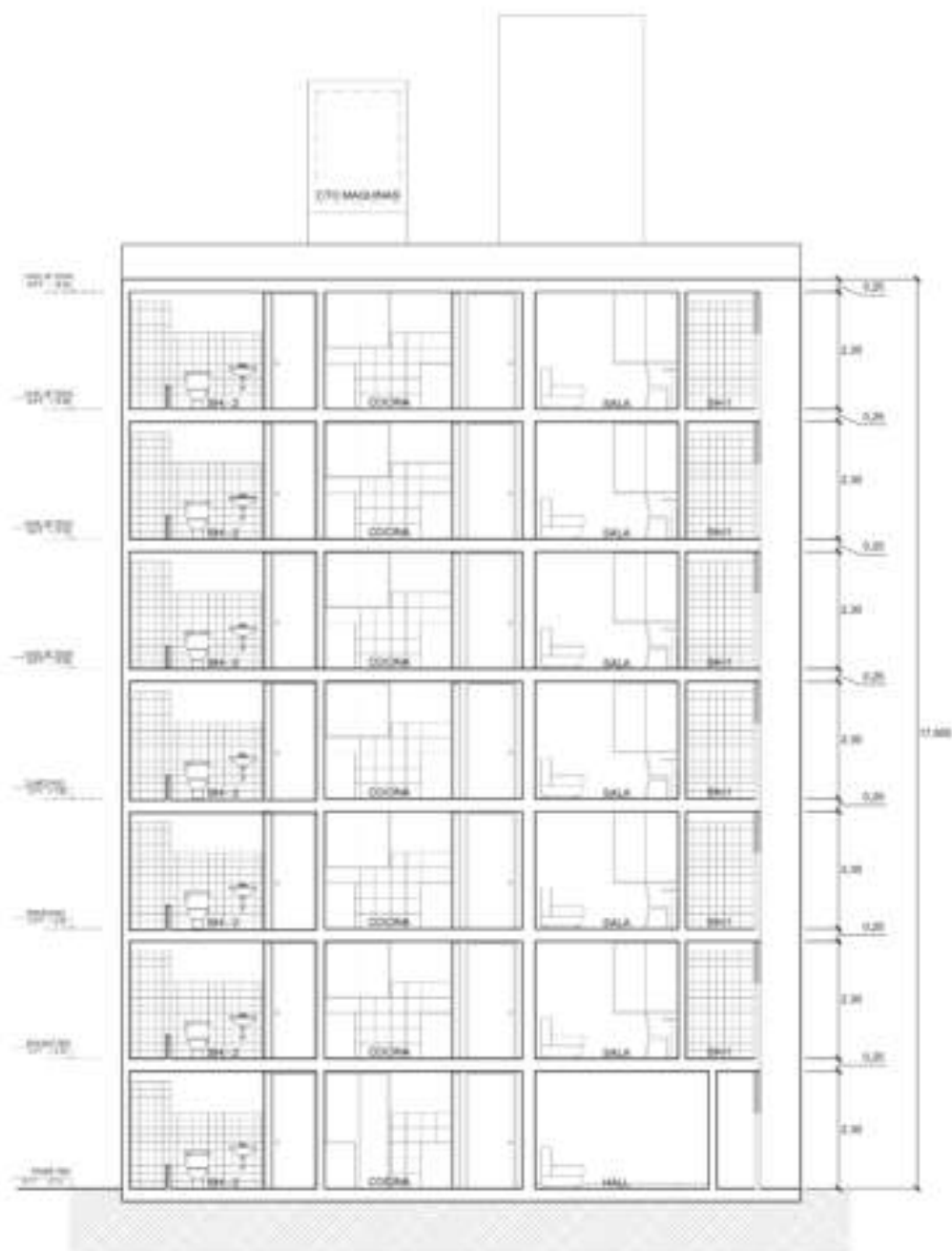
PLANTA 2da-6ta PISO
1:50



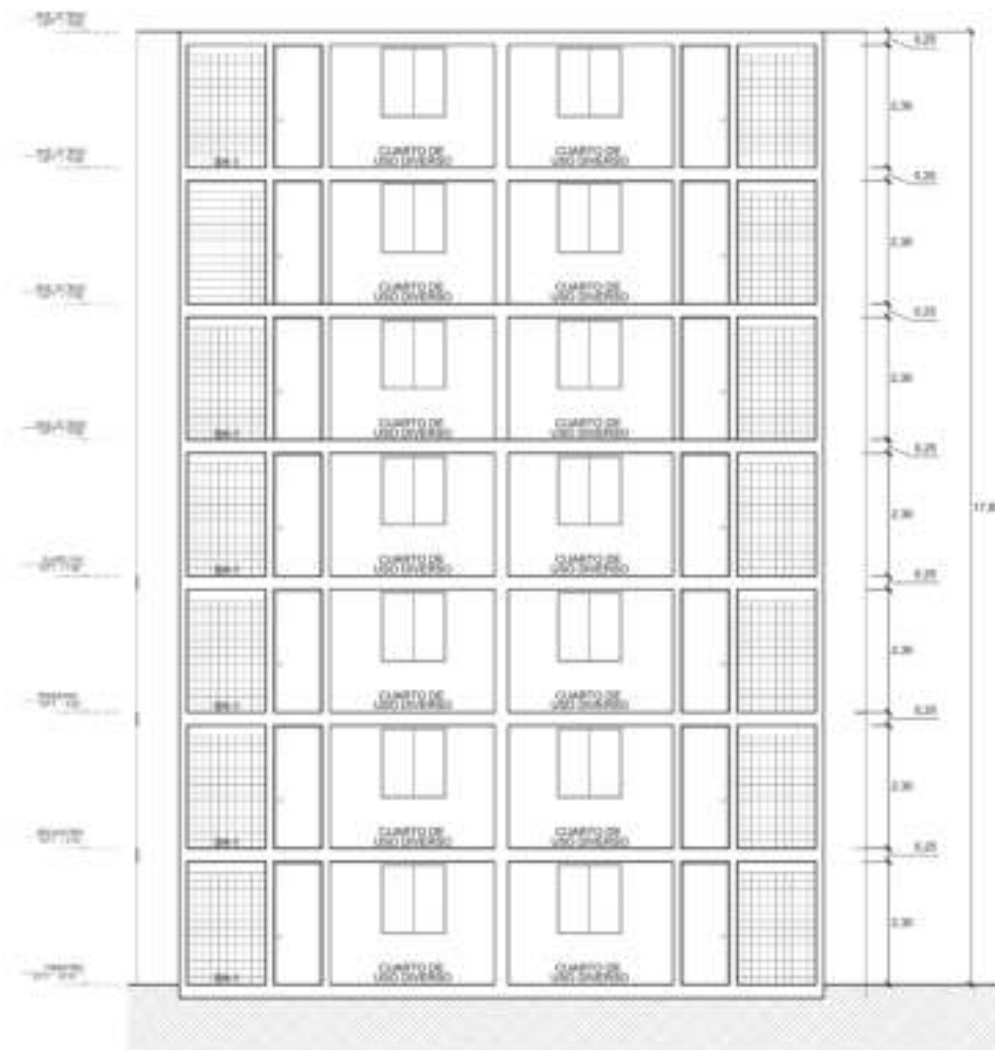


PLANTA TECHOS
 1/40 ESCALA DE DISEÑO
 2004-1/04

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
TESIS: "DISEÑO DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CELULAR PARA SU APLICACIÓN EN EL ANÁLISIS SÍSMICO DE EDIFICIOS DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA"		
TITULARES: BACH. SANDREZ MEDINA, JORGE SERGIO BACH. HUANAN FLORES, ERICK ANSEL		



CORTE A-A
EDC 175

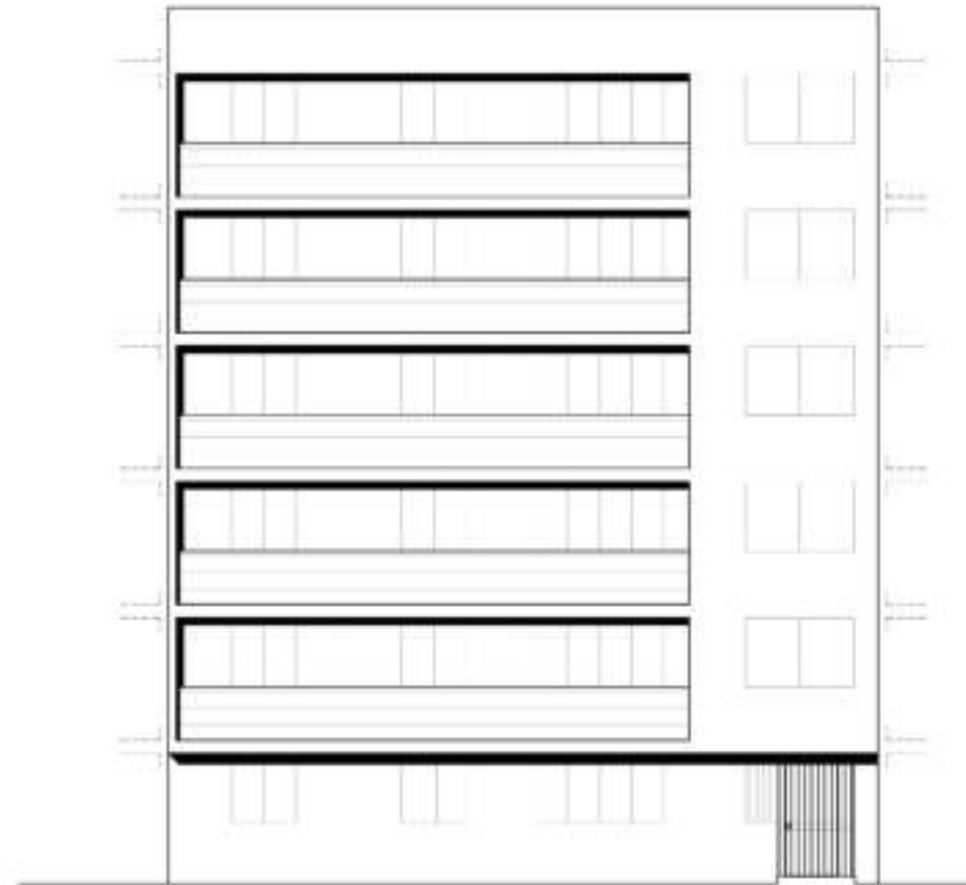


CORTE B-B
EDC 175





CORTE C-C'
ESC. 1/25



ELEVACION PRINCIPAL
ESC. 1/25

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



TESIS
"DEFINICIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CELULAR
PARA SU APLICACIÓN EN EL ANÁLISIS SÍSMICO DE EDIFICIOS
DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA"

ASESOR
ING. SANCHEZ MEDINA, JORGE SERGIO
ING. HUAMAN FLORES, ERICK ANDRÉS