



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE CON AGREGADOS DEL
BANCO DE PRÉSTAMO VERACRUZ, CEMENTO PORTLAND TIPO GU (ASTM-
C1157) Y FIBRAS DE POLIPROPILENO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS.**

Para optar al título de ingeniero civil

Elaborado por

Br. Oscar Rene Espinoza Pérez

Br. Edelma Raquel López Antón

Tutor

Ing. Marvin Blanco

Managua, septiembre 2018

AGRADECIMIENTOS.

A DIOS TODO PODEROSO por bendecirnos, iluminarnos y darnos fuerzas en este largo camino que un día decidimos emprender juntos y que ahora llega a su final, los problemas fueron muchos, pero siempre nos mostraste tu infinita misericordia, siempre supiste y nos mostraste la dirección correcta y la solución a cada uno de los problemas.

A nuestra querida y respetada UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA (UNI) y directamente al recinto universitario PEDRO ARAUZ PALACIOS (RUPAP) por recibirnos y brindarnos formación, capacitarnos y darnos todos los conocimientos que se necesitan para enfrentar la vida profesional que nos espera y así contribuir con el crecimiento y desarrollo nuestro querido país.

A LOS PROFESIONALES que fungieron como docentes y amigos, que pusieron su grano de arena en nuestra formación brindándonos su apoyo y conocimiento y además colaboraron y formaron parte de nuestro Trabajo de graduación; a nuestro tutor por las observaciones, sugerencias e inculcarnos siempre, esfuerzo, respeto, disciplina y exigiendo siempre la pronta culminación es esta tesis, a nuestro jurado por sus observaciones y sugerencias los cuales han aportado enormemente a este trabajo de investigación.

A los representantes de las empresas AGRENIC, PROINCO EN NICARAGUA por colaborarnos con el material y al laboratorio ICABALCETA CONSULTOR por colaborarnos con su equipo para el desarrollo de nuestro Trabajo de Graduación además de su asesoría.

Además, nuestros agradecimientos especiales a nuestras familias, a cada uno de nuestros amigos y compañeros de grupo que colaboraron de una manera u otra en el desarrollo de nuestro Trabajo de Graduación.

RESUMEN

El agua siempre ha convivido con el concreto, bien sea en su proceso de fabricación o en el desarrollo de sus funciones. Uno de los fenómenos que produce precisamente el agua, es el motivo de éste estudio. Al caer sobre el pavimento rígido y no ser drenada, produce una película de agua la cual genera un fenómeno de hidropelaje que termina afectando la maniobrabilidad del vehículo. A lo largo del estudio se busca principalmente diseñar una mezcla para pavimento rígido con una estructura permeable con adiciones de tiras de plástico, basándose en diferentes investigaciones relacionadas en el tema, las cuales se han desarrollado en varios países y apoyándose en las diferentes pruebas de laboratorio que se efectúan durante el estudio, tales como son la compresión simple, la flexión y permeabilidad.

En el capítulo I, se presentan los aspectos generales entorno a la situación actual en nuestro país del concreto permeable: introducción, justificación, objetivos y antecedentes a abordar.

El capítulo II, engloba todo lo concerniente a la teoría y conceptos generales, áreas aplicables al diseño de mezclas del concreto permeable desarrollo en la investigación: generalidades, materiales, aditivos, funcionamiento tanto hidráulico como hidrológico, proceso constructivo, reparación, mantenimiento y el análisis estadístico.

En el capítulo III, aborda el diseño metodológico en el cual se apoyó el presente trabajo. Asimismo, se describe brevemente cada uno de los pasos que se llevaron a cabo para la obtención de los resultados.

En el capítulo de IV se describe la realización del muestreo de los materiales y ensayos de laboratorio.

En el capítulo V. abarca la metodología de diseño basada en el ACI para la elaboración de los diferentes diseños de mezclas y los ensayos correspondientes de la mezcla en estado fresco y en estado endurecido del concreto permeable.

El capítulo VI muestra los resultados de ensayos de laboratorio del concreto permeable en estado fresco y endurecido tabulados y graficados para el análisis del comportamiento de las diferentes mezclas de diseño.

El capítulo VII contiene la tabulación y graficación del análisis estadístico de los resultados de ensayos de laboratorio del concreto permeable en estado fresco y endurecido.

En el capítulo VIII se exponen las conclusiones a cerca de los resultados obtenidos, y las recomendaciones que se deben de tomar en consideración, para la buena dosificación de una mezcla de concrete y colocación como pavimento.

La finalidad de este documento es demostrar que se puede diseñar mezclas de concreto permeable con los materiales que se producen en nuestro país aplicando metodología del ACI e investigaciones de otros países y así resolver el problema de inundaciones.

CONTENIDO

I. GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 ANTECEDENTES.....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	5
1.4 OBJETIVOS.....	6
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	6
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6

II. MARCOTEÓRICO.....

2.1. GENERALIDADES DEL CONCRETO PERMEABLE.....	7
2.2 VENTAJAS, INCONVENIENTES Y DESAFÍOS.....	9
2.3 APLICACIONES EN PAVIMENTOS.....	12
2.4 PROPIEDADES DE INGENIERIA DEL CONCRETO PERMEABLE.....	13
2.4.1 PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE EN ESTADO FRESCO.....	14
2.4.2 PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE EN ESTADO ENDURECIDO.....	16
2.5. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES Y DE LA MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE.....	30
2.5.1. AGREGADOS.....	31
2.5.2. CEMENTO.....	35
2.5.3. AGUA.....	35
2.5.4. ADITIVOS.....	36
2.6 POLIPROPILENO.....	37

2.6.1 ESTRUCTURA DEL POLIPROPILENO.....	37
2.6.2 PROPIEDADES DEL POLIPROPILENO ISOTACTICO.....	38
2.7 PAVIMENTOS DE CONCRETO PERMEABLE.....	39
2.7.1 CLASIFICACION.....	39
2.8 ANALISIS HIDROLOGICO-HIDRAULICO DEL CONCRETO PERMEABLE.....	41
2.8.1 ESTUDIOS HIDROLOGICOS.....	42
2.8.2 ESTUDIOS HIDRAULICOS.....	43
2.8.3 PROCESO CONSTRUCTIVO.....	43
2.9 ANALISIS ESTADISTICO Y PRUEBAS DE HIPOTESIS.....	57
2.9.1 ANALISIS ESTADISTICO.....	57
2.9.2 PRUEBAS DE HIPOTESIS.....	69
III. DISEÑO METODOLOGICO.....	74
3.1 VARIABLES DE ENTRADA PAR EL DISEÑO	76
IV. PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS	78
4.1 ESTUDIO Y UBICACION DEL BANCO DE MATERIALES.....	78
4.2 ENSAYOS REALIZADOS EN LOS AGREGADOS.....	78
4.2.1 CONTENIDO DE HUMEDAD.....	79
4.2.2 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCION DE LOS AGREGADOS.....	79
4.2.3 PESOS UNITARIOS Y PORCENTAJE DE VACIOS DE LOS AGREGADOS.....	80
4.2.4 ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADO GRUESO Y FINO.....	82
4.2.5 ABRASION DE LOS ANGELES (L.A) AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑO MENORES DE 37.7 mm (1 1/2).....	83

V. DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO PERMEABLE.....	86
5.1 METODOS DE DISEÑO.....	86
5.1.1 SEGÚN ACI 522-10 – REPORTE SOBRE CONCRETO PERMEABLE.....	86
5.1.2 SEGÚN NRMCA – METODOLOGÍA DE LA NATIONAL READY MIXED CONCRETE ASSOCIATION (NRMCA).....	88
5.2 CRITERIOS DE DISEÑO DE MEZCLAS.....	88
5.2.1 RELACION AGUA /CEMENTO.....	89
5.2.2 RELACION AGREGADO/CEMENTO.....	90
5.2.3 ELECCION DEL PORCENTAJE DE VACIOS.....	91
5.2.4 ELECCION DE LE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE DISEÑO.....	91
5.2.5 DETERMINACION DEL VOLUMEN DE PASTA.....	92
5.2.6 ELECCION DE LA RELACION AGUA/CEMENTO.....	94
5.2.7 METODO DE VOLUMEN ABSOLUTO Y CORRECCION.....	95
5.2.8 CORRECCION POR HUMEDAD Y ABSORCION.....	95
5.2.9 COMPACTACION DE LOS ESPECIMENES.....	95
5.3 VARIABLES EXPERIMENTALES.....	97
5.4 MATERIALES A USAR PARA EL DISEÑO DEL CONCRETO PERMEABLE.....	98
5.5 SISTEMA DE DOSIFICACION.....	99
5.6 CALCULOS DEL DISEÑO DEL CONCRETO PERMEABLE.....	100
5.6.1 DISEÑO DE MEZCLA No 1.....	102
5.6.2 DISEÑO DE MEZCLA No 2.....	107
5.6.3 DISEÑO DE MEZCLA No 3.....	109

5.6.4 DISEÑO DE MEZCLA No4.....	111
5.6.5 DISEÑO DE MEZCLA No 5.....	112
5.6.6 DISEÑO DE MEZCLA No 6.....	113
5.6.7 DISEÑO DE MEZCLA No 7.....	114
5.7 ENSAYOS EN ESTADO FRESCO DEL CONCRETO PERMEABLE.....	118
5.7.1 DENSIDAD Y CONTENIDOS DE VACIOS DE MEZCLAS DE CONCRETO PERMEABLE.....	118
5.7.2 METODO DE PRUEVA ALTERNATIVO DEL CONO INVERTIDO PARA CONCRETO PERMEABLE.....	122
5.8 ENSAYOS EN ESTADO ENDURECIDO DEL CONCRETO PERMEABLE.....	125
5.8.1 RESISTENCIA A LA COMPRESION.....	125
5.8.2 RESISTENCIA A LA FLEXION.....	129
5.8.3 PERMEABILIDAD.....	131
5.8.4 CURADO DEL CONCRETO PERMEABLE.....	134
VI. ANALISIS DE RESULTADOS.....	135
6.1 ENSAYOS EN ESTADO FRESCO.....	135
6.1.1 PESO UNITARIO EN ESTADO FRESCO DEL CONCRETO PERMEABLE.....	135
6.1.2 PORCENTAJE DE VACIOS DEL CONCRETO PERMEABLE EN ESTADO FRESCO.....	141
6.2 ENSAYOS EN ESTADO ENDURECIDO.....	150
6.2.1 COEFICIENTE DE PERMEABILIDA EN EL CONCRETO PERMEABLE.....	150
6.2.2 COMPARACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION.....	160
6.2.3 COMPARACION DE LA RESISTENCIA A LA FLEXION.....	163

VII. VALIDACION DE HIPOTESIS PLANTEADAS.....	168
7.1 ANALISIS ESTADISTICO.....	168
7.1.1 ANALISIS ESTADISTICOS: RESISTENCIA A LA COMPRESION.....	168
7.1.2 ANALISIS ESTADISTICO: RESISTENCIA A LA FLEXION.....	189
7.1.3 ANALISIS ESTADISTICO. CONTENIDO DE VACIOS.....	210
7.1.4 ANALISIS ESTADISTICO: COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD.....	2
7.2 PRUEBA DE HIPOTESIS.....	220
7.2.1 RESISTENCIA A LA COMPRESION.....	220
7.2.2 RESISTENCIA A LA FEXION.....	244
7.2.3 CONTENIDO DE VACIOS.....	268
7.24 COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD.....	280
VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	292
8.1 CONCLUSION GENERAL.....	292
8.2 CONCLUSION ESPECIFICA.....	292
8.2 RECOMENDACIONES.....	295
BIBLIOGRAFÍA.....	297

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Usos granulométricos para poder realizar los diseños de mezclas (ASTM C-33, 1999).....	33
Tabla 2.2 Influencia de los agregados en el concreto permeable en estado fresco y endurecido.....	34
Tabla 2.3 Valores permisibles de sustancia químicas en el agua.....	36
Tabla 2.4 Actividades típicas de mantenimiento para el concreto permeable.....	57
Tabla 2.5 Coeficiente de variación y desviación estándar.....	64
Tabla 2.6 Determinación del nivel de significancia.....	71
Tabla 4.1 Ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso.....	80
Tabla 4.2 Resultado del peso específico y absorción del agregado grueso.....	80
Tabla 4.3 Peso unitario suelto del agregado grueso normalizado.....	81
Tabla 4.4 Peso unitario compacto del agregado grueso normalizado.....	81
Tabla 4.5 Porcentaje de vacíos del agregado suelto.....	82
Tabla 4.6 Porcentaje de vacíos del agregado compactado.....	82
Tabla 4.7 Clasificación para el agregado grueso normalizado, ASTM C-33.....	83
Tabla 4.8 Datos de abrasión de los agregados gruesos.....	85
Tabla 4.9 Resultados del ensayo de Abrasión los ángeles.....	85
Tabla 5.1 Rango típicos de proporcionamiento de materiales en el concreto permeable como valores de referencia.....	89
Tabla 5.2 Propiedades del agregado grueso Uso No.8.....	101
Tabla 5.3 Propiedades del cemento y el agua usados en los diseños.....	101
Tabla 5.4 Volúmenes absolutos del diseño No 1.....	105
Tabla 5.5 Corrección por humedad, absorción, y proporciones diseño 1.....	105
Tabla 5.6 Volúmenes absolutos del diseño No 1 Corregido.....	106
Tabla 5.7 Corrección por humedad, absorción, aporte y proporciones diseño 1 corregido.....	106
Tabla 5.8 Volúmenes absolutos del diseño No 2.....	107
Tabla 5.9 Corrección por humedad, absorción, y proporciones diseño 2.....	108
Tabla 5.10 Volúmenes absolutos del diseño No 2 Corregido.....	110

Tabla 5.11 Corrección por humedad, absorción, aporte y proporciones diseño 2 corregido.....	109
Tabla 5.12 Volúmenes absolutos del diseño No 3.....	110
Tabla 5.13 Corrección por humedad, absorción y proporciones diseño 3.....	110
Tabla 5.14 Volúmenes absolutos del diseño No 4.....	111
Tabla 5.15 Corrección por humedad, absorción y proporciones diseño 4.....	111
Tabla 5.16 Volúmenes absolutos del diseño No 5.....	112
Tabla 5.17 Corrección por humedad, absorción y proporciones diseño 5.....	113
Tabla 5.18 Volúmenes absolutos del diseño No 6.....	113
Tabla 5.19 Corrección por humedad, absorción y proporciones diseño 6.....	114
Tabla 5.20 Volúmenes absolutos del diseño No 7.....	115
Tabla 5.21 Corrección por humedad, absorción y proporciones diseño 7.....	115
Tabla 5.22 Diseño de mezcla con tiras de polipropileno (2mm x 10mm).....	116
Tabla 5.23 Diseño de mezcla con tiras de polipropileno (4mm x 20mm).....	117
Tabla 5.24 Diseño de mezcla con tiras de polipropileno (4mm x 20mm) y Glenium 7500.....	117
Tabla 6.1 Pesos unitarios en estado fresco del concreto permeable con relación A/C=0.32, %V teóricos=18.0 C=430 kg.....	135
Tabla 6.2 Pesos unitarios en estado fresco del concreto permeable con relación A/C=0.32, %V teóricos=20.0 C=430 kg.....	135
Tabla 6.3 Pesos unitarios en estado fresco del concreto permeable con relación A/C=0.35, %V teóricos=18.0 C=430 kg.....	136
Tabla 6.4 Pesos unitarios en estado fresco del concreto permeable con relación A/C=0.35, %V teóricos=20.0 C=430 kg.....	136
Tabla 6.5 Pesos unitarios en estado fresco del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos=18.0 C=430 kg.....	136
Tabla 6.6 Pesos unitarios en estado fresco del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos=20.0 C=430 kg.....	137
Tabla 6.7 Pesos unitarios en estado fresco del concreto permeable con relación A/C=0.32, %V teóricos=18.0 C=510 kg.....	137

Tabla 6.8 Pesos unitarios en estado fresco del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos=18.0 C=510 kg con 0.075% de tiras de (2mm x 10mm).	137
Tabla 6.9 Pesos unitarios en estado fresco del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos=18.0 C=510 kg con 0.1% de tiras de (2mm x 10mm)...	138
Tabla 6.10 Pesos unitarios en estado fresco del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos=18.0 C=510 kg con 0.2 de tiras de (2mm x 10mm).....	138
Tabla 6.11 Pesos unitarios en estado fresco del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos=18.0 C=510 kg con 0.075 de tiras de (4mm x 20mm)..	138
Tabla 6.12 Pesos unitarios en estado fresco del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos=18.0 C=510 kg con 0.1 de tiras de (4mm x 20mm).....	139
Tabla 6.13 Pesos unitarios en estado fresco del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos=18.0 C=510 kg con 0.2 de tiras de (4mm x 20mm).....	139
Tabla 6.14 Pesos unitarios en estado fresco del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos=18.0, C=510 kg con 0.1 de tiras de (4mm x 20mm) y 4.20 ml/kg de Glenium 7500.....	139
Tabla 6.15 Resumen de pesos unitarios en estado fresco.....	140
Tabla 6.16 Proporciones de diseño del Uso No 8.....	141
Tabla 6.17 Contenido de vacíos del concreto permeable con relación A/C=0.32, %V teóricos=18.0.....	142
Tabla 6.18 Contenido de vacíos del concreto permeable con relación A/C=0.32, %V teóricos=20.0.....	142
Tabla 6.19 Contenido de vacíos del concreto permeable con relación A/C=0.35, %V teóricos=18.0.....	143
Tabla 6.20 Contenido de vacíos del concreto permeable con relación A/C=0.35, %V teóricos=20.0.....	143
Tabla 6.21 Contenido de vacíos del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos=18.0.....	144
Tabla 6.22 Contenido de vacíos del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos=20.0.....	144
Tabla 6.23 Proporciones de diseño del Uso No 8.....	144

Tabla 6.24 Contenido de vacíos del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos=18.0.....	145
Tabla 6.25 Contenido de vacíos del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos=18.0 con 0.075% de tiras de (2mm x 10mm).....	145
Tabla 6.26 Contenido de vacíos del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos=18.0 con 0.1% de tiras de (2mm x 10mm).....	146
Tabla 6.27 Contenido de vacíos del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos=18.0 con 0.2% de tiras de (2mm x 10mm).....	146
Tabla 6.28 Contenido de vacíos del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos=18.0 con 0.075% de tiras de (4mm x 20mm).....	147
Tabla 6.29 Contenido de vacíos del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos=18.0 con 0.1% de tiras de (4mm x 20mm).....	147
Tabla 6.30 Contenido de vacíos del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos=18.0 con 0.2% de tiras de (4mm x 20mm).....	148
Tabla 6.31 Contenido de vacíos del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos=18.0 con 0.1% de tiras de (4mm x 20mm) y 4.2 ml/kg de cem. De Glenium 7500.....	148
Tabla 6.32 Resumen de porcentajes de vacíos en estado fresco.....	149
Tabla 6.33 Coeficiente de permeabilidad Huso No 8 con A/C=0.32, %Vacíos= 18.0.....	151
Tabla 6.34 Coeficiente de permeabilidad Huso No 8 con A/C=0.32, %Vacíos= 20.0.....	152
Tabla 6.35 Coeficiente de permeabilidad Huso No 8 con A/C=0.35, %Vacíos= 18.0.....	152
Tabla 6.36 Coeficiente de permeabilidad Huso No 8 con A/C=0.35, %Vacíos= 20.0.....	153
Tabla 6.37 Coeficiente de permeabilidad Huso No 8 con A/C=0.38, %Vacíos= 18.0.....	153
Tabla 6.38 Coeficiente de permeabilidad Huso No 8 con A/C=0.38, %Vacíos= 20.0.....	154

Tabla 6.39 Coeficiente de permeabilidad Huso No 8 con $A/C=0.38$, %Vacíos= 18.0 y $C=510$ kg.....	154
Tabla 6.40 Coeficiente de permeabilidad Huso No 8 con $A/C=0.38$, %Vacíos= 18.0 y $C=510$ kg y tiras de 2mm x 10mm en 0.075 del peso de la mezcla.....	155
Tabla 6.41 Coeficiente de permeabilidad Huso No 8 con $A/C=0.38$, %Vacíos= 18.0 y $C=510$ kg y tiras de 2mm x 10mm en 0.1 del peso de la mezcla.....	155
Tabla 6.42 Coeficiente de permeabilidad Huso No 8 con $A/C=0.38$, %Vacíos= 18.0 y $C=510$ kg y tiras de 2mm x 10mm en 0.2 del peso de la mezcla.....	156
Tabla 6.43 Coeficiente de permeabilidad Huso No 8 con $A/C=0.38$, %Vacíos= 18.0 y $C=510$ kg y tiras de 4mm x 20mm en 0.075 del peso de la mezcla.....	156
Tabla 6.44 Coeficiente de permeabilidad Huso No 8 con $A/C=0.38$, %Vacíos= 18.0 y $C=510$ kg y tiras de 4mm x 20mm en 0.1 del peso de la mezcla.....	157
Tabla 6.45 Coeficiente de permeabilidad Huso No 8 con $A/C=0.38$, %Vacíos= 18.0 y $C=510$ kg y tiras de 4mm x 20mm en 0.2 del peso de la mezcla.....	157
Tabla 6.46 Coeficiente de permeabilidad Huso No 8 con $A/C=0.38$, %Vacíos= 18.0 y $C=510$ kg y tiras de 4mm x 20mm en 0.075 del peso de la mezcla y 4.2 ml/kg de cem. De Glenium 7500.....	158
Tabla 6.47 Comparación entre el coeficiente de permeabilidad y el porcentaje de vacíos.....	159
Tabla 7.1 Datos de resistencia a la compresión a 28 días diseño 1.....	168
Tabla 7.2 Análisis estadístico a 28 días diseño 1.....	168
Tabla 7.3 Datos de resistencia a la compresión a 28 días diseño 2.....	170
Tabla 7.4 Análisis estadístico a 28 días diseño 2.....	170
Tabla 7.5 Datos de resistencia a la compresión a 28 días diseño 3.....	171
Tabla 7.6 Análisis estadístico a 28 días diseño 3.....	172
Tabla 7.7 Datos de resistencia a la compresión a 28 días diseño 4.....	173
Tabla 7.8 Análisis estadístico a 28 días diseño 4.....	173
Tabla 7.9 Datos de resistencia a la compresión a 28 días diseño 5.....	174
Tabla 7.10 Análisis estadístico a 28 días diseño 5.....	174
Tabla 7.11 Datos de resistencia a la compresión a 28 días diseño 6.....	176
Tabla 7.12 Análisis estadístico a 28 días diseño 6.....	176

Tabla 7.13 Datos de resistencia a la compresión a 28 días diseño 7.....	177
Tabla 7.14 Análisis estadístico a 28 días diseño 7.....	177
Tabla 7.15 Datos de resistencia a la compresión a 28 días diseño 8.....	179
Tabla 7.16 Análisis estadístico a 28 días diseño 8.....	179
Tabla 7.17 Datos de resistencia a la compresión a 28 días diseño 9.....	180
Tabla 7.18 Análisis estadístico a 28 días diseño 9.....	180
Tabla 7.19 Datos de resistencia a la compresión a 28 días diseño 10.....	182
Tabla 7.20 Análisis estadístico a 28 días diseño 10.....	182
Tabla 7.21 Datos de resistencia a la compresión a 28 días diseño 11.....	183
Tabla 7.22 Análisis estadístico a 28 días diseño 11.....	183
Tabla 7.23 Datos de resistencia a la compresión a 28 días diseño 12.....	185
Tabla 7.24 Análisis estadístico a 28 días diseño 12.....	185
Tabla 7.25 Datos de resistencia a la compresión a 28 días diseño 13.....	186
Tabla 7.26 Análisis estadístico a 28 días diseño 13.....	186
Tabla 7.27 Datos de resistencia a la compresión a 28 días diseño 14.....	188
Tabla 7.28 Análisis estadístico a 28 días diseño 14.....	188
Tabla 7.29 Datos de resistencia a la flexión a 28 días diseño 1.....	189
Tabla 7.30 Análisis estadístico a 28 días diseño 1.....	190
Tabla 7.31 Datos de resistencia a la flexión a 28 días diseño 2.....	191
Tabla 7.32 Análisis estadístico a 28 días diseño 2.....	191
Tabla 7.33 Datos de resistencia a la flexión a 28 días diseño 3.....	192
Tabla 7.34 Análisis estadístico a 28 días diseño 3.....	192
Tabla 7.35 Datos de resistencia a la flexión a 28 días diseño 4.....	194
Tabla 7.36 Análisis estadístico a 28 días diseño 4.....	194
Tabla 7.37 Datos de resistencia a la flexión a 28 días diseño 5.....	195
Tabla 7.38 Análisis estadístico a 28 días diseño 5.....	195
Tabla 7.39 Datos de resistencia a la flexión a 28 días diseño 6.....	197
Tabla 7.40 Análisis estadístico a 28 días diseño 6.....	197
Tabla 7.41 Datos de resistencia a la flexión a 28 días diseño 7.....	198
Tabla 7.42 Análisis estadístico a 28 días diseño 7.....	198
Tabla 7.43 Datos de resistencia a la flexión a 28 días diseño 8.....	200

Tabla 7.44	Análisis estadístico a 28 días diseño 8.....	200
Tabla 7.45	Datos de resistencia a la flexión a 28 días diseño 9.....	201
Tabla 7.46	Análisis estadístico a 28 días diseño 9.....	201
Tabla 7.47	Datos de resistencia a la flexión a 28 días diseño 10.....	203
Tabla 7.48	Análisis estadístico a 28 días diseño 10.....	203
Tabla 7.49	Datos de resistencia a la flexión a 28 días diseño 11.....	204
Tabla 7.50	Análisis estadístico a 28 días diseño 11.....	204
Tabla 7.51	Datos de resistencia a la flexión a 28 días diseño 12.....	206
Tabla 7.52	Análisis estadístico a 28 días diseño 12.....	206
Tabla 7.53	Datos de resistencia a la flexión a 28 días diseño 13.....	207
Tabla 7.54	Análisis estadístico a 28 días diseño 13.....	207
Tabla 7.55	Datos de resistencia a la flexión a 28 días diseño 14.....	209
Tabla 7.56	Análisis estadístico a 28 días diseño 14.....	209
Tabla 7.57	Análisis estadístico: diseño 1 - % Vacíos en estado fresco.....	210
Tabla 7.58	Análisis estadístico: diseño 2 - % Vacíos en estado fresco.....	211
Tabla 7.59	Análisis estadístico: diseño 3 - % Vacíos en estado fresco.....	211
Tabla 7.60	Análisis estadístico: diseño 4 - % Vacíos en estado fresco.....	211
Tabla 7.61	Análisis estadístico: diseño 5 - % Vacíos en estado fresco.....	212
Tabla 7.62	Análisis estadístico: diseño 6 - % Vacíos en estado fresco.....	212
Tabla 7.63	Análisis estadístico: diseño 7 - % Vacíos en estado fresco.....	212
Tabla 7.64	Análisis estadístico: diseño 8 - % Vacíos en estado fresco.....	213
Tabla 7.65	Análisis estadístico: diseño 9 - % Vacíos en estado fresco.....	213
Tabla 7.66	Análisis estadístico: diseño 10 - % Vacíos en estado fresco.....	213
Tabla 7.67	Análisis estadístico: diseño 11 - % Vacíos en estado fresco.....	214
Tabla 7.68	Análisis estadístico: diseño 12 - % Vacíos en estado fresco.....	214
Tabla 7.69	Análisis estadístico: diseño 13 - % Vacíos en estado fresco.....	214
Tabla 7.70	Análisis estadístico: diseño 14 - % Vacíos en estado fresco.....	215
Tabla 7.71	Análisis estadístico: diseño 1 - coeficiente de permeabilidad.....	215
Tabla 7.72	Análisis estadístico: diseño 2 - coeficiente de permeabilidad.....	215
Tabla 7.73	Análisis estadístico: diseño 3 - coeficiente de permeabilidad.....	216
Tabla 7.74	Análisis estadístico: diseño 4 - coeficiente de permeabilidad.....	216

Tabla 7.75 Análisis estadístico: diseño 5 - coeficiente de permeabilidad.....	216
Tabla 7.76 Análisis estadístico: diseño 6 - coeficiente de permeabilidad.....	217
Tabla 7.77 Análisis estadístico: diseño 7 - coeficiente de permeabilidad.....	217
Tabla 7.78 Análisis estadístico: diseño 8 - coeficiente de permeabilidad.....	217
Tabla 7.79 Análisis estadístico: diseño 9 - coeficiente de permeabilidad.....	218
Tabla 7.80 Análisis estadístico: diseño 10 - coeficiente de permeabilidad.....	218
Tabla 7.81 Análisis estadístico: diseño 11 - coeficiente de permeabilidad.....	218
Tabla 7.82 Análisis estadístico: diseño 12 - coeficiente de permeabilidad.....	219
Tabla 7.83 Análisis estadístico: diseño 13 - coeficiente de permeabilidad.....	219
Tabla 7.84 Análisis estadístico: diseño 14 - coeficiente de permeabilidad.....	219

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Variación de las proporciones usadas en concretos convencionales, volumen absoluto.....	7
Figura 2.2 Variación de las proporciones usadas en concreto permeable, sin agregado fino.....	8
Figura 2.3 Porcentaje de captación y escorrentía de lluvia.....	8
Figura 2.4. Resistencia a la compresión versus contenido de aire en especímenes de concreto permeable.....	17
Figura 2.5 Resistencia a la compresión versus pesos unitarios en concreto permeable.....	18
Figura 2.6 Contenido de aire para dos grados de compactación versus la relación agua/material cementante.....	19
Figura 2.7 Resistencia a la flexión en vigas versus contenido de vacíos.....	20
Figura 2.8 Resistencia a la flexión versus resistencia a la compresión.....	21
Figura 2.9 Resistencia a la flexión versus porcentaje de porosidad.....	22
Figura 2.10 Relación porosidad versus porcentaje de agregado.....	23
Figura 2,11 Tamaño de poros versus tamaño de agregado.....	25
Figura 2.12 Tamaño de poro versus porcentaje de agregados más grande.....	25
Figura 2.13 Percolación versus contenido de vacíos en cilindros.....	26
Figura 2.14 Permeámetro de carga variable.....	27

Figura 2.15 Clasificación de sistema de pavimentos permeables.....	40
Figura 2.16 Estructura de un pavimento de concreto permeable.....	44
Figura 2.17 Colocación del concreto permeable por medio de un camión mezclador con descarga por atrás.....	47
Figura 2.18 Rastrillado del concreto permeable a una elevación aproximada....	48
Figura 2.19 El encofrado deberá tener el espesor del pavimento, además de ser lo suficiente resistentes y estables.....	49
Figura 2.20 Encofrado de madera sujeta a base de clavijas.....	50
Figura 2.21 Enrasado del concreto permeable mediante el uso de una enrasadora vibratoria de marco con sección tipo “A”.....	51
Figura 2.22 Compactación del concreto permeable mediante el rodillo.....	51
Figura 2.23 Rodillo pequeño usado para compactar un área de pavimentada pequeña.....	52.
Figura 2.24 Construcción de una junta mediante la adaptación de una hoja en el rodillo de compactación.....	53
Figura 2.25 Material de polietileno utilizado para cubrir la superficie expuesta del concreto permeable.....	55
Figura 2.26 Maquina autopropulsada con sistema presión-aspiración.....	56
Figura 2.27 Diferentes distribuciones de la campana de Gauss.....	62
Figura 2.28 Diferentes distribuciones de coeficiente de curtosis.....	66
Figura 2.29 Histograma de frecuencias.....	66
Figura 2.30 Distribución de Gaus.....	69
Figura 2.31 Rango de aceptación y rechazo de la hipótesis nula.....	73
Figura 4.1 Ubicación del banco de materiales Veracruz.....	78
Figura 4.2 Curva granulométrica.....	83
Figura 4.3 Muestra de agregado grueso introduciéndolo en la máquina de Los Ángeles.....	84
Figura 5.1 Muestras de concreto permeable con diferentes cantidades de agua y apariencias diferentes (poca, adecuada y excesiva agua).	90
Figura 5.2 Relación entre el contenido de aire y la tasa de filtración.....	91

Figura 5.3 Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la compresión a los 28 días para tamaños de agregados No.67 y No. 8.....	92
Figura 5.4 Relación entre el porcentaje de vacíos y el contenido de pasta para tamaños de agregados No.8.....	93
Figura 5.5 Equipo utilizado para el ensayo de peso unitario del concreto permeable.....	119
Figura 5.6 Compactación del agregado permeable.....	120
Figura 5.7 Pesado del material más molde.....	121
Figura 5.8 Equipo cono de abrams.....	123
Figura 5.9 Ensayo de revenimiento 0 slump en el concreto permeable.....	124
Figura 5.10 Ensayo del cono invertido en el concreto permeable.....	124
Figura 5.11 Mesclado del concreto permeable.....	126
Figura 5.12 Moldeo y compactado del concreto permeable.....	127
Figura 5.13 Especímenes compactado del concreto permeable.....	128
Figura 5.14 Ensayo a la compresión de especímenes cilíndricos con capping (almohadillas de neupreno)	128
Figura 5.15 Tipos de fracturas	129
Figura 5.16 Ensayos a la flexión de especímenes prismáticos.....	131
Figura 5.17 Equipo de ensayo de permeabilidad adaptado (según ACI 522)...	133
Figura 5.18 Pila de curado para especímenes del concreto permeable.....	134
Figura 6.1 Curva de tendencia de pesos unitarios en estado fresco sin tiras...	140
Figura 6.2 Curva de tendencia de pesos unitarios en estado fresco con tiras...	142
Figura 6.3 Diagrama de barras del porcentaje de vacíos de concreto permeable (sin tira).	149
Figura 6.4 Diagrama de barras del porcentaje de vacíos de concreto permeable (con tira).....	150
Figura 6.5 Comparación de la resistencia a la compresión con dosis de cemento constante y A/C variable.....	160
Figura 6.6 Comparación de la evolución de la resistencia a la compresión con diferentes porcentajes de tira (2mm x 10mm).....	161

Figura 6.7 Comparación de la evolución de la resistencia a la compresión con diferentes porcentajes de tira (4mm x 20mm).....	162
Figura 6.8 Comparación de la evolución de la resistencia a la compresión con tira (4mm x 20mm) y Glenium 7500.....	163
Figura 6.9 Comparación de la evolución de la resistencia a la Flexión sin tira..	164
Figura 6.10 Comparación de la evolución de la resistencia a la flexión aumentando la dosis de cemento y con tiras (2mm x 10mm).....	165
Figura 6.11 Comparación de la evolución de la resistencia a la flexión aumentando la dosis de cemento y con tiras (4mm x 20mm).....	166
Figura 6.12 Comparación de la evolución de la resistencia a la flexión aumentando la dosis de cemento con tira (4mm x 20mm) y Glenium 7500.....	167
Figura 7.1 Histograma de frecuencias y distribución normal compresión D 1...	169
Figura 7.2 Histograma de frecuencias y distribución normal compresión D 2...	171
Figura 7.3 Histograma de frecuencias y distribución normal compresión D 3...	172
Figura 7.4 Histograma de frecuencias y distribución normal compresión D 4...	174
Figura 7.5 Histograma de frecuencias y distribución normal compresión D 5...	175
Figura 7.6 Histograma de frecuencias y distribución normal compresión D 6...	177
Figura 7.7 Histograma de frecuencias y distribución normal compresión D 7...	178
Figura 7.8 Histograma de frecuencias y distribución normal compresión D 8...	180
Figura 7.9 Histograma de frecuencias y distribución normal compresión D 9...	181
Figura 7.10 Histograma de frecuencias y distribución normal compresión diseño 10.....	183
Figura 7.11 Histograma de frecuencias y distribución normal compresión diseño 11.....	184
Figura 7.12 Histograma de frecuencias y distribución normal compresión diseño 12.....	186
Figura 7.13 Histograma de frecuencias y distribución normal compresión diseño 13.....	187
Figura 7.14 Histograma de frecuencias y distribución normal compresión diseño 14.....	189
Figura 7.15 Histograma de frecuencias y distribución normal flexión D 1.....	190

Figura 7.16 Histograma de frecuencias y distribución normal flexión D 2.....	192
Figura 7.17 Histograma de frecuencias y distribución normal flexión D 3.....	193
Figura 7.18 Histograma de frecuencias y distribución normal flexión D 4.....	195
Figura 7.19 Histograma de frecuencias y distribución normal flexión D 5.....	196
Figura 7.20 Histograma de frecuencias y distribución normal flexión D 6.....	198
Figura 7.21 Histograma de frecuencias y distribución normal flexión D 7.....	199
Figura 7.22 Histograma de frecuencias y distribución normal flexión D 8.....	201
Figura 7.23 Histograma de frecuencias y distribución normal flexión D 9.....	202
Figura 7.24 Histograma de frecuencias y distribución normal flexión diseño 10.....	204
Figura 7.25 Histograma de frecuencias y distribución normal flexión diseño 11.....	205
Figura 7.26 Histograma de frecuencias y distribución normal flexión diseño 12.....	207
Figura 7.27 Histograma de frecuencias y distribución normal flexión diseño 13.....	208
Figura 7.28 Histograma de frecuencias y distribución normal flexión diseño 14.....	210

ANEXOS

ANEXO 1: HIPOTESIS Y VARIABLES.....	i
ANEXO 2: TABLAS DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION.....	ii
ANEXO 3: TABLAS DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA FLEXION.....	ix
ANEXO 4: HOJA TECNICA DEL CEMENTO Y ADITIVOS.....	xvi
ANEXO 5: TABLA ESTADISTICA DEL NIVEL DE SIGNIFICANCIA.....	xxii
ANEXO 6: FIGURAS DE LA UBICACIÓN Y MUESTREO DEL BANCO DE MATERIALES.....	xxiii
ANEXO 7: FIGURAS DEL DESARROLLO DE MESCLAS DE CONCRETO PERMEABLE Y ENSAYO DE PERMEABILIDAD.....	xxv

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCION

Una de las principales tendencias de los seres humanos es la de radicar en lugares densamente poblados. Las ciudades están creciendo territorialmente cada año, requiriendo de infraestructura que permita satisfacer las necesidades de los nuevos habitantes.

En la actualidad, cuando se habla de pavimentar lo primero que se piensa es en concreto asfáltico o concreto hidráulico; esta situación ha provocado que existan cada vez menos áreas permeables en nuestro planeta, impidiendo el paso libre del agua que permita la alimentación de los mantos acuíferos.

El proceso de urbanización tradicional tiene importantes efectos sobre las aguas pluviales en una ciudad, principalmente debido a la disminución de la capacidad de infiltración y de almacenamiento, así como eliminación de los cauces naturales de escurrimiento. También aparecen contaminantes asociados a la actividad urbana como hidrocarburos y metales, que son arrastrados por el agua, contribuyendo significativamente a aumentar la contaminación difusa.

Estos cambios producen un impacto negativo en la hidrología natural y el medio ambiente. Se dañan cauces naturales y ecosistemas, y las inundaciones son más frecuentes, rápidas y severas. Todo esto se intensifica si la ciudad sigue creciendo sin preocuparse del impacto que ella misma genera. Las soluciones necesarias para enfrentar estas consecuencias son caras y no siempre efectivas.

El pavimento de concreto permeable es una alternativa respecto al pavimento de concreto convencional para vías de bajo tráfico, estacionamientos vehiculares, aceras, ciclovías, etc.

Una situación incómoda que puede generarse debido a deficiencias en el diseño hidráulico o a las condiciones topográficas de la vía en calles construidas con el concreto convencional son las películas de agua estancada en la superficie del pavimento, generando así la pérdida de adherencia de la llanta del vehículo produciendo una inestabilidad de contacto entre estos, fenómeno conocido como “hidroplaneo”; además los períodos intensos de lluvias, pueden hacer colapsar los sistemas de drenaje, por lo que se necesita que disminuya el caudal para no saturar dicho sistema.

Para atenuar estos efectos, en los últimos años se ha desarrollado a nivel mundial en países como Holanda, España, Alemania, U.S.A un modo alternativo de diseñar los pavimentos de estacionamientos y calles de bajo tránsito, construyendo estructuras que permiten el paso del agua a través de la capa superficial hacia su interior, donde se almacena para ser infiltrada si el terreno lo permite, o para ser conducida a un sistema de recolección de forma controlada.

De este modo, se disminuye la acumulación de agua en su superficie, evitando así, que se deteriore progresivamente la estructura del mismo y el escurrimiento superficial aguas abajo logrando recargar el acuífero, preservar los recursos hídricos, remover algunos contaminantes, mejorando la calidad del agua.

Este tipo de pavimento podría ser punto de análisis en la actualidad, por ser una alternativa viable tanto en lo técnico como lo económico dentro de los pavimentos rígidos usados en la ciudad de Managua. Los problemas antes mencionados son una realidad en dicha ciudad por lo que el uso de este tipo de concretos es de suma importancia para la solución de esta problemática.

1.2. ANTECEDENTES

En los últimos años existe un creciente interés por la aplicación del concreto permeable en pavimentos rígidos, cuya función ha ido evolucionando; pasando por sub-bases y bases, hasta capas de rodadura. Es decir, funciones de mayor responsabilidad. La diferencia del concreto permeable respecto al concreto convencional radica en la poca o nula presencia de agregado fino en la mezcla de concreto permeable ya que su objetivo es que el agua filtre a través de su estructura.

Los primeros usos reconocidos del concreto permeable se dieron en Europa en el siglo XIX. Sin embargo, sus aplicaciones crecieron especialmente al concluir la Segunda Guerra Mundial, como una respuesta ante la necesidad de reconstruir edificaciones y carreteras con medios limitados. La escasez de materiales, así como el alto costo de estos y su transporte, dieron paso a la utilización de un concreto sin finos que disminuía los contenidos de cemento (pasta) en las mezclas y permitía reciclar escombros. (Fernández y Navas, 2008).

En Estados Unidos, el concreto permeable surgió en la década del 70 como una respuesta ante el aumento en los niveles de escorrentía superficial producto de un aumento en áreas urbanizadas con coeficientes de escorrentía altos. Con el tiempo, se dio paso al uso de un material poroso que permitiera transformar la escorrentía superficial en infiltración y además cumpliera una función práctica dentro del desarrollo urbano. (Fernández et al., 2008).

Las primeras experiencias con pavimentos permeables utilizando concreto hidráulico se realizaron en EEUU, Suecia y Japón desde los años setenta. La investigación y aplicación del concreto permeable ha ido en avanzada. Su aplicación ya cuenta con millones de m² de pavimentos permeables en Francia, España, Japón, Alemania entre otros.

Es importante destacar que el uso principal en EEUU es para el manejo de aguas de lluvia, permitiendo que infiltre al subsuelo; en Europa se usa para mejorar la resistencia al deslizamiento y reducir el ruido del tráfico. En EEUU para el año 2006 más de 30 estados utilizan el pavimento permeable y participan 17 universidades en la investigación, asociaciones de concreto, empresas especializadas y administraciones locales.

La aplicación del concreto permeable es reconocida por la Agencia Americana de Protección al Medio Ambiente (EPA, por sus siglas en inglés) como Mejor Práctica de Manejo (BMP), ya que reduce las cargas de polución que puedan entrar a ríos, lagunas y arroyos; filtrando de manera natural el agua de lluvia, facilitando la recarga de los suministros de agua subterránea localmente.

El Instituto Americano del Concreto (ACI, por sus siglas en inglés) dentro de sus comités, específicamente ACI 522R-06 “Pervious Concrete”, ACI 522.1-08 “Specification for Pervious Concrete Pavement”, ACI 522R-10 “Report on Pervious Concrete”; estudian el concreto permeable, sus aplicaciones, materiales, propiedades, proporciones de mezcla, diseño de pavimentos permeables, proceso constructivo y control de calidad de los mismos.

La PCA (Portland Cement Association) lo menciona como concreto permeable o poroso, que contiene poco o ningún fino, e insuficiente pasta de cemento para rellenar los vacíos entre las partículas de agregado grueso. Varios países han adoptado el proceso constructivo de acuerdo a su conveniencia; para la presente investigación teórica – experimental, servirá de guía el comité ACI522R-10.

En NICARAGUA no existe ninguna experiencia física (tramo de prueba, proyecto urbano vial o parqueo), de esta técnica.

1.3. JUSTIFICACION

En nuestro país, la tecnología del concreto permeable todavía no se viene implementando como solución a los problemas acarreados por la evacuación de aguas pluviales y el uso generalizado de pavimento convencional (impermeable); no siendo el caso de otros países como, México, Colombia o Chile, donde se realizan estudios a nivel de pre y postgrado para lograr la inclusión de este tipo de concreto en su infraestructura vial, brindando así una alternativa de solución a los problemas que conlleva la evacuación de aguas pluviales (condiciones de escurrimiento).

El presente trabajo tiene como finalidad el dar a conocer el proceso de diseño de la mezcla de un concreto permeable y evaluar la incidencia de la incorporación de tiras de polipropileno en las propiedades del concreto permeable; determinando si es adecuado para su aplicación en pavimentos; asimismo se pretende en esta investigación brindar una solución ecológica al permitir que el agua filtre hacia el suelo, debido a su estructura de vacíos que permite tener una permeabilidad en el que pueda drenar un promedio de 0.29 cm/s (174 lts /min/m²). Al Permitir la filtración del agua al subsuelo obtenemos el beneficio de recarga de los mantos acuíferos, disminución del caudal en el sistema de aguas lluvias lo que permitirá reducir considerablemente la saturación y posible colapso del sistema de drenajes en períodos de lluvia intensos y evitar el arrastre de materiales sólidos, así como eventuales inundaciones urbanas en las zonas bajas. Además, reducirá en gran medida las películas de agua estancada en la superficie del pavimento.

La investigación de nuevas técnicas en los pavimentos está siendo demandada, sobre todo por el cambio climático que está sucediendo alrededor del mundo, y nuestro país siendo uno de los más vulnerables necesita de medidas auto sostenible, por lo que este tipo de pavimento encaja perfectamente en esa lógica.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

- Diseñar mezclas de concreto permeable para el uso en pavimentos que permitan un buen drenaje, utilizando agregados del banco de préstamo Veracruz, cemento portland GU (ASTM-C1157) y fibra de Polipropileno, con resistencias mecánicas de 21 a 25 MP a los 28 días.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar las características físicos-mecánicas del agregado grueso del banco de materiales Veracruz a través de ensayos de laboratorio para dosificar diferentes combinaciones de mezclas.
- Diseñar mezclas de prueba empleando: Cemento portland tipo GU (ASTM-C1157), agua potable, agregados del banco de préstamo Veracruz, fibras de polipropileno y un aditivo reductor de agua/retardante, en distintas combinaciones y dosificaciones para elaborar especímenes de prueba.
- Interpretar Estadísticamente los resultados de las distintas combinaciones y dosificaciones de mezcla para obtener sus propiedades mecánicas e hidráulicas.
- Definir el diseño de mezcla óptimo identificando el que cumpla los requisitos mecánicos (esfuerzos de compresión y flexión) e hidráulicos (capacidad de infiltración) para ser utilizados en pavimentos.

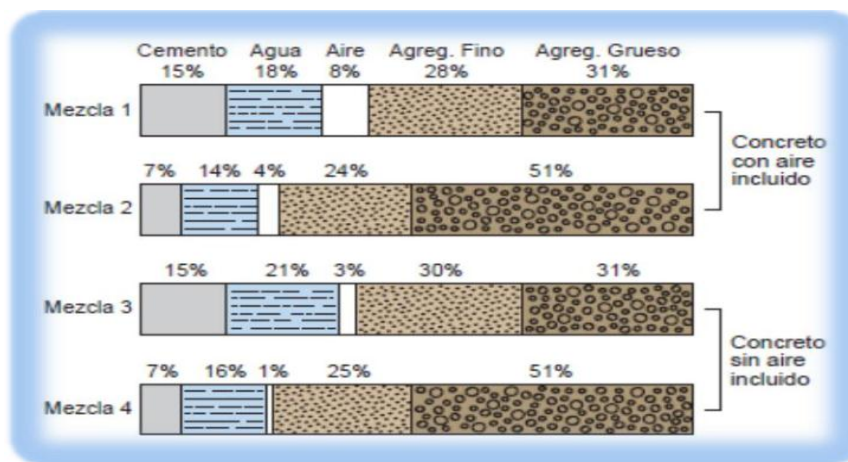
CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. GENERALIDADES DEL CONCRETO PERMEABLE

El término Concreto Permeable, típicamente se describe como un concreto sin revenimiento (asentamiento), material con granulometría abierta que consiste de cemento portland, agregado grueso, poco o nada de agregado fino, aditivo y agua (Ver figura 2.1 y 2.2). La mezcla de estos ingredientes produce un material endurecido con alto contenido de poros interconectados con tamaños promedio de 2 a 8 mm (0.08" a 0.32") que permite que el agua pase fácilmente a través de su estructura porosa. El contenido de vacíos puede variar de 18 a 35%, con esfuerzos a la compresión de 2.8 a 28 MPa (400 a 4000 psi). La tasa de drenaje del concreto permeable varía con el tamaño del agregado y la densidad de la mezcla, pero generalmente el rango está entre 81 y 730 litros/minutos/m² (2 a 18 galones/minuto/pie²), o 192 a 1784 pulgadas/hora (0.14 – 1.22 cm/s) con una velocidad de flujo típica de 3.4 mm/seg o más (ACI 522R-10).

FIGURA 2.1- Variación de las Proporciones Usadas en Concretos Convencionales, Volumen Absoluto.



Fuente: Boletín de Ingeniería EB201, Diseño y control de Mezclas de Concreto, PCA

Las mezclas 1 y 3 representan mezclas ricas con agregados de pequeño tamaño.

Las mezclas 2 y 4 representan mezclas pobres con agregados gruesos grandes.

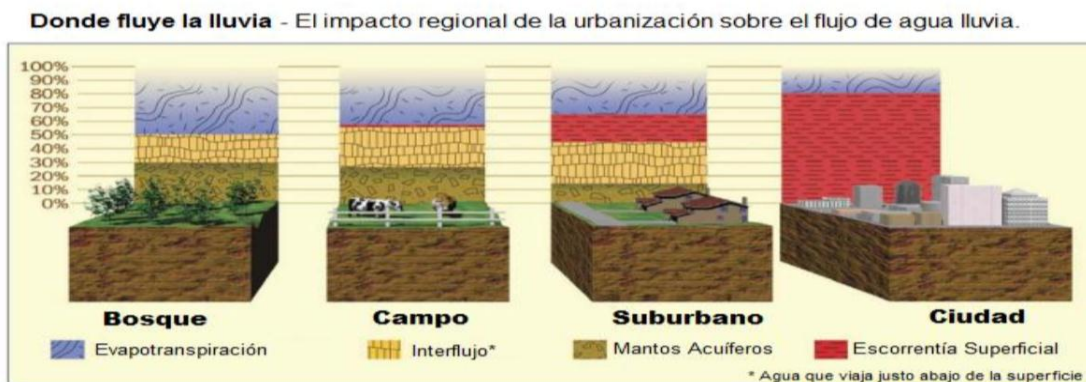
FIGURA 2.2- Variación de las proporciones usadas en concretos permeable, sin Agregado Fino.



Fuente: Comité ACI 522R-10

La preocupación en la reducción de contaminantes en los suministros de agua y el medio ambiente ha ido creciendo en los últimos años. En 1960, los ingenieros concluyeron que el escurrimiento de las urbes tiene el potencial de contaminar los suministros de aguas superficiales y subterráneas. Así como las zonas se desarrollan (urbanizaciones, industria, etc.), el escurrimiento fluye en volúmenes y tasas más altas, dando lugar a inundaciones aguas abajo erosionando los suelos. El pavimento de concreto permeable reduce el impacto del desarrollo mediante la reducción de las tasas de escurrimiento y la protección de los suministros de agua. (Ver figura 2.3).

FIGURA 2.3- Porcentaje de captación y escorrentía de Lluvia.



Fuente: Building Soil, Guidelines and Resources for Implementing Soil Quality and Depth BMP T5.13 in WDOE Stormwater Management Manual for Western Washington, 2010.

Es una nueva alternativa para recolectar y absorber el agua libre, proveniente de la lluvia u otras fuentes que permite conducirla eficientemente a los sistemas de drenaje sin necesidad de esperar un largo viaje por la superficie, como sucede en los pavimentos convencionales.

Correctamente utilizado constituye un medio drenante y permite el movimiento del agua por los vacíos que se encuentran entre los agregados por la falta de arena en la mezcla, y por las capas subyacentes cuando estas son permeables (sub-base de grava, espesor de arena, geotextil, drena naturalmente en las capas de suelo) o hasta un sitio de evacuación, actuando así como filtro que evita el hidroplaneo o deslizamiento sobre la superficie del pavimento por presencia de películas de agua estancada.

La baja densidad del material originada por el alto contenido de vacíos (18 - 35% de volumen de vacíos) permite reducir la temperatura de la masa de concreto por difusión lo cual disminuye la susceptibilidad a la fisuración por cambios de temperatura. Los ensayos tradicionales en la evaluación del concreto, como revenimiento y contenido de aire, no son aplicables al concreto permeable.

2.2 VENTAJAS, INCONVENIENTES Y DESAFÍOS

Las ventajas de los pavimentos de concreto permeable sobre los pavimentos de concreto convencional según el **Comité ACI 522R** son:

- ✓ Controlar la contaminación que arrastra la corriente en las aguas lluvias.
- ✓ Incremento de las instalaciones de parqueo, eliminando áreas para la retención de agua.
- ✓ Controla la escorrentía de aguas lluvias.
- ✓ Reduce el deslizamiento sobre la superficie de caminos y carreteras.
- ✓ Reduce el deslumbramiento sobre la superficie de rodadura en gran medida, particularmente cuando está mojado por la noche.

- ✓ Reduce la interacción del ruido entre la llanta y el pavimento.
- ✓ Elimina o reduce el tamaño de las alcantarillas y permite que el aire y el agua lleguen a las raíces de los árboles, aun cuando el pavimento esté dentro de la línea de goteo.
- ✓ Por ser un material que posee del 15% al 35% de vacíos, no genera islas de calor como el asfalto y concreto hidráulico.
- ✓ Disminuye los gradientes térmicos (reflexión mínima de la luz).
- ✓ El índice de fisuras en el concreto permeable es 25% menor, como consecuencia de la baja retracción por el porcentaje de vacíos contenidos en comparación con un concreto convencional.

Entre los posibles inconvenientes y desafíos a superar están:

- ✓ Uso limitado para zonas de tráfico de vehículos pesados.
- ✓ Prácticas de construcción especializadas.
- ✓ Tiempo de curado extendido.
- ✓ Sensibilidad al contenido de agua y control del concreto fresco.
- ✓ Cuidado y atención especial en el diseño para algunos tipos de suelos como los expansivos y susceptible a heladas, además los suelos con una muy baja permeabilidad.
- ✓ Falta de métodos de ensayo estandarizados.
- ✓ Atención especial que puede exigirse con la calidad del agua subterránea
- ✓ Período de vida corto.
- ✓ Atención especial al diseño y construcción necesarios.
- ✓ No deberá utilizarse en zonas de protección de pozos o zonas de recarga de acuíferos para abastecimiento de agua; ya que la escorrentía puede afectar la calidad del agua (dependerá del entorno y del uso. Por ejemplo, si filtraran aceites o líquidos que perjudiquen los mantos acuíferos).

Una de las preocupaciones en el uso del material en capas de pavimentos cuando existen riesgos de colmatación por arrastre de finos es la necesidad de realizar el mantenimiento periódicamente en intervalos cortos de tiempo (meses), si los niveles de materiales finos llegan a ocupar los vacíos, por lo que es necesario en la etapa de diseño del proyecto tener en cuenta los dispositivos necesarios para el mantenimiento. Lavar con agua a presión permite restablecer las condiciones de permeabilidad del pavimento.

También preocupa el hecho de que siendo el suelo quien capta el agua y que también sustenta toda la estructura, en condiciones de saturación puede darse la pérdida de carga de soporte. Este hecho está impulsando investigaciones alrededor del mundo en los lugares donde utilizan este sistema de pavimento.

El éxito de la utilización del concreto permeable en pisos y pavimentos ha sido variado, en algunas áreas los sistemas de pavimento de concreto permeable se han aplicado exitosamente, mientras que en otros no. En general las fallas de estos sistemas son atribuibles a la inexperiencia en la construcción de este tipo de pavimentos, a una compactación del suelo más alta de la especificada y al diseño inapropiado según el lugar de aplicación de este material.

En aras de que un pavimento permeable funcione exitosamente el comité ACI 522R-06, recomienda:

- ✓ Verificar la permeabilidad de los suelos, la tasa de filtración debe ser mínimamente de 13mm/hr con una capa de suelo de 1.2 m a más. Facilitando así la infiltración del agua y la recarga de las aguas freáticas, aunque no filtran toda el agua pluvial de las tormentas excepcionalmente grandes.

- ✓ Evitar el escurrimiento de agua y el ingreso de maquinaria pesada en las áreas de concreto permeable.

El pavimento de concreto permeable no debe ser puesto en servicio hasta que toda la tierra removida con pendiente hacia el pavimento permeable sea estabilizada por vegetación. A fin de evitar la colmatación del sistema son esenciales los controles estrictos de la erosión y de sedimentación durante las actividades de construcción.

- ✓ Que el tránsito vehicular durante la etapa de construcción sea dirigido hacia afuera del área del pavimento permeable para evitar la compactación de las capas del suelo subyacente y la pérdida de la capacidad de filtración.
- ✓ El mantenimiento debe realizarse en forma periódica

2.3 APLICACIONES EN PAVIMENTOS

La Asociación Norteamericana de Pavimentos de Concreto (American Concrete Pavement Association, ACPA) describe el funcionamiento de los pavimentos de Concreto permeable que a menudo cuentan con una capa subyacente de piedra (triturada) que funciona como reservorio, recoge las aguas lluvias y las almacena hasta que se infiltren en el subsuelo. El uso de este sistema de pavimento requiere del análisis de las condiciones a las cuales se encontrará sometido con el fin de prever el comportamiento del mismo mediante modelaciones en laboratorio.

Los ingenieros han utilizado el concreto permeable en pavimentos para:

- ✓ Capas de rodadura (Superficies de pavimento).
- ✓ Base permeable para borde de desagües y Hombros.
- ✓ Bases y Sub-bases para pavimentos
- ✓ Pavimentos de estacionamientos de poco tráfico cuando se desea que sea drenante.
- ✓ Pavimentos de plazas y parques.
- ✓ Andenes
- ✓ Filtros y drenajes para pavimentos de altas solicitaciones de tráfico.

- ✓ Aplicaciones en muros estructurales en donde se requieren características de peso ligero o de mejor aislamiento térmico, o ambos.
- ✓ Pavimentos, muros y pisos en donde se desean mejores características de absorción.
- ✓ Lechos de sedimentos en plantas para el tratamiento de aguas negras.
- ✓ Estructuras de playas y muros marinos (escolleras, rompeolas, etc.).
- ✓ Terraplenes de puentes.

La norma ACI 522R-10 “Reporte en concreto permeable” recomienda la colocación del concreto permeable en áreas de alta permeabilidad, suelo natural con una gran conductividad hidráulica. Además, las áreas no deberán tener pendientes mayores al 5%. En general, en todas estas aplicaciones se utiliza concreto permeable sin refuerzo, por el alto riesgo de corrosión del acero de refuerzo debido a la estructura porosa de este material.

2.4 PROPIEDADES DE INGENIERIA DEL CONCRETO PERMEABLE

Las diversas propiedades del concreto permeable dependen principalmente de su porosidad (contenido de aire, vacíos) que a su vez depende del contenido de material cementante, A / C, grado de compactación, y graduación y calidad del agregado. El tamaño de poros en el material también impacta las propiedades de resistencia.

Aunque el concreto permeable ha sido utilizado por más de 20 años en los Estados Unidos, solamente unas pocas investigaciones han sido realizadas para determinar el funcionamiento (Ghafoori 1995; Wanielista et al. 2007).

Las investigaciones han sido basadas ante todo sobre ensayos de laboratorio, con algunos datos obtenidos en instalaciones de campo.

Actualmente existen dos métodos de ensayo bajo la normativa ASTM (ASTM C1688-10 y ASTM C 1701) que específicamente pretende para el uso de concreto permeable, el sub comité ASTM C09.49 está desarrollando métodos de ensayo para resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, densidad/porosidad en el sitio. El especificador deberá tener cuidado cuando referencie los métodos de ensayo para concreto permeable que están destinados a concreto masivo.

2.4.1 PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE EN ESTADO FRESCO

Puede decirse que, para fines prácticos, el concreto se considera en estado fresco, mientras permanece moldeable, es decir, mientras adquiera su fraguado inicial, aunque resulta más fácilmente moldeable en su fase "durmiente", o blanda.

Para dar el uso y tratamiento adecuado al concreto en estado fresco hasta el estado endurecido, es necesario reconocer sus respectivas características, propiedades y los factores que las modifican, a fin de poder ajustarlas según convenga.

a) Peso Unitario

El peso unitario (peso volumétrico, densidad o masa unitaria) del concreto permeable en estado fresco en general varía entre el 70% y 85% de una mezcla fresca de concreto convencional, oscilando entre 1,600 a 2,000 kg/m³, dependiendo del porcentaje de vacíos de diseño del mismo.

b) Revenimiento (slump)

El revenimiento o asentamiento generalmente es usado para medir la consistencia de una mezcla de concreto fresco. Cuanto mayor sea este, implica que más húmeda es la mezcla, el procedimiento de la realización de este ensayo esta descrito en la norma ASTM C143.

Sin embargo, la mezcla del concreto permeable se caracteriza por ser de “cero slump” y al ser medido generalmente se obtienen valores de 0 a 1 cm.

c) Contenido de vacíos (porosidad)

El contenido de vacíos se calcula como porcentaje de aire, y está directamente relacionado con el peso unitario de una mezcla dada de concreto permeable. El contenido de vacíos es altamente dependiente de varios factores: gradación del agregado, el contenido de material cementante, la relación agua-cemento (a/c) y el nivel de compactación.

La energía de compactación aplicada en la elaboración de un concreto permeable influye de sobremanera en el porcentaje de vacíos y por consiguiente en su peso volumétrico. En una serie de pruebas de laboratorio (Meininger, 1988), para una sola mezcla de concreto permeable, compactado con ocho niveles diferentes de esfuerzo, los valores de peso de unidades producidas, variaban desde 1680-1920 kg/m^3 .

Conforme la magnitud de la porosidad incrementa, la resistencia a la compresión que desarrolla un concreto permeable disminuye, en cambio si la porosidad disminuye la resistencia aumenta. Estudios han demostrado que el porcentaje de vacíos para concretos permeables se encuentran entre 14% a 31%. Utilizándose en general un porcentaje de vacíos entre 15% a 25% para obtener resistencias mayores a 140 kg/cm^2 .

De acuerdo con el Comité ACI 309, hay tres principales características funcionales del concreto en estado fresco:

a) Estabilidad

Esta característica se refiere a la resistencia que las mezclas oponen para segregarse, en otras palabras, representa su disposición para conservarse homogéneas.

b) Compactabilidad

Corresponde a la facilidad de lograr un alto grado de compacidad en el concreto endurecido.

c) Movilidad

Representa la aptitud de las mezclas de concreto para deformarse y fluir; cuya característica depende de la cohesión, viscosidad y ángulo de fricción interna del concreto fresco.

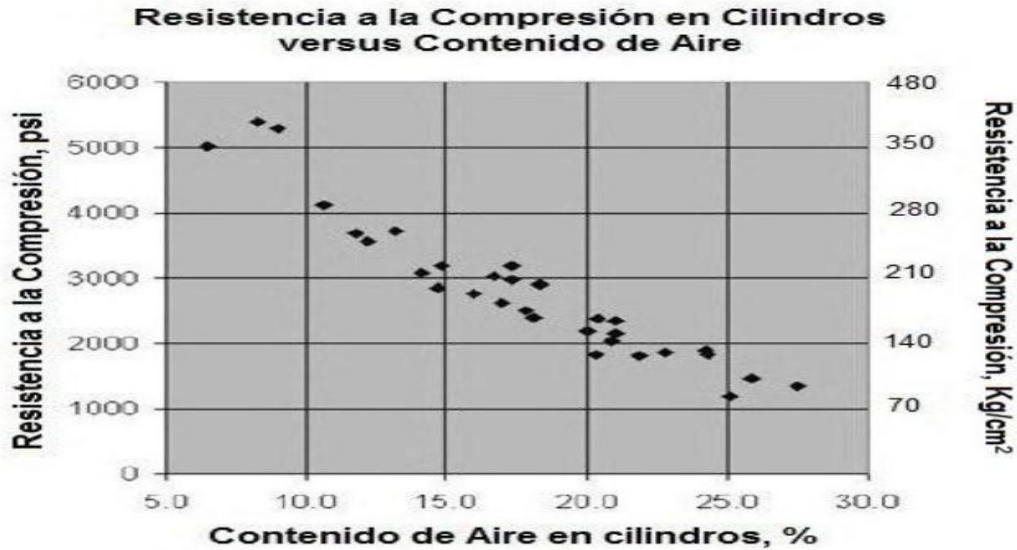
2.4.2 PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE EN ESTADO ENDURECIDO

a) Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión del concreto permeable se ve altamente afectada por la dosificación de la mezcla y el esfuerzo de compactación durante la colocación.

La figura 2.4 muestra la relación entre la resistencia a la compresión y el contenido de vacíos en cilindros de concreto permeable (Meininger, 1988) y está basada en una serie de ensayos de laboratorio donde dos tamaños de agregado grueso fueron utilizados para mezclas de concreto permeable y donde el esfuerzo de compactación fue variable.

FIGURA 2.4- Grafico de la resistencia a la compresión versus contenido de Aire en especímenes de concreto permeable.

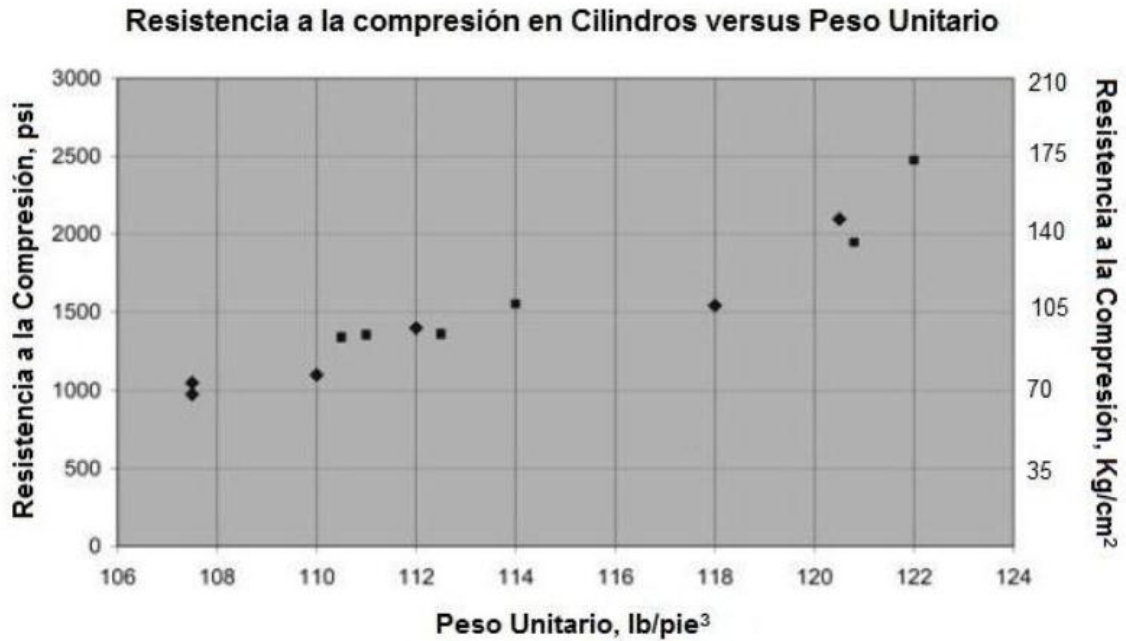


Fuente: Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10.

La figura 2.4 indica que es posible obtener altas resistencias (relativamente respecto a las de un concreto convencional) para mezclas de concreto permeable, pero la alta resistencia se logra solamente con la reducción del contenido de vacíos.

Para el caso del incremento en el tamaño del agregado se reporta en una resistencia a la compresión reducida, mientras que con aditivos polímeros y minerales se ha encontrado un incremento en la resistencia a la compresión para la misma graduación de agregado. (Jing y Guoliang 2003). Mahboub (2008) previene que la resistencia a la compresión de los núcleos extraídos en campo puede ser significativamente diferente a los cilindros moldeados para ensayo.

FIGURA 2.5- Grafico de la resistencia a la compresión versus contenido de Aire en especímenes de concreto permeable.

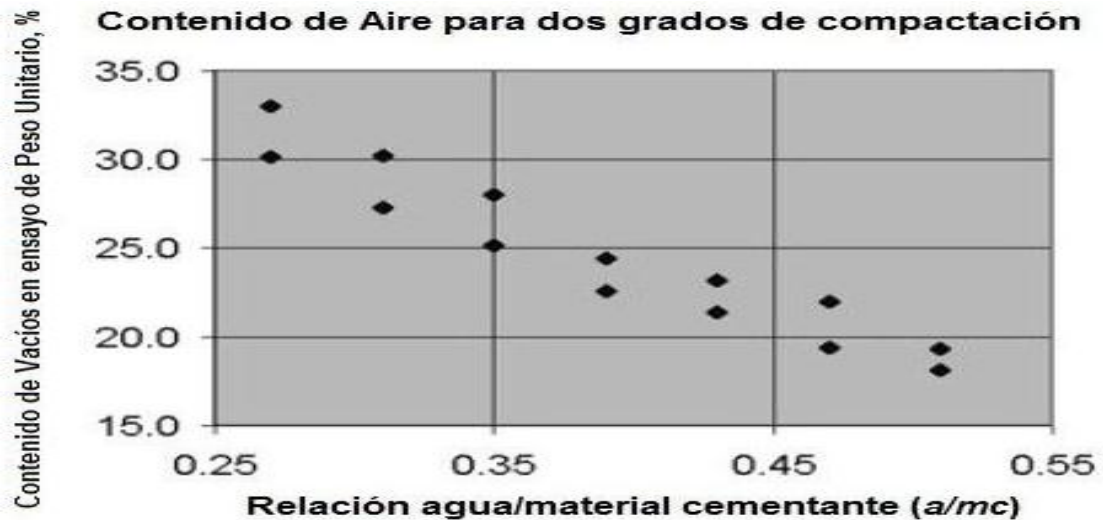


Fuente: Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10.

En la figura 2.5 se observa una relación entre la resistencia a la compresión y el peso unitario (Mulligan 2005). La figura está basada en otra serie de ensayos de laboratorio donde uno de los agregados gruesos fue utilizado y el esfuerzo de compactación y la relación agua/cemento fue variable.

Aunque la relación A / C de la mezcla de concreto permeable es importante para el desarrollo de la resistencia a la compresión y para la estructura de vacíos, una relación alta de A / C puede causar que la pasta fluya en el agregado, llenando la estructura de vacíos. Una baja relación A / C puede causar una adherencia pobre entre las partículas del agregado y por ende problemas en la colocación del concreto permeable.

FIGURA 2.6- Contenido de Aire para dos grados de Compactación versus la relación Agua/ Material Cementante (A/C).



Fuente: Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10.

La figura 2.6 muestra la relación entre la relación (A/C) y el contenido de vacíos de una mezcla de concreto permeable (contenido de cemento y agregado constantes) a dos grados de compactación (Meininger, 1988). La experiencia demuestra que una relación A/C de 0.26 a 0.45 provee un buen recubrimiento al agregado y estabilidad en la pasta.

El total del contenido de cemento de una mezcla de concreto permeable es importante para el desarrollo de la resistencia a la compresión y contenido de vacíos. Un contenido de pasta excesiva puede resultar con sellos en la estructura de vacíos, y así reducir la porosidad.

Un contenido insuficiente da como resultado una pasta con pobre recubrimiento del agregado y así obtener una resistencia a la compresión reducida. El contenido óptimo de cemento depende fuertemente en la graduación y el tamaño del agregado.

Para el tamaño de agregado seleccionado, se debe llevar a cabo el ensayo de la fluidez del aglutinante para determinar el contenido óptimo de cemento (Nelson y Phillips, 1994).

La resistencia a la compresión en campo estará supeditada a la calidad de los materiales empleados, técnicas de colocación y condiciones ambientales, de manera similar a cualquier tipo de concreto. Para mejorar la resistencia a la compresión desarrollada por el concreto permeable, se deben mejorar: La resistencia de la pasta, y la cohesión entre el agregado y la pasta. Esto es posible con la utilización de agregados gruesos con menores tamaños y usando aditivos o materiales adicionales en la mezcla.

b) Resistencia a la flexión

FIGURA 2.7- Resistencia a la flexión en vigas versus contenido de vacíos.

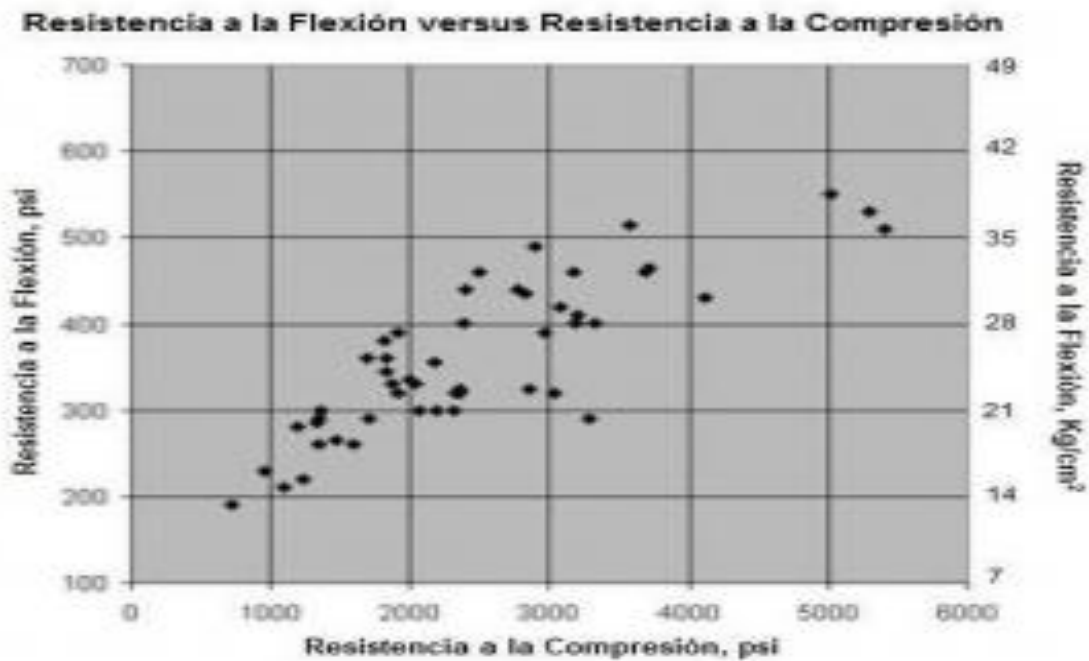


Fuente: Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10.

La figura 2.7 (Meininger, 1988) muestra la relación entre la resistencia a flexión del concreto permeable y contenido de vacío basado en vigas ensayadas en la misma serie de ensayos de laboratorios descritos en la figura 2.5.

Aunque estos resultados están basados en un número limitado de especímenes, comparando los datos de las figuras 2.4 y 2.8 indica que existe la relación entre la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión del concreto permeable. Esta relación, como la resistencia a la compresión, depende de muchas variables.

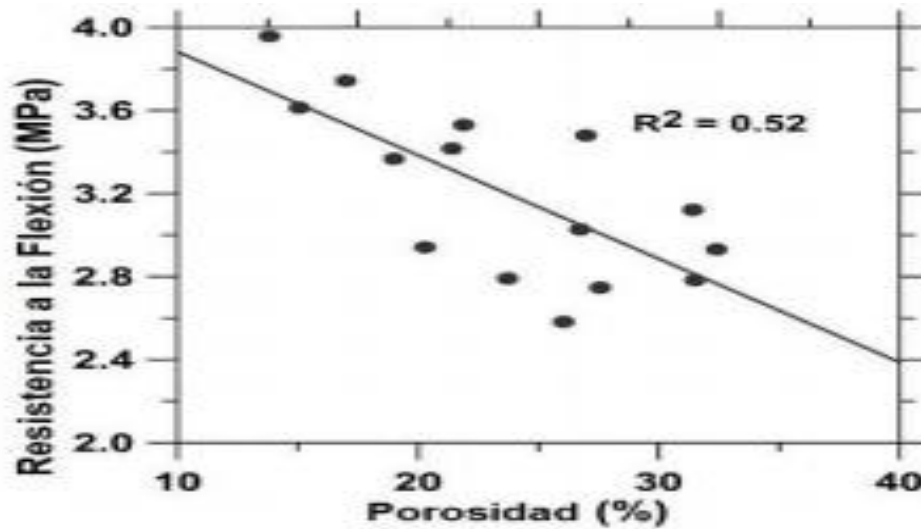
FIGURA 2.8- Resistencia a la flexión versus resistencia a la compresión.



Fuente: Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10

La figura 2.8 (Meininger, 1988) muestra la relación entre la resistencia a la compresión y flexión del concreto permeable para una serie de ensayos de laboratorio. Otra serie de datos de ensayos relacionados a la resistencia a flexión y porosidad se muestra en la figura 2.9 (Neithalath 2004).

FIGURA 2.9- Resistencia a la flexión versus porcentaje de porosidad



Fuente: Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10

La adición de una pequeña cantidad de arena (aproximadamente 5% por volumen) incrementa la resistencia a la flexión del concreto permeable (Neithalath 2004). Un incremento en la resistencia a la flexión del concreto permeable ha sido reportado cuando se utiliza aditivos polímeros, se ha observado una resistencia a flexo tracción cerca de 3 MPa para un concreto permeable usando una proporción de agregado $\frac{1}{4}$ a $\frac{3}{8}$ de pulgada (6 a 10 mm) y teniendo una porosidad del 25% (Nissoux, 1993; Brite, Reporte Euram 1994).

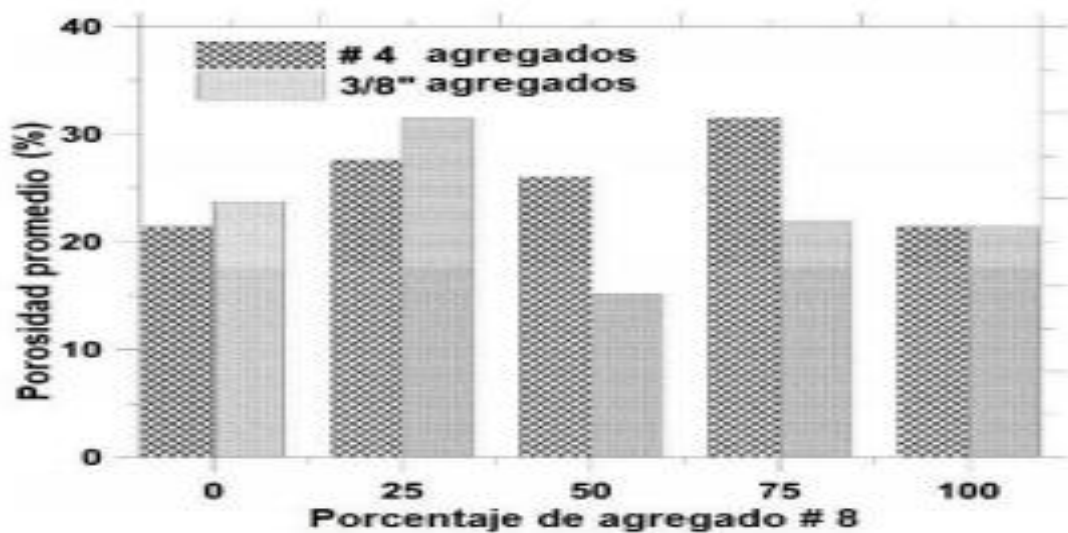
c) Contenido de vacíos y pesos unitarios

La densidad del concreto permeable fresco se puede determinar por la norma ASTM C1688/C1688M, y está directamente relacionada con el contenido de vacío de una mezcla determinada. Dos métodos adicionales que determinan la porosidad del concreto permeable endurecido han sido reportados (Neithalath 2004). El primer método consiste en una determinación volumétrica donde la masa de agua que llena una muestra sellada de concreto permeable se convierte en un equivalente volumen de poros.

En el segundo método, el procedimiento de análisis de la imagen se emplea en muestras de concreto permeable que han sido impregnados con una resina epóxica de baja viscosidad (Marolf et al. 2004). La porosidad accesible en una mezcla de concreto permeable es una función de los tamaños de los agregados y la relativa cantidad de diferentes tamaños en la mezcla (Brite / Informe Euram 1994).

El contenido de vacíos depende de varios factores: graduación del agregado, contenido de cemento, relación A/C, esfuerzo de compactación. La influencia de la graduación del agregado en la porosidad de las muestras de concreto permeable preparadas en laboratorio se muestra en la figura. 2.10.

FIGURA 2.10- Relación porosidad versus porcentaje de agregado



Fuente: Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10

El esfuerzo de compactación tiene una influencia sobre el contenido de vacíos, la porosidad y la densidad de una determinada mezcla de concreto permeable. En una serie de pruebas de laboratorio (Meininger 1988), una sola mezcla de concreto permeable compactado con ocho diferentes grados de esfuerzo, producen valores de peso unitario que varía de 1680 a 1920 kg/m³ (105 a 120 lb/pie³).

La figura 2.5 muestra que esta variación del peso unitario y relacionado con el contenido de vacíos puede tener un efecto medible en la resistencia a la compresión del concreto permeable. Para el contenido de pasta constante, el contenido de vacío se reporta para ser una función del esfuerzo de compactación, la forma y la textura de las partículas del agregado, y el coeficiente de uniformidad del agregado (Crouch et al. 2006).

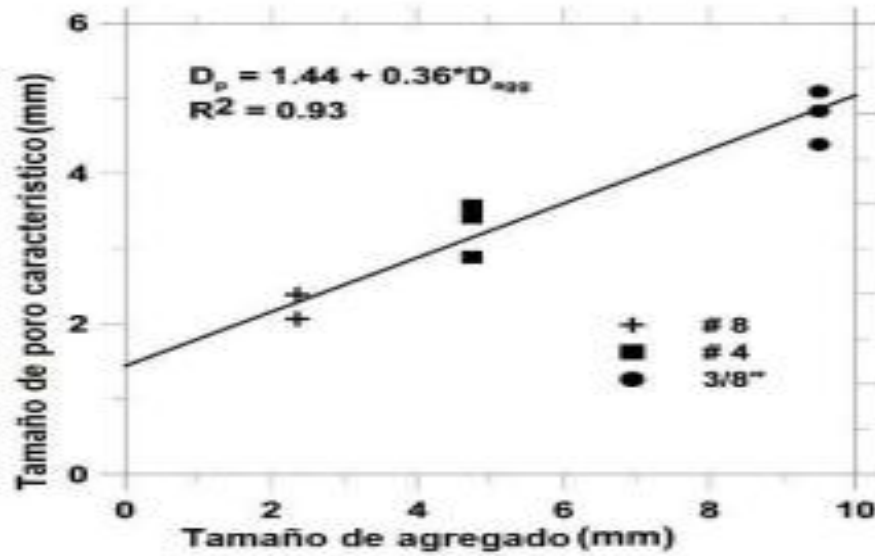
d) Tamaño de poros

El tamaño o rango de tamaños de poros en el concreto permeable es también un factor importante que influye en sus propiedades. La influencia del tamaño de los poros para permeabilidad del agua ha sido documentada (Neithalath 2004; Neithalath et al 2006). Para generar mayor tamaño de poros en el material, se recomienda agregado de mayor tamaño porque pueden reducir las posibilidades de que se obstruya los poros (Nelson y Phillips, 1994).

Las figuras 2.11 y 2.12 muestran la influencia de un solo tamaño de los agregados, así como la mezcla de dos diferentes tamaños de agregados en proporciones variables en los tamaños de poros de concreto permeable.

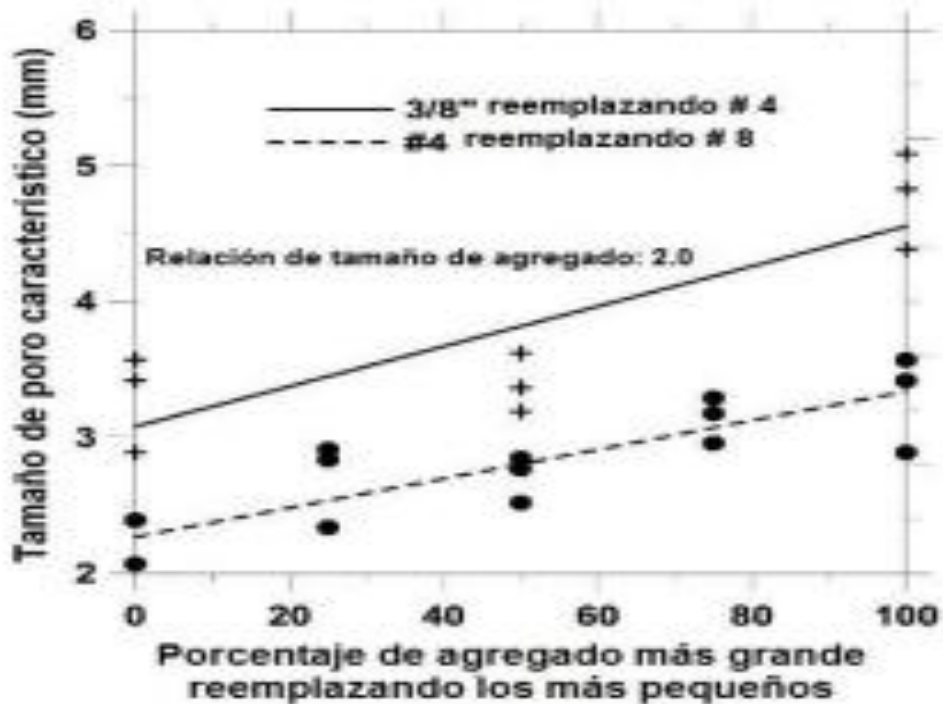
Sustituyendo los agregados de menor diámetro con un porcentaje creciente de mayor diámetro de agregado grueso aumenta el tamaño de los poros. Esto es porque el grueso de partículas introducidas puede no ser capaz de encajar en el vacío dejado por las partículas más finas (Neithalath 2004; Neithalath et al 2003).

FIGURA 2.11- Tamaño de Poro versus Tamaño de Agregado.



Fuente: Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10

FIGURA 2.12- Tamaño de Poro versus Porcentaje de Agregado más grande.



Fuente: Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10

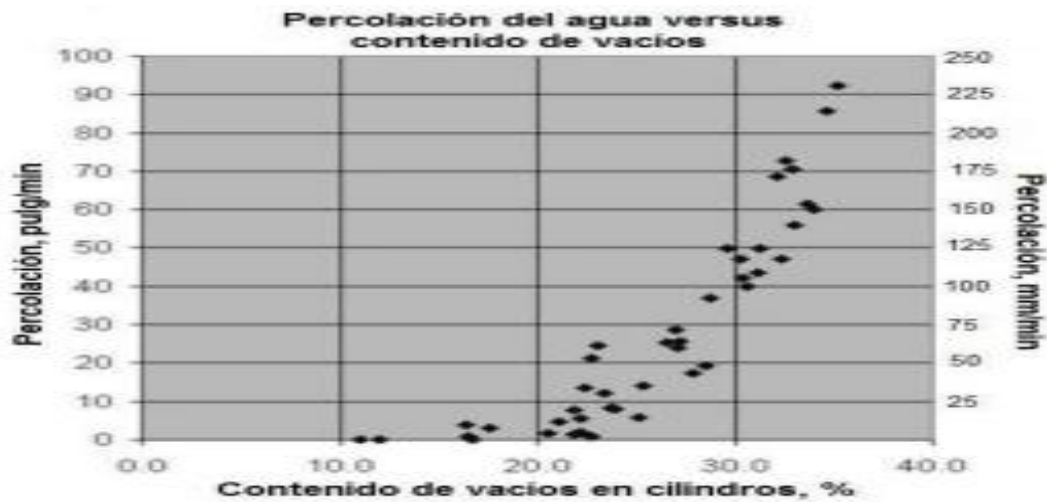
e) Taza de filtración

Una de las características más importantes del concreto permeable es su capacidad para filtrar el agua a través de la matriz. La tasa de percolación en el concreto permeable está directamente relacionada con el contenido de vacíos y el tamaño de los poros.

Las pruebas han demostrado según Meininger, que un contenido de vacíos de al menos 15% es requerido para lograr una filtración significativa. Para una porosidad de 20 a 25%, el coeficiente de permeabilidad se reporta que es de aproximadamente 0.01 m/s (Brite/Informe Euraam 1994) En otro estudio (Nissoux et al.1993) se informa de una permeabilidad de 36 L/m²/s (0,88gal. /pie²/s).

La Figura 2.13 (Meininger 1988) muestra la relación entre el contenido de vacíos y la tasa de filtración de una mezcla de concreto permeable. Debido a que la tasa de filtración aumenta a medida que aumenta el contenido de vacíos y, en consecuencia, disminuye la resistencia a la compresión, el reto en la dosificación de mezcla de concreto permeable es lograr un equilibrio entre una tasa de filtración aceptable y una resistencia a la compresión aceptable.

FIGURA 2.13- Percolación versus contenido de vacíos en cilindros

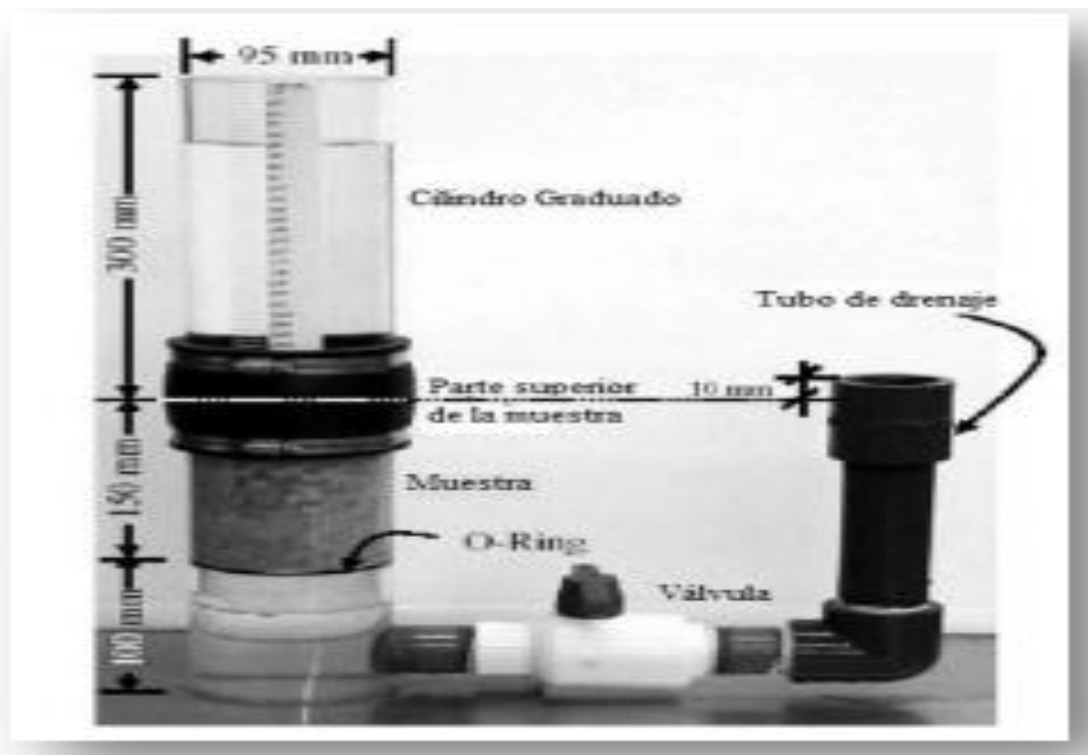


Fuente: Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-1

La permeabilidad del concreto permeable puede ser medida mediante un sencillo permeámetro de carga variable como se muestra en la figura 2.14 (Neithalath et al. 2003). En este enfoque, la muestra es encerrada en una membrana de látex para evitar que el agua fluya a los lados de la muestra. Se añade agua al cilindro graduado para llenar la celda de la muestra y el tubo de drenaje.

La muestra está supeditada a que el agua drene a través de la tubería hasta que el nivel en el cilindro graduado es el mismo que la parte superior de la tubería de drenaje. Esto reduce al mínimo las bolsas de aire en la muestra y asegura que la muestra está completamente saturada.

FIGURA 2.14- Permeámetro de carga variable.



Fuente: Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10

Con la válvula cerrada, la probeta está llena de agua. La válvula se abre entonces, y se mide el tiempo en segundos "t" necesario para que el agua descienda desde una altura h1 en la cabeza inicial a un punto final, h2.

El equipo está calibrado para una carga inicial de 290 mm (11.6 pulgadas) y una carga final de 70 mm (2.8 pulgadas), la permeabilidad k (mm/s [in/s]) puede ser expresada como sigue: $K = A/t$

Donde A es igual a una constante de 192 mm (7.7 pulgadas) Un permeámetro triaxial simple de pared flexible de carga constante también puede ser construido para la determinación de la permeabilidad de concreto permeable en el rango de 1 a 14.000 cm/h (0,001 a 10 cm/s) (Crouch et al. 2006).

El permeámetro de carga constante parece tomar en cuenta el hecho que la pasta escurra, además el contenido efectivo de burbujas de aire y el tamaño de los poros. Los resultados de los métodos de carga constante y carga variable son razonables para las muestras de laboratorio.

f) Durabilidad

El concreto debe mantener sus propiedades durante la vida útil para la que fue diseñado. La integridad abarca exclusivamente al material y no a la estructura que este compone. La durabilidad del concreto depende en gran medida de la permeabilidad del material. El ataque externo del Concreto está generalmente asociado a la presencia de agua con agentes agresivos en solución (succión capilar y flujo). Por lo tanto, para lograr que un concreto sea durable será necesario disminuir la Porosidad.

- ✓ Una baja relación agua/cemento
- ✓ Una buena compactación del concreto
- ✓ Un buen curado húmedo (por lo menos 7 días)

La durabilidad del concreto permeable se refiere al período de vida bajo las condiciones ambientales en las que se encuentra. Los efectos físicos que influyen negativamente en la durabilidad del concreto son la exposición a temperaturas extremas y sustancias químicas tales como sulfatos y ácidos.

No se han realizado investigaciones sobre la resistencia de concreto permeable a los ataques agresivos por el transporte de sulfatos o el agua ácida. La durabilidad del concreto permeable en condiciones de hielo deshielo tampoco está bien documentado.

g) Dureza

Las fibras sintéticas se pueden emplear para aumentar la dureza, que se define como la absorción de energía después de la fisuración del concreto. La dureza se puede cuantificar en uno de varios métodos de ensayo, tales como la norma ASTM C 1399-01. Esta prueba produce un valor de post agrietamiento en lb/pulg² que se refiere a la resistencia a la flexión de la matriz de concreto.

Pruebas de productos de fibras sin especímenes de vigas de concreto permeable, de acuerdo con la norma ASTM C 1399-01(ver anexo) demostró que las fibras de 1,5 a 2,0 pulgadas (38 a 51 mm) en longitud fueron los más efectivos para proporcionar tenacidad al concreto (SI Concrete Systems 2002).

h) Contracción

La contracción por secado del concreto permeable se desarrolla más rápido, pero es mucho menor que el concreto convencional. Los valores dependerán de las mezclas y los materiales utilizados, se han reportado valores del orden de 0.002, aproximadamente la mitad de las mezclas de concreto convencional.

El bajo contenido de pasta y mortero es una posible explicación. Aproximadamente del 50% al 80% de la contracción ocurre en los primeros 10 días, comparado con 20% a 30% en el mismo período para el concreto convencional. Debido a esta baja contracción y la textura de la superficie, muchos concretos permeables se hacen sin juntas de control y se deja romper al azar.

2.5 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES Y DE LA MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE.

El concreto permeable, también es conocido como concreto poroso, concreto con poco o nada de agregado fino, concreto discontinuo o concreto de porosidad incrementada; principalmente consiste de cemento portland normal, agregado grueso de tamaño uniforme, y agua.

Esta combinación forma un aglomerado de agregado grueso rodeado de una delgada capa de pasta de cemento endurecida en sus puntos de contacto. Esta configuración produce vacíos entre el agregado grueso, el cual permite que el agua se infiltre a una tasa mucho mayor que el concreto convencional.

La resistencia y permeabilidad obtenidas con un pavimento permeable están determinadas por la mezcla que se va a utilizar. Las variables que afectan el comportamiento del concreto permeable son: granulometría, dosis de cemento, relación agua/cemento, aditivo y contenido de vacíos. La granulometría utilizada resulta fundamental en las propiedades que tendrá el concreto permeable.

Se debe utilizar agregados que presenten como mínimo dos caras fracturadas con ausencia casi total de finos, pues impermeabilizarían o sellarían la mezcla; tener un tamaño de agregado bastante uniforme para obtener un porcentaje elevado de vacíos (aunque esto afecta en las propiedades mecánicas de la mezcla).

2.5.1 AGREGADOS

Los agregados deberán cumplir con los requisitos de Norma ASTM C33-07 y ASTM D448-07. Los agregados que no cumplan con las especificaciones de las normas anteriormente señaladas, pero que hayan demostrado, mediante ensayos especiales o en uso, que producen concreto permeable con resistencia y permeabilidad adecuadas, pueden ser utilizados cuando así lo autorice el supervisor.

Los agregados se deben almacenar en depósitos o compartimentos adecuados y separados para cada tamaño de agregado. Cada compartimento se debe diseñar para que la operación de descarga sea libre y eficiente, de tal manera que haya una mínima segregación. Los controles de operación deben permitir la interrupción de la descarga de material a la báscula en el momento deseado de manera que el material se pueda medir con precisión (aplica a máquinas dosificadoras).

Existen dos características en los agregados que tienen una importante influencia sobre el Proporcionamiento de las mezclas de concreto y son:

1. La granulometría (tamaño de partícula y distribución)

Importante para:

- ✓ Trabajabilidad
- ✓ Proporcionamiento de la mezcla
- ✓ Contenido de cemento y por ende el contenido de agua
- ✓ Compactabilidad de la mezcla
- ✓ Estética del pavimento

2. La naturaleza de las partículas (forma, porosidad, textura superficial) La calidad del agregado en el concreto permeable es igualmente importante como en el concreto convencional. Deben ser evitadas las partículas largas o escamosas.

La graduación estrecha del agregado grueso debe ser dura y limpia, libres de recubrimiento, tal como polvo o arcilla, o sustancia química absorbida que pueda ser perjudicial a la adherencia pasta/agregado o a la hidratación del cemento.

Estas dos características afectan la trabajabilidad del concreto fresco, pero también se logra una mezcla económica porque afecta a la cantidad de concreto que puede fabricarse con una cantidad determinada de cemento y agua. En ausencia de ello, unas combinaciones de ensayos pueden llevarse a cabo para proporcionar una base para evaluar la idoneidad del agregado candidato para su incorporación en la mezcla de concreto permeable.

El peso unitario de los agregados deberá ser determinado de acuerdo a ASTM C29/C29M – 07. Para fuentes desconocidas y/o nuevas de agregados, los resultados de los ensayos se llevarán a cabo por la norma ASTM C33/C33M - 07 y ASTM D448 - 08 deberá ser revisada con el aporte de la experiencia de un ingeniero en materiales.

a) AGREGADO GRUESO

La estructura interna de un concreto permeable puede describirse como un conjunto de partículas de agregado grueso, en contacto y unidas entre sí por puentes constituidos por la pasta (cemento y agua) o el mortero que forma la arena (cuando hay presencia de finos en la mezcla) y la pasta; estos puentes son los que movilizan la resistencia del concreto.

El número de puentes que se forman por unidad de volumen es función principalmente del tamaño y la graduación del agregado grueso. La diferencia que presenta el concreto permeable en función del tipo de agregado grueso es notable, con un agregado uniforme se consigue menos resistencia que con uno graduado y tanto menos cuanto mayor sea el diámetro del agregado.

El agregado grueso deberá reunir los requerimientos de tamaño y gradación definidos en ASTM D 448 – 08 (Clasificación para Tamaños de Agregados para la Construcción de Caminos y Puentes) o “Tamaños Estándar para Agregados Gruesos”, Tabla 4, Especificaciones AASHTO T 2793, 1ª Parte, 13ª Edición, 1982 o más reciente.

Deberá complementarse con la Norma ASTM C 33 – 07(Tabla 2.1) el ACI 211.3R-02, ACI 522R-10 expone que el tamaño máximo nominal del agregado grueso generalmente es de ¾ a 3/8 de pulgada (19 a 9.5 mm) o sea No. 67 (3/4” a No. 4), No. 7 (1/2” a No. 4) y No 8 (3/8” a No. 16).

Tamaños de Agregados mayores pueden incrementar la porosidad, pero pueden disminuir la trabajabilidad. La N° 8 (3/8 de pulgada o 9.5 mm) es la más común a utilizar en los pavimentos de concreto permeable. Tabla 2.1 Muestra los Husos granulométricos para poder realizar los diseños de mezclas (ASTM C33, 1999).

Tabla 2.1 Muestra los Husos granulométricos para poder realizar los diseños de mezclas.

Tamiz No.	Tamaño en mm.	PORCENTAJE EN PESO QUE PASA POR EL TAMIZ												
		100 mm.	90 mm.	75 mm.	63 mm.	50 mm.	37.5 mm	25 mm	19.0 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm
		5"	3.5"	3"	2.5"	2"	1.5"	1"	¾"	½"	3/8"	No. 4	No.8	No. 16
1	90 a 37.5 mm.	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 15					
2	63 a 37.5 mm.			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 15					
3	50 a 25 mm.				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 15				
357	50 a 4.75 mm				100	90 a 100		35 a		10 a 30		0 a 15		
4	37.5 a 19 mm.					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15		0 a 15			
467	37.5 a 4.75 mm.					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 15		
5	25 a 12.5 mm.						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5			
56	25 a 9.5 mm.						100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5		
57	25 a 4.75 mm.						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5	
6	19 a 9.5 mm.							100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5		
67	19 a 4.75 mm.							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5	
7	12.5 a 4.75 mm.								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	
8	9.5 a 2.36 mm.									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

Fuente (ASTM C33, 1999).

Deberán evitarse agregados bien graduados, ya que reducen la porosidad, y pueden no proveer un adecuado contenido de vacíos. Se sugiere un límite máximo de agregado grueso que pase 15% la malla N^o 4 (4.75 mm). La humedad del agregado al tiempo de la mezcla es importante. La absorción del agregado deberá satisfacer la condición para lograr la condición saturada superficialmente seca (SSS).

TABLA 2.2- Influencia de los Agregados en el Concreto Permeable en Estado Fresco y Endurecido.

Características de los Agregados	Aspectos influidos en el concreto	
	Concreto Fresco	Concreto Endurecido
Granulometría	Manejabilidad Requerimientos de agua	Resistencia mecánica Economía
Limpieza (materia orgánica, limo, arcilla y otros finos indeseables)	Requerimientos de agua	Durabilidad Resistencia mecánica
Densidad (Gravedad Específica)	Peso Unitario	Peso Unitario
Absorción y Porosidad	Pérdida de agua en la mezcla	Resistencia mecánica Permeabilidad
Forma de Partículas	Trabajabilidad Requerimiento de agua	Resistencia mecánica Economía
Textura Superficial	Trabajabilidad Requerimiento de agua	Resistencia mecánica Resistencia al desgaste Economía
Tamaño Máximo	Segregación Peso Unitario Requerimiento de agua	Resistencia mecánica Peso Unitario Permeabilidad Economía
Resistencia a la Abrasión	Ninguno	Resistencia a la abrasión Durabilidad
Coefficiente de Expansión Térmica	Ninguno	Propiedades térmicas

Fuente: Norma ASTM C33-07, ASTM C1688-09, ASTM C131-07, ASTM C29-07

2.5.2 CEMENTO

Cemento Portland conforme a las Normas ASTM C 150, C 595 o C 1157 se utiliza como el aglutinante principal. En nuestro país se usa el Cemento Portland conforme a ASTM C 1157 Tipo GU en bolsas de 42.5 kg. Una mayor dosis de cemento generará un concreto más resistente, pero demasiado cemento disminuirá el porcentaje de vacíos interconectados en el concreto, perdiendo este su capacidad de infiltración.

2.5.3 AGUA

La calidad del agua para concreto permeable será para los mismos requisitos que gobiernan para concretos convencionales. El concreto permeable deberá ser proporcionado con una relativa baja relación agua/material cementante (a/mc) (típicamente 0.26 a 0.40) porque una cantidad de agua en exceso producirá que la pasta fluya y selle el sistema de poros.

La adición de agua, por lo tanto, deberá ser monitoreada en el campo. Información adicional de la calidad del agua se encuentra en el comité ACI 301. Debe ser potable, estar libre de aceites, grasas, materia orgánica, etc. y cumplir también con la ASTM D-1293 (ver anexo) Agua reciclada de las operaciones de concreto puede ser utilizada pero solamente si cumple las disposiciones de ASTM C94/94M – 07 o AASHTO M-157 (ver anexo).

En general, se considera adecuada el agua que sea apta para el consumo humano. Así mismo, no deberá contener cantidades mayores de las sustancias químicas que las que se indican en la Tabla 2.2, en partes por millón.

Tabla 2.3- Valores Permisibles de Sustancias Químicas en el Agua.

SUSTANCIAS PERJUDICIALES	ppm Máx.
Sulfatos (convertidos a Na₂SO₄)	1,000
Cloruros (convertidos a NaCl)	1,000
Materia Orgánica (óxido consumido en medio ácido)	50
Turbiedad y/o lignito	1,500

Fuente: ASTM C 94-Normativa para la Elaboración de Concreto Premezclado.

2.5.4 ADITIVOS

Los aditivos deben ser certificados por la casa productora del aditivo. Los aditivos químicos reductores de agua, retardantes y acelerantes deben cumplir las especificaciones de la Norma ASTM C 494 - 08, para aditivos incorporadores de aire la Norma ASTM C 260 – 08 y para super fluidificantes la Norma ASTM C 1017 - 08.

Acelerantes pueden ser utilizados cuando el concreto permeable es colocado en climas fríos. Estudios reportan que el uso de estabilizadores de hidratación como una ayuda en tiempo de trabajo de la mezcla y los modificadores de viscosidad (Viscosity Modifying Admixtures, VMA) para mejorar la trabajabilidad; estas ventajas también han sido observadas durante la producción actual y en la colocación en proyectos. Con el uso de múltiples aditivos en cualquier mezcla, es recomendado llevar a cabo la colocación de bachadas de prueba para identificar cualquier problema de incompatibilidad de aditivos y verificar que las propiedades en estado fresco y endurecido son sistemáticamente alcanzables.

La función primaria del material debería ser como estabilizador de la hidratación, debido a que demora la hidratación del cemento, formando una barrera protectora alrededor las partículas de cemento. También debe cumplir con los requisitos de ASTM C 494 – 08 (ver anexo) Tipo B Retardantes o Tipo D Reductor de agua/Retardante.

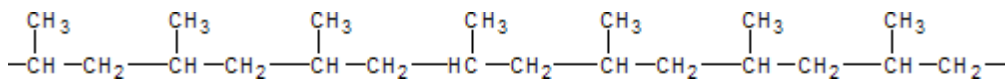
Debido a que el concreto poroso tiene ausencia de finos, la resistencia a la flexión y compresión tienden a ser menores que las de un concreto convencional, por lo tanto, se utilizan adiciones de tiras de plástico (fibras de polipropileno de longitud controlada) que reduce las grietas formadas por contracción plástica del concreto y aumenta la resistencia de este tipo de pavimento drenante.

2.6 POLIPROPILENO

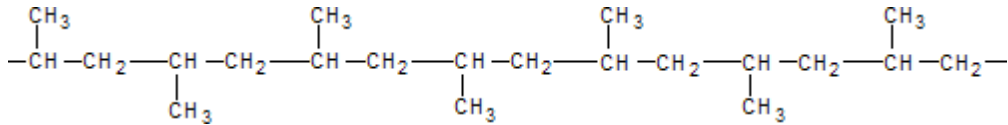
El polipropileno es un termoplástico semicristalino, que se produce polimerizando propileno en presencia de un catalizador estéreo específico. El polipropileno tiene múltiples aplicaciones, por lo que es considerado como uno de los productos termoplásticos de mayor desarrollo en el futuro. Es un producto inerte, totalmente reciclable, su incineración no tiene ningún efecto contaminante, y su tecnología de producción es la de menor impacto ambiental. Esta es una característica atractiva frente a materiales alternativos.

2.6.1 ESTRUCTURA DEL POLIPROPILENO

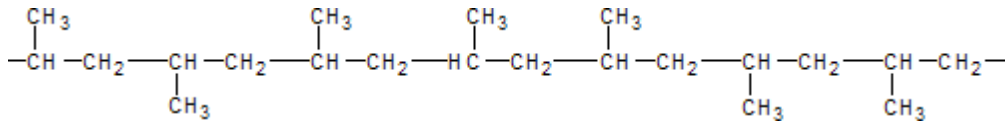
Estructuralmente es un polímero vinílico, similar al polietileno, sólo que uno de los carbonos de la unidad manométrica tiene unido un grupo metilo. El polipropileno fabricado de manera industrial es un polímero lineal, cuya espina dorsal es una cadena de hidrocarburos saturados. Cada dos átomos de carbono de esta cadena principal, se encuentra ramificado un grupo metilo (CH₃). Esto permite tres formas isómeras del polipropileno:



Isotáctica



Sindiotáctica



Atáctica

Esta se diferencia por la posición de los grupos metilo-CH₃ con respecto a la estructura espacial de la cadena del polímero. Las formas isotácticas y sindiotácticas, dada su gran regularidad, tienden a adquirir en estado sólido una disposición espacial ordenada, semicristalina, que confiere al material unas propiedades físicas excepcionales. La forma atáctica, en cambio, no tiene ningún tipo de cristalinidad. Los procesos industriales más empleados están dirigidos hacia la fabricación de polipropileno isotáctico que es el que ha despertado mayor interés comercial.

2.6.2 PROPIEDADES DEL POLIPROPILENO ISOTACTICO

a) Propiedades físicas

- La densidad del polipropileno, está comprendida entre 0.90 y 0.93 gr/cm³. Por ser tan baja permite la fabricación de productos ligeros.
- Es un material más rígido que la mayoría de los termoplásticos. Una carga de 25.5 kg/cm², aplicada durante 24 horas no produce deformación apreciable a temperatura ambiente y resiste hasta los 70 grados C.
- Posee una gran capacidad de recuperación elástica.
- Tiene una excelente compatibilidad con el medio.
- Es un material fácil de reciclar
- Posee alta resistencia al impacto.

2.7 PAVIMENTOS PERMEABLES

Los pavimentos permeables se enmarcan dentro de los conocidos como Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) y consisten en una capa de rodadura, que permite la filtración de la escorrentía hacia una capa de grava subyacente, donde se almacena temporalmente antes que se infiltre al terreno natural (si el terreno y la calidad de la escorrentía así lo permiten) o se evacue fuera del sistema mediante drenes. Esta técnica se emplea básicamente en zonas con baja intensidad de tráfico, como zonas de aparcamiento, calles residenciales, zonas de recreo o aceras.

2.7.1 CLASIFICACIÓN

El doctor Jorge Rodríguez (2008) propone una clasificación en donde divide a los pavimentos permeables en dos grupos:

a) Pavimentos permeables discontinuos.

- ✓ Césped o grava con refuerzos.
- ✓ Adoquines con ranuras.

b) Pavimentos permeables continuos.

- ✓ Mezcla bituminosa porosa.
- ✓ Hormigón poroso.

Por otra parte, también existe la clasificación de pavimentos permeables según el destino final de las aguas filtradas (Schueler, 1987) y (Woods-Ballard *et al.*, 2007) proponen:

a) Sistemas de infiltración total: Cuando la capacidad de infiltración del terreno es lo suficientemente grande, se puede diseñar el pavimento permeable para que el agua infiltre en su totalidad hacia el mismo. Por lo tanto, el reservorio de piedras debe ser lo suficientemente grande para almacenar el volumen de agua pluvial, menos el volumen de agua que es infiltrado durante esa lluvia.

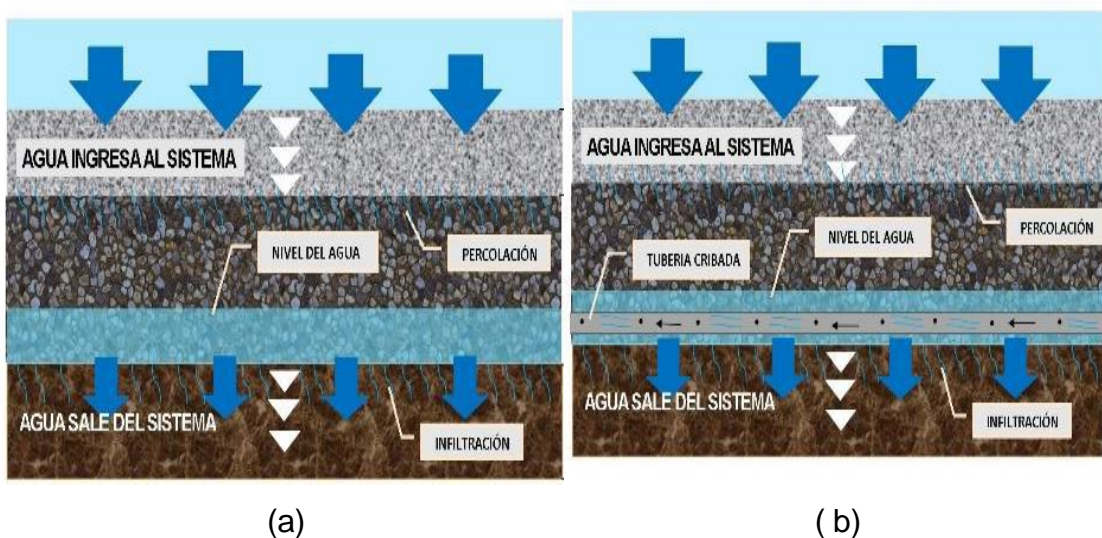
De ese modo el sistema provee el control total para todos los eventos de lluvia de magnitud inferior o igual a la lluvia de diseño.

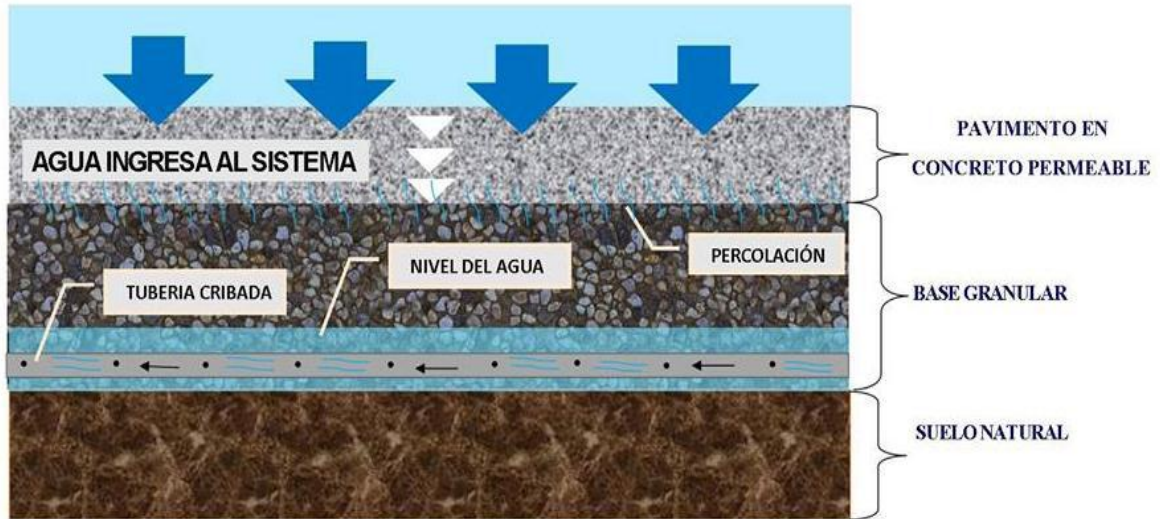
b) Sistema de infiltración parcial con drenaje longitudinal: Cuando la capacidad de infiltración del terreno es escasa o limitada, se completa la infraestructura con drenes longitudinales (tubería cribada) en las capas inferiores que evacúan el exceso de agua hacia la red convencional.

c) Sistema de infiltración Nula: Dado que la capacidad de infiltración al terreno es nula, el sistema debe contar necesariamente con drenes longitudinales en las capas inferiores que evacúan el agua almacenada a la red convencional. Esta alternativa se usa cuando la permeabilidad del suelo es muy baja (por ejemplo, en terrenos arcillosos), o cuando se quiere aprovechar el agua filtrada (en este caso la salida es hacia la red de aprovechamiento).

La selección del tipo de sistema se lleva a cabo teniendo en cuenta las propiedades del material que compone la sub-rasante y el propósito con el que se desea diseñar el sistema. (CIRIA, 2007). En la Figura 2.16 se observa el funcionamiento de las diferentes clases de concreto permeable según el destino final de las aguas filtradas.

Figura 2. 15 Clasificación de sistemas de pavimentos permeables





(c)

Fuente: (Adaptado de: Schueler, 1987, y Woods-Ballard et al., 2007)

- a. Sistema de filtración total.*
- b. Sistema de filtración parcial.*
- c. Sistema de filtración nula*

2.8 ANÁLISIS HIDROLÓGICO-HIDRÁULICO EN PAVIMENTOS PERMEABLES.

El análisis de desempeño de los pavimentos permeables desde el punto de vista hidrológico e hidráulico es realizado con base en los datos cuantitativos de los fenómenos inmersos en el balance hídrico, los cuales son colectados por los dispositivos de monitoreo. Tales fenómenos son: Precipitación, escorrentía superficial, infiltración y evaporación; y se dividen en variables de entrada, variables de salida y de almacenamiento. (Albuquerque, 2005).

El dimensionamiento de infraestructuras como los pavimentos permeables debe tener como punto de partida la caracterización del régimen pluviométrico de la zona de aplicación de los mismos. Habitualmente, los métodos hidrológicos de diseño adoptan criterios de extremos vinculados a períodos de retorno para la definición de los parámetros de diseño (caudales de pico de avenida fundamentalmente). (García et al., 2011).

El diseño hidrológico e hidráulico del pavimento permeable debe tener en cuenta cuatro aspectos esenciales: (1) Estimar las características de filtración de la capa de pavimento, (2) determinar el volumen de almacenamiento (proporcionado por los poros de la sub base) para alcanzar tasas de rendimiento adecuadas, (3) estimar la necesidad, y en su caso cuantificar la capacidad del drenaje longitudinal adicional y (4) analizar la respuesta del pavimento ante eventos extremos de precipitación. (García et al., 2011).

La capacidad de infiltración de la propia capa de pavimento no suele ser un factor limitante en el diseño de éstos, pues suele ser al menos un orden de magnitud superior a las máximas intensidades de lluvia esperables, sin embargo, esta tasa se reduciría y estabilizaría con el tiempo debido a la colmatación, por lo que se suele recomendar en el diseño adoptar en este valor un factor de seguridad de 10. (García et al., 2011).

La capacidad de almacenamiento en el propio pavimento depende directamente de las características del régimen de precipitación, de la capacidad de filtración al terreno subyacente, de la capacidad de drenaje complementario y del área drenada al propio pavimento y está directamente relacionada con el espesor de cada una de las capas de pavimento y sus respectivos índices de huecos. (García et al., 2011).

2.8.1 ESTUDIOS HIDROLÓGICOS

La hidrología es la ciencia que investiga y estudia las propiedades y la distribución espacial y temporal del agua presente en la atmósfera y en la corteza terrestre. Esto incluye las precipitaciones, escorrentía, la humedad en el suelo y la evapotranspiración. En cuanto a los pavimentos permeables, los estudios hidrológicos son fundamentales para un correcto dimensionamiento de los mismos y un adecuado diseño de mezclas del concreto permeable utilizado en ellos, específicamente en la determinación del volumen de almacenamiento de los pavimentos permeables y contenido de vacíos de diseño del concreto permeable.

2.8.2 ESTUDIOS HIDRÁULICOS

El dimensionamiento hidráulico-hidrológico permite determinar el espesor del reservorio necesario para almacenar el volumen de agua que precipita sobre el pavimento para un determinado tiempo de retorno, menos el volumen que infiltra en el suelo, o el volumen drenado, durante ese tiempo.

Ese espesor debe ser comparado con el obtenido en el dimensionamiento mecánico, debiendo ser adoptada el mayor de los dos espesores. (Albuquerque, 2005). El dimensionamiento implica la determinación del volumen drenado por la superficie o por otra contribuyente de escurrimiento para el área del pavimento.

Para el dimensionamiento de un sistema de infiltración total, el reservorio (Sub-Base) debe ser lo suficientemente grande para acomodar el volumen de escurrimiento de una lluvia del proyecto, menos el volumen de escurrimiento que es infiltrado durante la lluvia.

2.8.3 PROCESO CONSTRUCTIVO

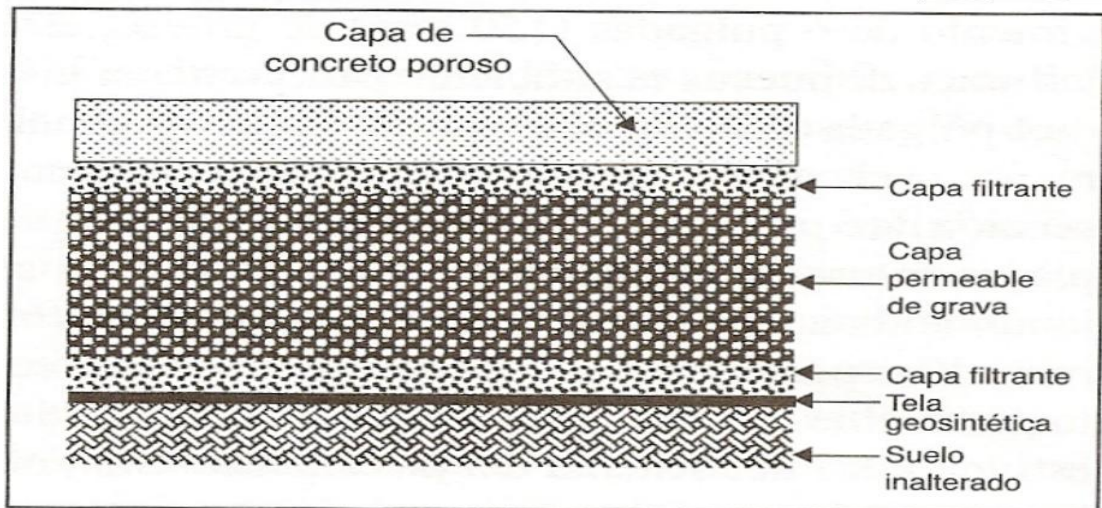
a) Generalidades

El concreto permeable se usa principalmente en pavimentos, con el fin de permitir la infiltración del agua a través de su superficie y el almacenamiento temporal de esta en la Sub-Base, para su posterior disposición o infiltración en el terreno.

Son utilizados principalmente en estacionamientos y calles de bajo tránsito, con el objeto de disminuir el escurrimiento superficial proveniente de las aguas de lluvia y la incidencia de éstas aguas abajo. Todos los procesos constructivos (Preparación de la Sub-rasante, mezclado, transporte, colocación, encofrados, compactación, juntas, curado, mantenimiento, supervisión y control de calidad) están descritos en los alcances de la norma ACI 522R "Report on Pervious Concrete".

En la figura 2.16 se muestran las diferentes capas que componen a un pavimento permeable típico.

Figura 2. 16 Estructura de un pavimento de concreto permeable



Fuente (ACI 522, 2006).

El procedimiento de colocación es ligeramente distinto al concreto convencional, principalmente porque utiliza un método de compactación especial y porque se debe prevenir el deterioro de la permeabilidad del suelo natural durante la construcción. El uso de estos pavimentos, está contraindicado en zonas o terrenos con suelos impermeables, zonas de alto tráfico, o donde exista alta posibilidad de colmatación (EPA, 1999).

b) Preparación de la sub-rasante

El suelo natural encontrado en cualquier proyecto deberá muestrearse y someterse a pruebas para permeabilidad y capacidad de carga. La uniformidad del soporte de la sub-rasante, en lugar de la resistencia, es el mejor criterio para una adecuada selección de la sub-rasante. El pavimento de concreto permeable tiene una losa que distribuye las cargas sobre una gran área similar a la del pavimento de concreto convencional. Esta distribución de cargas disminuye la presión en la sub-rasante y elimina la necesidad de grandes espesores de la misma.

Ya que la uniformidad del soporte de la sub-rasante es esencial en la función de los pavimentos, esto debe de garantizarse tanto en condiciones secas como húmedas de la sub-rasante. Una adecuada construcción del pavimento de concreto permeable facilita estos requerimientos, específicamente cuando están expuestos al agua de lluvia. Lo que podría provocar la ocurrencia de pérdidas en el soporte de la sub-rasante en suelos arenosos. Sin embargo, el tipo de problemas en un soporte de la sub-rasante es variable y pueden resultar de la presencia de limo y arcilla, los cuales son altamente compresibles, tienen poca cohesión o se expanden en condiciones húmedas.

c) Preparación de la base (reservorio)

Dependiendo del tipo de suelo, la base debería compactarse entre 90% y 95% de la densidad determinada por AASHTO T-9951 ó AASTHO T-18052. Antes de la colocación del pavimento, de acuerdo con las especificaciones y a las condiciones de humedad. El pavimento de concreto permeable tiene una humedad mínima libre y si la sub-rasante está en condiciones secas, el tiempo de colocación se acelerará y se reducirá el desempeño del pavimento. Es esencial una base uniforme y bien preparada al nivel correcto para la construcción de un pavimento de calidad.

Los 15 cm de la parte superior de la base deben estar compuestos de material granular con abundante contenido de grava y una cantidad moderada de finos (10%). La base no debe estar irregular, lodosa, saturada, o congelada cuando empiece la colocación. Los suelos de la sub-rasante deben ser humedecidos antes de la colocación del concreto. El descuido en proporcionar una capa húmeda dará como resultado una reducción en la resistencia del pavimento y puede conducir a una falla prematura del pavimento. Para asegurar la compactación uniforme, deben de rastrillarse y recompactarse las deformaciones causadas por las rodadas de los vehículos antes de las operaciones de colocación del concreto.

d) Mezclado y transporte

Debido a que el concreto permeable tiene un bajo contenido de agua, se requiere un especial cuidado durante los procesos de mezclado y transporte. Para producir una mezcla de consistencia adecuada, las proporciones deben ser correctamente ajustadas para la humedad de los agregados. El ingreso de los materiales en la mezcladora debe tener una secuencia tal que minimice los grumos del material de la mezcla.

La mezcla de concreto permeable tiende a unirse fuertemente en las aspas del mezclador, por lo que es necesario que éstas se limpien adecuadamente y se inspeccionen. Una mezcla de concreto permeable debe ser descargada completamente una hora después de que se haya agregado el agua a la mezcla.

El uso de aditivos retardantes o reductores de agua podrían extender el tiempo de colocación hasta 1 ½ horas o más, provocando que el fraguado inicial de mezcla sea más tardío cuando se manejen grandes tiempos en la colocación. Si estas recomendaciones se siguen, después de una carga de concreto se deberá realizar una inspección visual para garantizar la adecuada consistencia. Un ambiente con alta temperatura provocará un efecto directo en el fraguado inicial por lo que se deberá tener cierto cuidado. De acuerdo a la práctica, el concreto permeable no se recomienda para bombeo dado que no es práctico ni factible.

e) Colocación

Debe de haber disponible un plano que muestre la localización de todas las juntas y la secuencia de colocación antes de empezar la construcción. Deben establecerse las localizaciones de objetos fijos teniendo en mente el patrón de juntas y los métodos de construcción. Antes de la colocación, la base o reservorio deberá ser completada de acuerdo a las especificaciones establecidas.

Toda la mezcla permeable tiene un contenido mínimo libre de humedad. Si la base no tiene el contenido de agua adecuado, esta capa puede absorber agua de la mezcla, acelerando el fraguado y provocando una reducción en la resistencia del pavimento. Previo a la colocación de la mezcla, deben ser revisadas tanto el encofrado como la nivelación como en el caso de un concreto convencional. Se volverá a compactar la base para dar un espesor y soporte uniforme.

Antes de iniciar la descarga, se realizará una inspección visual a la mezcla la cual debe estar hecha de acuerdo con la relación agua-cemento óptima y la superficie de la mezcla deberá tener un aspecto metálico-brillante (Tennis et al., 2004). El concreto debe ser depositado tan cerca de su nivel final como sea práctico. Esto comúnmente se logra por la descarga directa de la canaleta del camión mezclador directamente en la subrasante o base como se muestra en la figura 2.17.

Figura 2. 17 Colocación del concreto permeable por medio de un camión mezclador con descarga por atrás



Fuente (Tennis et al., 2004)

Para la colocación en lugares que no puedan alcanzarse con las mezcladoras, o en donde tenga que minimizarse la alteración de la subrasante base, puede usarse una banda transportadora. Puesto que las mezclas de concreto permeable normalmente son ásperas (cero revenimientos) no se recomienda el bombeo.

Después de depositar el concreto, debe ser acomodado a una elevación aproximada con un rastrillo o con una herramienta manual similar, como se muestra en la figura 2.18.

Figura 2.18 Rastrillado del concreto permeable a una elevación aproximada



Fuente (Tennis et al., 2004)

En general, se debe tener mucho cuidado en minimizar:

- ✓ Arrastrar o palear el concreto fresco a su posición final;
- ✓ El llenado de los huecos en el concreto;
- ✓ La contaminación del concreto permeable con material dañino;
- ✓ Caminar sobre el concreto permeable fresco.

La colocación del concreto permeable necesita ser completada tan rápidamente como sea posible. El concreto permeable tiene un ligero exceso de agua en la mezcla. El tiempo en que se permita que el material fresco esté expuesto a los elementos es un tiempo en el que se está perdiendo el agua necesaria para el curado. El secado de la pasta de cemento puede llevar a una falla por desmoronamiento en los bordes de la superficie del pavimento.

Todas las operaciones y el equipo de colocación deben ser diseñados y seleccionados teniendo esto en mente, y programadas para la colocación rápida y el curado inmediato del pavimento.

d) Encofrados

Los encofrados pueden ser hechos de madera, plástico, o acero, y deben de tener el mismo espesor del pavimento. Los encofrados deben ser lo suficientemente resistentes y estables para soportar el equipo mecánico sin tener alguna deformación, desarrollando las operaciones de compactación y esparcimiento, como se muestra en la figura 2.17. La subrasante por debajo de los encofrados debe ser compactada de acuerdo con las recomendaciones del diseñador y niveladas, deberá soportar el equipo de rodillo y enrasadores usados.

Figura 2. 19 El encofrado deberá tener el espesor del pavimento, además de ser lo suficientemente resistentes y estables



Fuente (<http://www.pervious.com/images/unh.JPG>).

Deben usarse suficientes clavijas y estacas para resistir el movimiento lateral, como se muestra en la figura 2.19. Todos los encofrados deben ser limpiados y aceitados según sea necesario.

Figura 2. 20 Encofrado de madera sujeta a base de clavijas



Fuente (Tennis et al., 2004)

e) Equipo de enrasado

Los métodos de enrasado variarán dependiendo del tamaño del colado. Para trabajos pequeños, tales como caminos particulares, o para áreas estrechas, es aceptable el uso de reglas rectas manuales. Para trabajos más grandes, se recomienda el uso de una enrasadora vibratoria de marco con sección tipo “A”, como se muestra en la figura 2.21.

Es importante enrasar el concreto tan rápidamente como sea posible; así pues, no se recomienda el trabajo manual si la obra es muy grande debido a la insuficiente velocidad.

Figura 2. 21 Enrasado del concreto permeable mediante el uso de una enrasadora vibratoria de marco con sección tipo "A"



Fuente (www.perviousconcrete.com).

f) Compactación

La compactación del concreto permeable se realiza por medio de un rodillo, a fin de crear una fuerte adherencia de la pasta de cemento entre las partículas del agregado y para proveer un alisado aceptable de la superficie, como se muestra en la figura 2.22.

Figura 2. 22 Compactación del concreto permeable mediante el uso de un rodillo



Fuente (Tennis et al. 2004).

El rodillo debe ser de un ancho adecuado para desplazarse sobre los encofrados y debe de proporcionar una presión vertical mínima de 0.7 kg/cm² (ACI 522, 2006). El rodillo normal del tamaño necesario para cubrir una franja de 3.7 m pesa aproximadamente de 270 a 320 kg. Puede usarse un rodillo para jardinería más pequeño o una herramienta de rodillo construida a pedido especial en áreas estrechas y para áreas más pequeñas, como se muestra en la figura 2.21. No se recomiendan los rodillos para jardinería para colados más grandes debido al largo tiempo de rodillado necesario y que puede conducir a fallas por desmoronamiento en las orillas.

El paso del rodillo debe terminarse no más allá de 20 minutos después de la vibración de impactos. Debido a la textura abierta de la mezcla, la pérdida de humedad se produce a gran velocidad y el inicio del fraguado es muy rápido. Si el concreto ha fraguado, el rodillo no compactará al nivel deseado. Además, un rodillado tardío produce agrietamiento superficial del mortero e incrementa la posibilidad de aparición futura de fallas.

Figura 2. 23 Rodillo pequeño usado para compactar un área pavimentada pequeña



Fuente (http://www.perviousconcrete.com/images/build07/cert_pervious_roller.gif).

g) Juntas

Las juntas requeridas en los pavimentos porosos (permeables) difieren a las convencionales, debido a que el pavimento poroso tiene menos de un tercio de la retracción de un concreto convencional. Las juntas de contracción se colocan en intervalos de 6 m (GCPA, 2008). Deben de tener una profundidad de 1/3 a 1/4 del espesor del pavimento. En este caso, los equipos convencionales no son aplicables, debiendo utilizarse un rodillo especial con una hoja filosa. La experiencia ha mostrado que las juntas de dilatación térmica no son necesarias en estos pavimentos (Paine, 1992) como se muestra en la figura 2.23.

Las juntas longitudinales se colocan en el punto medio del ancho del carril si la construcción del ancho del carril excede los 4.50 m. En situaciones con carriles muy anchos, puede cortarse una junta longitudinal con el rodillo de compactación.

Figura 2.24 Construcción de una junta mediante la adaptación de una hoja en el rodillo de compactación



Fuente (http://www.ctre.iastate.edu/Research/project_photos/pervious_joint.jpg).

Las juntas transversales de construcción sólo pueden ser instaladas, siempre que se haya terminado el tramo de construcción, de otra manera el concreto nunca empezará a endurecer.

Para garantizar el vínculo de los agregados con la construcción de las juntas, se debe tener un adecuado agente de adherencia para colocar el concreto fresco al ya existente, el cual será cepillado o esparcido al límite de la superficie del pavimento existente.

La experiencia muestra que las juntas longitudinales son más susceptibles a desconche. Una compactación adicional en esta zona es necesaria para evitar la aparición de estas fallas.

h) Curado

Este proceso requiere una mayor atención y cuidado que el que se tiene en los pavimentos de concreto convencional, debido a la gran superficie de contacto del concreto con el ambiente. Un proceso erróneo de curado en los primeros 7 días puede reducir la durabilidad de la superficie en un 60% (ACI 522, 2006).

El proceso de curado debe comenzar inmediatamente después de compactar y producir las juntas transversales. El procedimiento de curado normalmente utilizado es el de cubrir la superficie expuesta con un material de polietileno claro de 0.15 mm o más grueso, en la dimensión suficiente para que pueda cubrir el ancho completo de un carril a lo largo de una distancia razonable, la hoja de polietileno debe de traslaparse en todas las superficies expuestas de modo que pueda quedar fijo en el lugar como se muestra en la figura 2.24.

. Pueden usarse varillas de refuerzo, madera, o bloques de concreto para fijar el recubrimiento de polietileno, a fin de evitar que sea levantado por el viento. No deben usarse tierra, arena u otro material granular, ya que puede ser lavado, o penetrar en los poros del concreto al momento de la remoción.

La hoja debe ser jalada y estirada tanto como sea posible para eliminar los pliegues y minimizar la posibilidad de decoloración o de manchas rayadas en el concreto.

Todas las orillas del pavimento deben ser cubiertas apropiadamente. Si no se hace esto, puede dar como resultado desmoronamiento en los bordes expuestos.

Figura 2.25 Material de polietileno utilizado para cubrir la superficie expuesta del concreto permeable



Fuente (Tennis et al., 2004).

Para el curado apropiado, generalmente el pavimento debe permanecer cubierto durante 7 días para mezclas de concreto simple, y 10 días para mezclas que incorporan materiales cementantes suplementarios. Debe pintarse el señalamiento de piso hasta después de que haya terminado el periodo de curado. No debe permitirse el tránsito sobre el pavimento durante el curado.

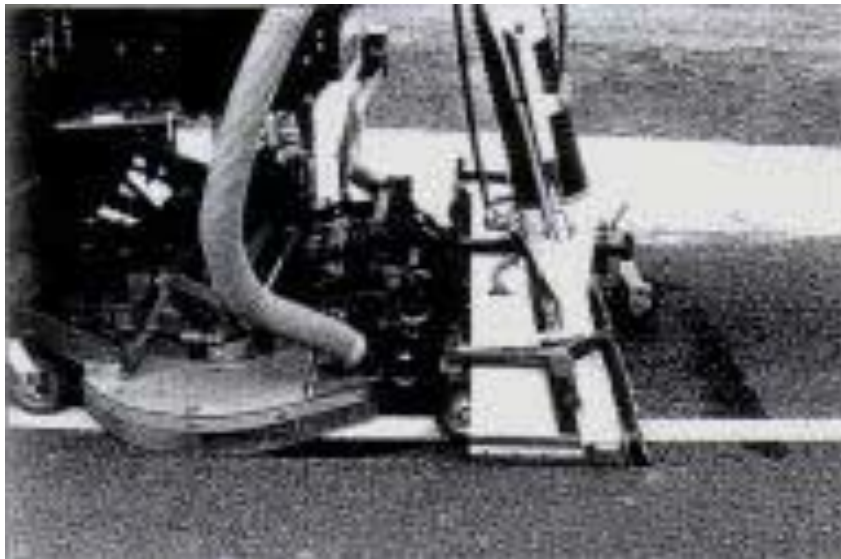
k) Mantenimiento

Existen dos métodos de mantenimiento que generalmente se usan: el método de lavado a presión y el uso de una aspiradora. El lavado a presión empuja con fuerza los contaminantes a través de la superficie del pavimento. Esto es efectivo, pero debe tenerse cuidado de no usar demasiada presión, ya que esto dañará el concreto permeable. Debe de lavarse a presión una sección pequeña de pavimento usando varias presiones de agua para determinar la presión apropiada para el pavimento dado.

El uso de una aspiradora eléctrica potente remueve los contaminantes, extrayéndolos de los huecos del pavimento. El sistema más efectivo, sin embargo, es el de combinar las dos técnicas y aspirar después del lavado a presión.

Para realizar estas operaciones de limpieza, varios son los modelos de máquinas que se utilizan, centrándose la mayor parte en máquinas autopropulsadas con un equipo de lavado-succión trasero con agua, de alta potencia y ancho de 2.5 metros, como se muestra en la figura 2.25. El agua es, en un gran porcentaje, recuperada y filtrada para continuar siendo utilizada en el proceso.

Figura 2.26 Máquina autopropulsada de limpieza con sistema presión-aspiración



Fuente (De Solminihac et al., 2002).

En la tabla 2.4 se muestran algunas actividades de mantenimiento para el concreto permeable.

Tabla 2.4 Actividades típicas de mantenimiento para el concreto permeable (ACI 522, 2006).

Fuente: ACI 522, 200

Actividad	Programa
<ul style="list-style-type: none"> - Asegurarse de que no haya tierra sobre el pavimento. - Asegurarse de que el área esté limpia de sedimentos. 	Mensualmente
<ul style="list-style-type: none"> - Sembrar vegetación en el área de aguas arriba. - Limpiar con aspiradora para mantener la superficie libre de sedimentos. 	Como sea necesario
<ul style="list-style-type: none"> - Inspeccionar la superficie para localizar los deterioros o estallamientos. 	Anualmente

2.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y PRUEBAS DE HIPÓTESIS

2.9.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

El análisis estadístico es de importancia en la evaluación de los resultados obtenidos porque nos permite tener certeza de la confiabilidad de los valores extraídos de las pruebas y en función a los parámetros estadísticos poder evaluar los resultados.

En la presente tesis se analiza los diferentes estadígrafos con datos agrupados, puesto que este nos permite obtener la distribución de frecuencias y hallar las diferentes medidas de mejor manera, observando cómo se distribuyen realmente los datos y obteniendo la gráfica real de la campana de Gauss.

A continuación, se presenta la distribución de frecuencias, medidas de tendencia central y de dispersión que se hallaran en los diferentes análisis estadísticos de la presente tesis.

Rango de Datos (R), Número de Intervalos de Clase (K), Tamaño de Intervalos de Clase (C), Media Aritmética (u), Mediana (Um), Moda (Uo), Varianza (σ), Coeficiente de Variación (Cv), 1er Coeficiente de Pearson (As), 2do Coeficiente de Pearson (AS), Coeficiente de Curtosis o Agudeza (K), conjuntamente con la gráfica de histograma de frecuencias y distribución Normal.

Distribución de frecuencias.

Un conjunto de observaciones es más comprensible y adquiere un significado concreto cuando es presentado en una tabla de distribución de frecuencias siendo la estadística descriptiva la que se ocupa de la recopilación, presentación y descripción de los datos.

Rango de datos (R).

Llamado también recorrido de los datos, el rango es la diferencia entre el máximo y mínimo valor de un conjunto de datos.

$$R_x = X_{max} - X_{min} \quad \text{Ecuación 1}$$

Número de intervalos de clase (K).

Este valor está relacionado con la cantidad de datos (N) de la muestra y generalmente se calcula con una regla de Sturges definida por:

$$K = 1 + 3.3 \times \text{Log}(N) \quad \text{Ecuación 2}$$

Tamaño de intervalos de clase (C).

Para efectos de hallar la longitud o tamaño de los intervalos de clase de igual tamaño utilizamos la siguiente relación:

$$c = \frac{R_x}{K} \quad \text{Ecuación 3.}$$

Determinación de los intervalos de clase.

El valor más bajo de los datos es considerado como el límite inferior del primer intervalo de clase, para luego agregar el ancho de clase y de esta manera obtener el límite superior de la primera clase repitiéndose esta operación K veces, es decir:

$$I_1 = (L_1, L_2) \quad L_1 = X_{\min} \quad L_2 = X_{\min} + C \quad \text{Ecuación 4.}$$

Marcas de clase.

Las marcas de clase son los puntos medios de cada intervalo de clase:

$$Xi = \left[\frac{L_{i-1} + L_i}{2} \right] \quad \text{Ecuación 5.}$$

Frecuencia absoluta de clase (fi).

Se denomina así al número de observaciones o datos que pertenecen a cada intervalo de clase, lo cual generalmente es determinado mediante la tabulación de los datos.

Frecuencia Absoluta Acumulada de Clase (Fi).

Es la sumatoria de las frecuencias absolutas de clase en cada intervalo de clase.

Medidas de tendencia central y posición.

Estas medidas se utilizan para indicar un valor que tiende a tipificar o a ser el más representativo de un conjunto de números. Las tres medidas que más comúnmente se emplean son la media, mediana y moda.

a) Media aritmética (U).

La media aritmética es lo que habitualmente se conoce como “promedio”, se obtiene al sumar los valores de un conjunto y al dividir el producto de esta suma entre el número de valores del mismo.

$$U = \frac{\sum_{i=1}^n F_i \times X_i}{n} \quad \text{Ecuación 6.}$$

Usar la media aritmética nos sirve para:

- Expresar globalmente una información que ofrecen los datos.
- Expresar una medida estable.
- Tener una medida consistente.
- Obtener un dato fundamental para otros estadísticos.

b) Mediana (U_m).

La segunda medida de tendencia central de un conjunto de números es la mediana. Su característica principal es que divide un conjunto ordenado en dos grupos iguales; la mitad de los números tendrá valores que son menores que la mediana, y la otra mitad alcanzará valores mayores que ésta. Para encontrar la mediana primeramente es necesario ordenar los valores (generalmente de menor a mayor). Posteriormente se deberá separar la mitad de los valores para obtener la mediana.

$$U_m = L_m + \left[\frac{\frac{N}{2} - F_{m-1}}{F_m} \right] \times C_m \quad \text{Ecuación 7.}$$

Dónde:

L_m: Límite inferior del intervalo de clase de la Mediana.

n: Número total de datos.

F_{m-1}: Frecuencia acumulada del intervalo de clase que antecede al intervalo de la Mediana.

F_m: Frecuencia absoluta del intervalo de clase de la Mediana.

C_m: Ancho del intervalo de clase de la mediana.

c) Moda (U_o).

La moda es una mediana de tendencia central que indica cuál es la puntuación, categoría o modalidad que más se repite en el conjunto de medidas.

$$U_o = L_o + \left[\frac{F_o - F_{o-1}}{(F_o - F_{o-1}) + (F_o - F_{o+1})} \right] \times C_m \quad \text{Ecuación 8.}$$

Donde:

L_o: Extremo inferior del intervalo modal (intervalo que tiene mayor frecuencia absoluta).

F_o: Frecuencia absoluta del intervalo modal.

F_{o-1}: Frecuencia absoluta del intervalo anterior al modal.

F_{o+1}: Frecuencia absoluta del intervalo posterior al modal.

C_m: Ancho del intervalo de clase de la mediana.

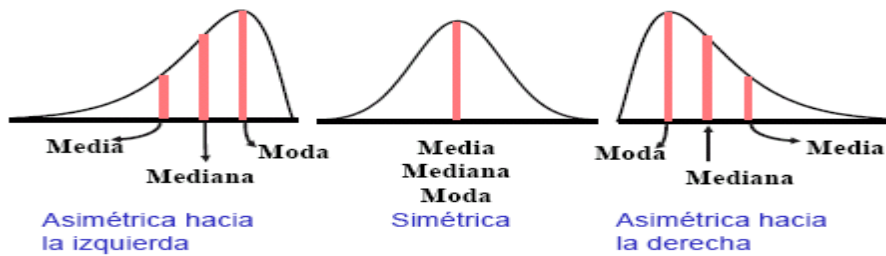
d) Relación entre la Media, Mediana y Moda.

Si media=moda=mediana, distribución simétrica perfecta.

Si media>mediana, distribución asimétrica con cola a la derecha.

Si media<mediana, distribución asimétrica con cola a la izquierda.

Figura 2.27 Diferentes Distribuciones de la Campana de Gauss



Fuente: Monografía .com

Percentiles (Pr).

Los percentiles son los 99 valores que dividen en 100 partes iguales a una serie de puntuaciones ordenadas, de forma que el percentil P deja por debajo de si el m por ciento de las puntuaciones del grupo. A cada una de estas cien partes en las que se dividen las puntuaciones también las podemos llamar centil (Cm).

$$P_r = L_i + \left[\frac{\frac{r \times n}{100} - F_{i-1}}{F_i} \right] \times C_i \quad \text{Ecuación 9.}$$

Donde:

L_i: Límite inferior de la clase donde se encuentra el percentil.

n: Es la suma de las frecuencias absolutas.

f_i: Es la frecuencia absoluta de la clase del percentil.

F_{i-1}: Es la frecuencia acumulada anterior a la clase del percentil.

C_i: Es la amplitud de la clase.

Medidas de dispersión.

Éstas son necesarias para describir en forma adecuada un conjunto de datos. Además, para obtener información respecto a la parte media de un conjunto de números, es conveniente también tener un método para expresar la cantidad de dispersión que hay entre los mismos. Las medidas de dispersión indican si los valores están relativamente cercanos uno del otro o si se encuentran dispersos.

a) Varianza (σ^2).

La varianza de una muestra se calcula casi en la misma forma que la desviación media, con dos pequeñas diferencias:

1) las desviaciones se elevan al cuadrado antes de ser sumadas y, 2) se obtiene el promedio utilizando $n-1$ en lugar de n . La varianza se puede calcular mediante la fórmula siguiente:

$$\delta^2 = \frac{\sum_i^n f_i x_i (x_i - u)^2}{n-1} \quad \text{Ecuación 10.}$$

b) Desviación estándar (σ).

El desvío estándar es simplemente la raíz cuadrada positiva de la varianza. Para obtener la desviación estándar se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^n f_i (X_i - U)^2}{n-1}} \quad \text{Ecuación 11.}$$

El desvío estándar es una de las medidas de resumen que más se utiliza y desempeña un papel muy importante en la estadística. Es importante observar que las unidades de la desviación estándar son las mismas que las de la media. Por ejemplo, si la media está en unidades de presión (kg/cm^2), la desviación estándar también lo estará.

c) Coeficiente de variación (Cv).

Es una medida de dispersión relativamente adimensional que sirve para determinar el grado de homogeneidad o heterogeneidad de un grupo o serie estadística que se analiza, generalmente su valor es en términos porcentuales y es de gran utilidad sobre todo cuando se comparan distribuciones.

$$C_v = \frac{\sigma}{U} \times 100 \quad \text{Ecuación 12}$$

Para tener la confiabilidad de los datos se ha considerado evaluarlo con el parámetro de la desviación estándar y coeficiente de variación en función a la siguiente tabla:

Tabla 2.5 Coeficiente de Variación y Desviación Estándar

DISPERSION TOTAL					
CLASE DE OPERACIÓN	DESVIACION ESTANDAR PARA DIFERENTES GRADOS DE CONTROL				
	EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	SUFICIENTE	DEFICIENTE
Concreto en obra	Menor a 28.1	28.1 a 35.2	35.2 a 42.2	42.2 a 49.2	Mayor a 49.2
Concreto en el laboratorio	Menor a 14.1	14.1 a 17.6	17.6 a 21.1	21.1 a 24.6	Mayor a 24.6

DISPERSION DE TESTIGOS					
CLASE DE OPERACIÓN	COEFICIENTE DE VARIACION (VT) PARA DIFERENTES GRADOS DE CONTROL				
	EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	SUFICIENTE	DEFICIENTE
Concreto en obra	Menor a 3	3 a 4	4 a 5	5 a 6	Mayor a 6
Concreto en el laboratorio	Menor a 2	2 a 3	3 a 4	4 a 5	Mayor a 5

Fuente: Tópicos de Tecnología del Concreto, Ing. Enrique Pasquel Carvajal

d) 1er Coeficiente de pearson (As).

Dados los valores de la media aritmética, mediana, moda y desviación estándar, el primer coeficiente de Pearson se determina por la siguiente fórmula:

$$As = \frac{U-U_0}{\sigma} \quad \text{Ecuación 13.}$$

e) 2do Coeficiente de Pearson (AS).

Dados los valores de la mediana y los percentiles 10, 25, 75 y 90 el segundo coeficiente de Pearson está definido por:

$$AS = \frac{P_{75} + P_{25} - 2U_m}{P_{75} - P_{25}} \quad \text{Ecuación 14.}$$

Los coeficientes de asimetría se interpretan del siguiente modo:

Si $AS = 0$: Entonces los datos se distribuyen en forma simétrica tal como se muestra en la Figura 2.30.

Si $AS > 0$: Entonces los datos son sesgados hacia la Derecha tal como se muestra en la Figura 2.30.

Si $AS < 0$: Entonces los datos son sesgados hacia la Izquierda tal como se muestra en la Figura 2.30.

f) Coeficiente de curtosis o agudeza (K).

El coeficiente de Curtosis es una medida que calcula la deformación vertical (apuntalamiento) de una distribución de frecuencias correspondiente al conjunto de datos. El coeficiente de Curtosis está definido por:

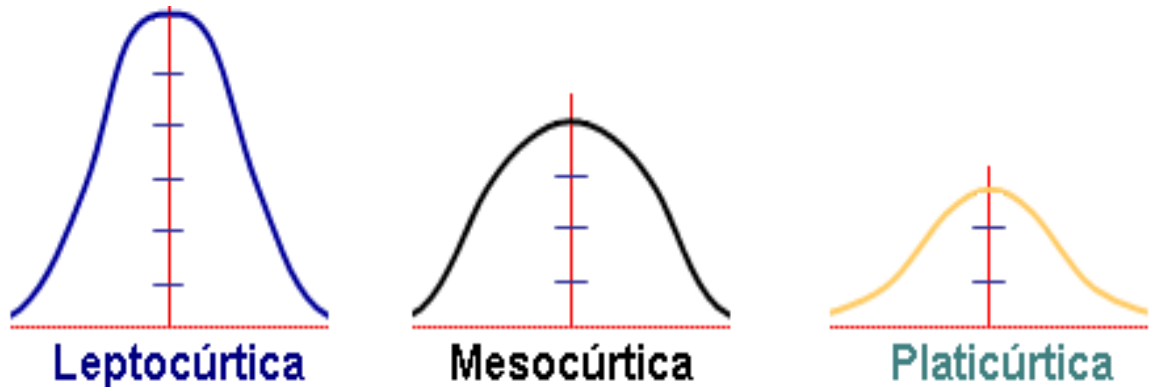
$$k = \frac{P_{75} - P_{25}}{2x(P_{90} - P_{10})} \quad \text{Ecuación 15}$$

La interpretación que se le da al coeficiente de Curtosis o apuntalamiento es la siguiente:

- ✓ Si $K < 0.263$: La curva se denomina LEPTOCÚRTICA en este caso la amplitud de la variable es pequeña y la mayoría de las observaciones se hallan en el centro de la distribución como se muestra en la figura 2.27.
- ✓ Si $K = 0.263$: La curva se denomina MESOCÚRTICA en este caso los datos se encuentran regularmente dispersos y la amplitud de los datos es relativamente mayor que en el caso anterior como se muestra en la figura 2.27.

- ✓ Si $K > 0.263$: La curva se denomina PLATICÚRTICA en este caso los datos se encuentran dispersos en todos los intervalos y su amplitud o rango tiende al infinito como se muestra en la figura 2.27.

Figura 2.28 Diferentes Distribuciones del Coeficiente de Curtosis

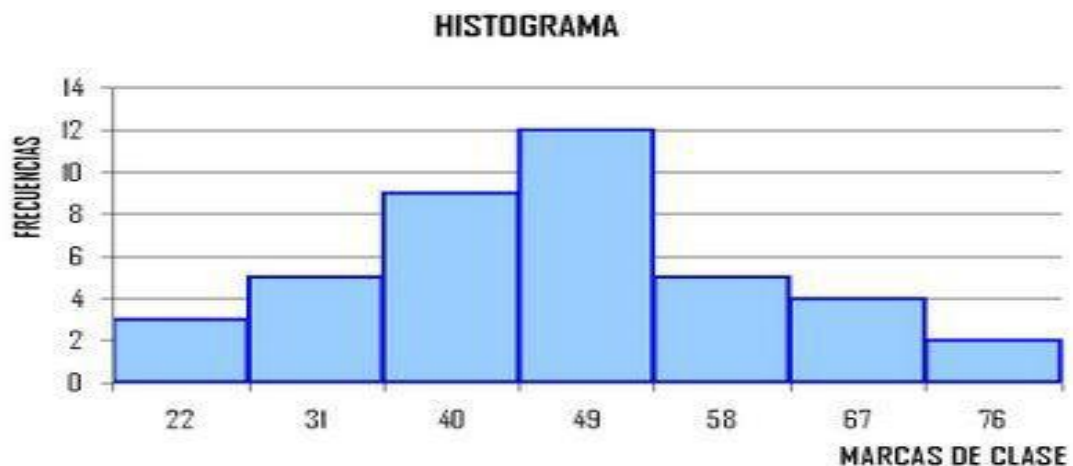


Fuente: Monografía .com

Histograma de frecuencias.

Un histograma de frecuencias es una representación gráfica de barras o rectángulos continuos, cuyas bases son los límites reales de clase y las alturas están dadas por las frecuencias absolutas (f_i) o relativas (h_i) estas pueden ser representadas gráficamente de la siguiente manera:

Figura 2.29 Histograma de Frecuencias



Fuente: Monografía .com

Cálculo de la distribución normal.

Para poder entender el concepto de la distribución normal, debemos tener en cuenta algunos conceptos importantes los cuales se detallan a continuación:

a) Variable Aleatoria.

Es una función que asigna un número real a cada resultado en el espacio muestral de un experimento aleatorio. Es decir, es razonable modelar el rango de los valores posibles de la variable aleatoria con un intervalo de números reales.

b) Distribución de Probabilidad o Distribución de una Variable Aleatoria X.

Es una descripción del conjunto de valores posibles de X (f_x) junto con la probabilidad asociada con cada uno de estos valores, siendo este el resumen más útil de un experimento aleatorio. En la presente tesis la probabilidad sería que los resultados lleguen a obtener la resistencia de diseño.

Distribución binomial.

En este caso la variable aleatoria es el conteo del número de ensayos que cumplen con un criterio específico, por lo que es razonable suponer que todos los ensayos que conforman el experimento aleatorio son “independientes”, esto quiere decir que el resultado obtenido en un ensayo no tiene ningún efecto sobre el resultado obtenido en un segundo ensayo, por lo tanto, la probabilidad de éxito en cada ensayo es constante. Este tipo de distribución tiene solo dos resultados finales (el éxito o el fracaso).

Distribución normal o distribución de Gauss.

La distribución más usada para moldear experimentos aleatorios es la distribución normal, considerando el concepto básico de una variable aleatoria binomial que nos permite proporcionar aproximaciones a las probabilidades binomiales, tal que puede mostrarse un experimento aleatorio que está formado por una serie de ensayos independientes, donde cada uno da como resultado un valor observado de la variable aleatoria en particular.

Entonces la variable aleatoria que representa el resultado promedio de los ensayos tiende hacia una distribución con una función de densidad correspondiente a la siguiente función:

$$f_X = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-u)^2}{2\sigma^2}} \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

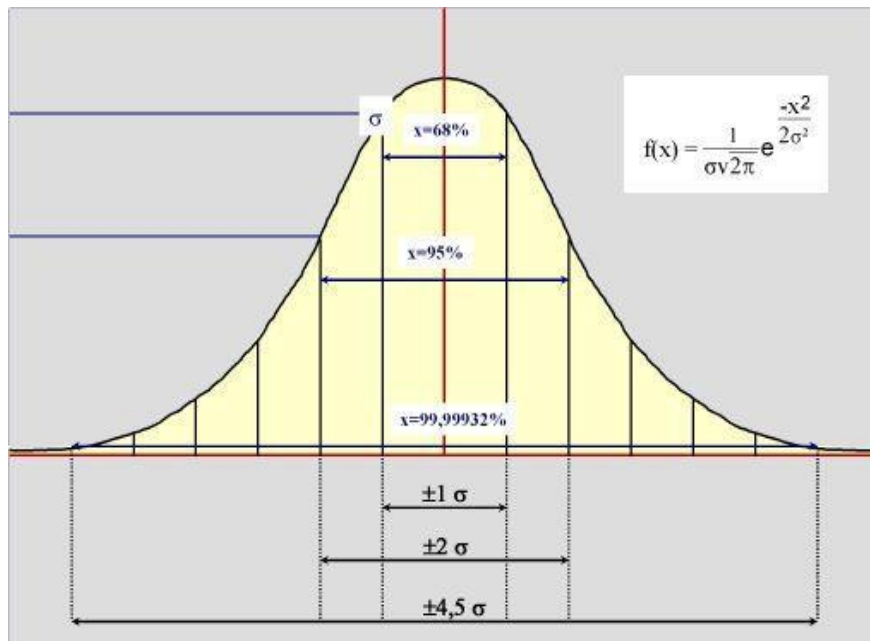
σ : Desviación Estándar, es una medida de dispersión de la resistencia a la compresión $F'c$ alrededor de la media.

X : Variable Aleatoria, ($F'c$ de cada prueba).

U : Media, nos proporciona una idea del lugar donde están concentrados los valores que toma la variable x ($F'c$ de cada prueba).

σ^2 : Varianza, expresa cualitativamente la dispersión alrededor de la media, mide la variabilidad alrededor de la media.

Figura 2. 30 Distribución de Gauss



Fuente: Monografía .com

2.9.2 PRUEBA DE HIPÓTESIS

La hipótesis en la estadística es una proposición que hace el investigador en base a uno o varios parámetros que permiten que ésta sea aceptada o rechazada respecto a un solo número (estimador puntual), todo el procedimiento de toma de decisiones sobre la hipótesis se llama “PRUEBA DE HIPÓTESIS”. No es posible saber con absoluta certeza la verdad o falsedad de una hipótesis estadística, pues para ello habría que trabajar con toda la población.

En la práctica se toma una muestra aleatoria de la población de interés y se utilizan los datos que contiene la muestra para proporcionar evidencias que confirmen o no la hipótesis. Si la evidencia de la muestra es inconsistente con la hipótesis planteada, entonces ésta se rechaza y si la evidencia apoya a la hipótesis planteada, entonces ésta se acepta. (Morales, 2012). Para poder utilizar la prueba de hipótesis los datos deberán representar una distribución Normal, lo cual se ha de comprobar en el Capítulo VI.

Con la finalidad de evaluar las hipótesis planteadas, se realizó la prueba de hipótesis de igualdad de dos medias y varianzas conocidas. El esquema para realizar una prueba de hipótesis acerca de un parámetro “u” es el siguiente:

a) Identificar el parámetro de interés:

Es decir, en base a qué parámetros se va a evaluar la hipótesis, pudiendo ser este parámetro la media “u” de la Población. Para el caso de esta investigación el parámetro de interés es la resistencia a la compresión promedio de cada grupo de concreto en estudio, se denotará como “u”.

b) Establecer la hipótesis nula (Ho):

La hipótesis nula no tiene alternativas de cambio, está basada en un solo valor exacto del parámetro poblacional, generalmente se construye esta hipótesis como una igualdad ($\mu_1 = \mu_2$). Sin embargo, para la comparación de dos poblaciones, como es el caso de la presente investigación se plantea la siguiente Hipótesis Nula $H_0: \mu_1 \geq \mu_2$.

c) Especificar una apropiada hipótesis alternativa (Ha):

Existen dos tipos de hipótesis alternativa; la primera de ellas es la hipótesis bilateral la cual se utiliza cuando la conclusión que se quiere obtener no implica ninguna dirección específica, y la respuesta será “no es igual a”. La segunda es la denominada hipótesis unilateral, que es la que se aplica en esta investigación, se utiliza cuando las proposiciones planteadas deben ser respondidas como “mayor que”, “menor que”, etc.

- Si $H_a: \mu_1 > \mu_2$, significa que la región crítica se encuentra en la cola superior de la distribución normal del estadístico de prueba.

- Si $H_a: \mu_1 < \mu_2$, significa que la región crítica se encuentra en la cola inferior de la distribución normal del estadístico de prueba. Para fines de esta investigación se plantea, $H_a: \mu_1 < \mu_2$.

d) Seleccionar el nivel de significancia ($\alpha = 0.05, 0.01$ o 0.10):

Los niveles de significancia más recomendados son:

$\alpha = 0.10$ con 90% de probabilidad de certeza.

$\alpha = 0.05$ con 95% de probabilidad de certeza.

$\alpha = 0.01$ con 99% de probabilidad de certeza.

El Nivel de Significancia más usual con el que se analiza los resultados de resistencia del concreto es 0.05, con el cual se determina el Z de las tablas estadísticas Este Nivel de Significancia será utilizado en todos los casos, y se calcula interpolando los siguientes valores:

Tabla 2.6 Determinación del nivel de significancia

	Puntuacion "z"	Distancia de "z" a la media	Area de la parte mayor	Area de la parte menor
De la tabla	1.64	0.4405	0.9495	0.0505
Interpolar	Z	–	0.9500	0.0500
De la tabla	1.65	0.4505	0.9505	0.0495

Fuente: Monografía .com

De donde, para un Nivel de Significancia de 0.0500, $Z = 1.645$. Este valor se utilizará para todas las pruebas de hipótesis.

e) Establecer el test estadístico o estadístico de prueba:

El Estadístico de Prueba nos va a permitir rechazar o aceptar la hipótesis planteada, en función al valor que se obtenga y al nivel de significancia.

Si se tienen dos poblaciones en estudio y se quieren comparar una con la otra, el estadístico de prueba será:

$$Z_0 = \frac{U_1 - U_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

Z0: Estadístico de prueba. (Normal).

u1: Resistencia promedio del primer grupo.

u2: Resistencia promedio del segundo grupo.

σ1: Desviación estándar del primer grupo.

σ2: Desviación estándar del segundo grupo.

n1: Cantidad especímenes del primer grupo.

n2: Cantidad de especímenes del segundo grupo.

Donde se considera que, si ambas poblaciones presentan una distribución Normal, entonces la distribución de $X_1 - X_2$, también será una distribución Normal con media $u_1 - u_2$ y varianza:

$$\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2} \quad \text{Ecuación 18.}$$

Las puntuaciones Z nos indican la dirección y el grado en que un valor individual obtenido se aleja de la media (u) en una escala de unidades de desviación estándar. (Zapata C., 2007)

f) Establecer la región de rechazo para el estadístico:

La Región de Rechazo se realiza en base a la puntuación de Z.

Si el valor calculado del test estadístico cae en la región crítica rechazar H_0 , en caso contrario no rechazar H_0 y concluir que la muestra aleatoria no proporciona evidencia para rechazarla.

En la Figura 2.30 se muestra la región de rechazo de acuerdo al planteamiento para esta investigación, dicha región se encuentra sombreada. Para la investigación se plantea:

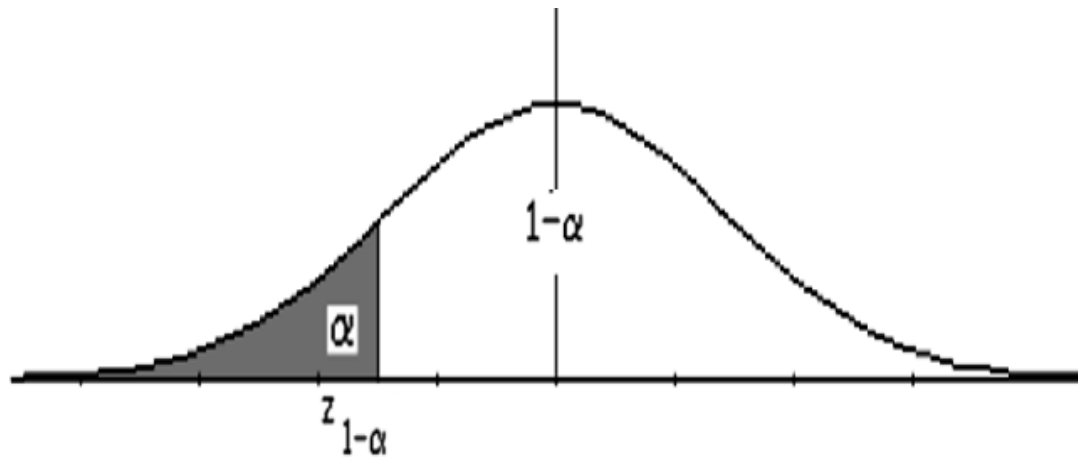
Hipótesis Nula $H_0: \mu_1 \geq \mu_2$.

Hipótesis Alternativa $H_a: \mu_1 < \mu_2$.

Entonces se rechaza la hipótesis nula, si $Z_0 < Z$ (Z adquiere valores negativos, por tratarse de una Hipótesis Alternativa unilateral con cola inferior de la distribución normal).

Figura 2. 31

Rango de aceptación y rechazo de la hipótesis nula.



Fuente: Morales, 2012

CAPITULO III

DISEÑO METODOLÓGICO

Esta investigación, según el nivel de profundidad será **descriptivo**, porque aplicaremos la normativa y metodología de laboratorio para la elaboración de un diseño de mezclas de concreto permeable para usarlo en pavimentos.

Según el tiempo de ocurrencia la investigación será **prospectiva**, puesto que se obtendrá información relativa al diseño de mezclas de concreto permeable basándonos en diferentes experiencias y procedimientos de diseño en concretos porosos en otros países, y así tener punto de partida para aplicar dichos datos en nuestra realidad.

El enfoque de este estudio será **experimental** porque se programará y ejecutará ensayos en el Laboratorio de Materiales y suelos de la Facultad tecnológica de la construcción utilizando normas técnicas vigentes acerca del tema a fin de sistematizar nuestro estudio y será **cuantitativo**, ya que se determinarán distintas combinaciones de proporciones de mezclas para medir el desempeño mecánico e hidráulico este tipo de concreto que es permeable, económico y ecológico.

El método **deductivo**, se utilizará para el abordaje de la información en las experiencias y procedimientos relacionados al diseño de mezclas de concreto permeable, que permitirá trabajar dicha metodología.

El método de **análisis**, servirá para investigar, seleccionar y procesar la información bibliográfica consultada y confeccionar el marco teórico. Asimismo, se hará uso de este método para analizar los datos obtenidos en el laboratorio de las combinaciones de mezclas de concreto permeable.

También se usará el método **estadístico** porque se empleará técnicas estadísticas de organización, tabulación y graficación de dichos datos.

El método de **síntesis**, hará posible realizara partir de la graficación e interpretación respectiva el análisis de resultados y la formulación de conclusiones, establecidas en las Normas Técnicas Peruanas, Normas Técnicas del A.C.I., Normas ASTM, Reglamento Nacional de Construcciones, Pervious Pavement Organization, National Ready Mixed Concrete examinaren Association (NRMCA), Portland Cement Pervious concrete Pavements y las conclusiones del Informe Monográfico.

Inicialmente, se usará los métodos de la normativa ASTM para determinar propiedades índices de los agregados y posteriormente se empleará el comité ACI-522-10 y estudios realizados por: Pervious Pavement Organization, National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA), Pórtland Cement Pervious Concrete Pavements; que provee métodos para proporciones en distintas combinaciones de mezclas de concreto permeable.

Luego aplicaremos normativas de la ASTM para hacer ensayos a los especímenes elaborados para verificar las características mecánicas e hidráulicas de las mezclas ver si cumplen para concreto permeable y su uso en pavimentos. Para el procesamiento de la información se usarán programas de Microsoft Office (Word, Excel, Power Point) para la revisión de la información a lo largo del trabajo de grado.

El **área de estudio** en la que se trabajará, se localiza en el Distrito 6 de la ciudad de Managua, en el laboratorio de materiales y suelos del recinto universitario Pedro Arauz Palacios (RUPAP-UNI).

3.1 VARIABLES DE ENTRADA PARA EL DISEÑO

En el diseño de mezclas de concreto permeable de todo método convencional, se desprenden las siguientes actividades:

1. Muestreo de agregados: se realizó en el plantel Agrenic se hizo conforme a la norma ASTM. D75-03 "Practica estándar para muestreo de agregados".
2. Se realizaron ensayos de laboratorio a los agregados a utilizar en el diseño de la mezcla, dichos ensayos bajo las normas ASTM son los siguientes:
 - ✓ ASTM C702-03 "Práctica Estándar para Reducción de las Muestras de Agregado a Tamaños de Prueba.
 - ✓ ASTM C136-06 – Método de Ensayo Estándar para Análisis por Malla de Agregados Grueso y Fino.
 - ✓ ASTM C29-03 – Método de Ensayo Estándar para Densidad Bruta (Peso Unitario) y Vacíos en los Agregados.
 - ✓ ASTM C127-07 – Método de Ensayo Estándar para Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica), y Absorción del Agregado Grueso
 - ✓ ASTM C566-04 – Método de Ensayo Estándar para Contenido de humedad total del agregado por secado.
3. Se diseñaron 7 mezclas de 15 especímenes cilíndricos y 15 especímenes prismáticos cada una con diferentes combinaciones de porcentajes de vacíos (18%,20%) y relaciones agua/ cemento (0.32, 0.35, 0.38,) para obtener el diseño base de mejor comportamiento.

4. Al diseño base se le adiciono dos tipos de fibra de polipropileno una de: 4mm x 20mm x 0.10mm y la otra de: 2mm x 10mm x 0.10mm en diferentes porcentajes con respecto al peso de la mezcla (0.075%,0.1%,0.2%) elaborando 6 mezclas de 15 especímenes cilíndricos y 15 especímenes prismáticos cada una.

5. De los diseños mencionados se tomó el diseño con fibra de polipropileno de mejor comportamiento para mejorar sus propiedades con aditivo plastificante reductor de agua diseñando 2 mezclas de 15 especímenes cilíndricos y 15 especímenes prismáticos y así obtener el diseño óptimo para pavimento.

6. De acuerdo a lo anterior se elaboraron un total de 550 especímenes que pasaran por un proceso de curado para sus respectivos ensayos tanto mecánicos (compresión y flexión) como hidráulicos (taza de infiltración).

CAPITULO IV

PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

4.1 ESTUDIO Y UBICACIÓN DEL BANCO DE MATERIALES

Los agregados usados en este trabajo fueron extraídos del banco de materiales Veracruz, se optó por este banco porque estos agregados son los más utilizados en obras civiles en la ciudad de Managua, por ser accesibles, cercanos y de buena calidad.

Figura 4.1 Ubicación del banco de materiales Veracruz



Fuente: Propia

Km. 14 Carretera Masaya 9 Kms. hacia el este. Carretera hacia Veracruz

4.2 ENSAYOS REALIZADOS EN LOS AGREGADOS

Los ensayos mencionados a continuación se realizaron basándose en la Norma de Ensayo de Materiales (ASTM), y se hicieron al agregado grueso extraído del banco de materiales antes mencionado.

4.2.1 CONTENIDO DE HUMEDAD

Este ensayo se realizó de acuerdo a la norma ASTM D2216 “MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO”.

$$W = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso seco del suelo}} \times 100 \quad \text{Ecuación 19.}$$

4.2.2 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS GRUESOS.

El presente ensayo se realizó de acuerdo a la norma ASTM C127. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS GRUESOS.

Se calcula con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{B-C} \quad \text{Ecuación 20.}$$

$$\text{Peso específico aparente (S. S. S)} = \frac{B}{B-C} \quad \text{Ecuación 21.}$$

$$\text{Peso específico nominal} = \frac{A}{A-C} \quad \text{Ecuación 22.}$$

$$\text{Absorción} = \frac{B-A}{A} \times 100 \quad \text{Ecuación 23.}$$

Donde:

A: Peso al aire de la muestra seca al horno. (gr.)

B: Peso de la muestra S.S.S. (gr.)

C: Peso en el agua de la muestra saturada. (gr.)

Cálculos

Tabla 4. 1 Datos del ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso

Peso de la muestra secada al horno (gr.).....A	3448.62
Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr.)...B	3500.00
Peso sumergido de la canastilla	0.00
Peso sumergido de la canastilla + Muestra SSS (gr.)	2271.92
Peso sumergido en agua de la muestra saturada (gr.).....C	2271.92

Fuente: Elaboración propia

Resultados

Tabla 4.2 Resultado del peso específico y absorción del agregado grueso

Peso específico y absorción	
Peso específico aparente	2.81 gr/cm ³
Peso específico aparente S.S.S.	2.85 gr/cm ³
Peso específico nominal	2.93 gr/cm ³
Absorción	1.49 %

Fuente: Elaboración propia

4.2.3 PESO UNITARIO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO GRUESO USO No 8

Este ensayo nos permite conocer el peso unitario del agregado en su condición compactada o suelta y calcular los vacíos entre las partículas en una masa de agregado grueso, el tamaño del agregado tiene que estar por debajo de 5 pulgadas (125mm). Se realizó de acuerdo a en la norma ASTM C29 PESO UNITARIO Y VACÍOS DE LOS AGREGADOS.

Cálculos

Agregado grueso normalizado (huso N° 8)

Tabla 4.3 Peso unitario suelto del agregado grueso normalizado

AGREGADO GRUESO NORMALIZADO (HUSO N° 8)			
Molde No.	I	II	III
Peso del molde gr..... (A)	2870.00	2870.00	2870.00
Peso de molde + Muestra gr... (B)	10610.00	10610.00	10635.00
Peso de la muestra gr..... (B-A)	7740.00	7740.00	7765.00
Volumen de molde cm3.....(C)	5228.00	5228.44	5228.00
Peso unitario gr/cm3.....((B-A)/C)	1.480	1.482	1.485
Peso unitario suelto kg/m3	1482		
Peso unitario suelto gr/cm3	1.482		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.4 Peso unitario compacto del agregado grueso normalizado

AGREGADO GRUESO NORMALIZADO (HUSO N° 8)			
Molde No.	I	II	III
Peso del molde gr..... (A)	2870.00	2870.00	2870.00
Peso de molde + Muestra gr... (B)	11380.00	11420.00	11390.00
Peso de la muestra gr..... (B-A)	8510.00	8550.00	8520.00
Volumen de molde cm3.....(C)	5228.00	5228.00	5228.00
Peso unitario gr/cm3.....((B-A)/C)	1.628	1.635	1.630
Peso unitario compacto kg/m3	1631		
Peso unitario compacto gr/cm3	1.631		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.5 Porcentajes de vacío del agregado suelto

AGREGADO GRUESO	
Molde Nro.	I
Peso específico aparente gr/cm ³ (A)	2.81
Peso unitario suelto gr/cm ³ (B)	1.48
Peso unitario del agua (1gr/cm ³)..... (W)	1.00
% Vacíos del agregado suelto..... $((A*W)-B)*100/A*W$	47.33

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.6 Porcentajes de vacío del agregado compacto

AGREGADO GRUESO	
Molde Nro.	I
Peso específico aparente gr/cm ³ (A)	2.81
Peso unitario compactado gr/cm ³ (B)	1.63
Peso unitario del agua (1gr/cm ³)..... (W)	1.00
% Vacíos del agregado suelto..... $((A*W)-B)*100/A*W$	41.99

Fuente: Elaboración propia

4.2.4 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO USO No 8

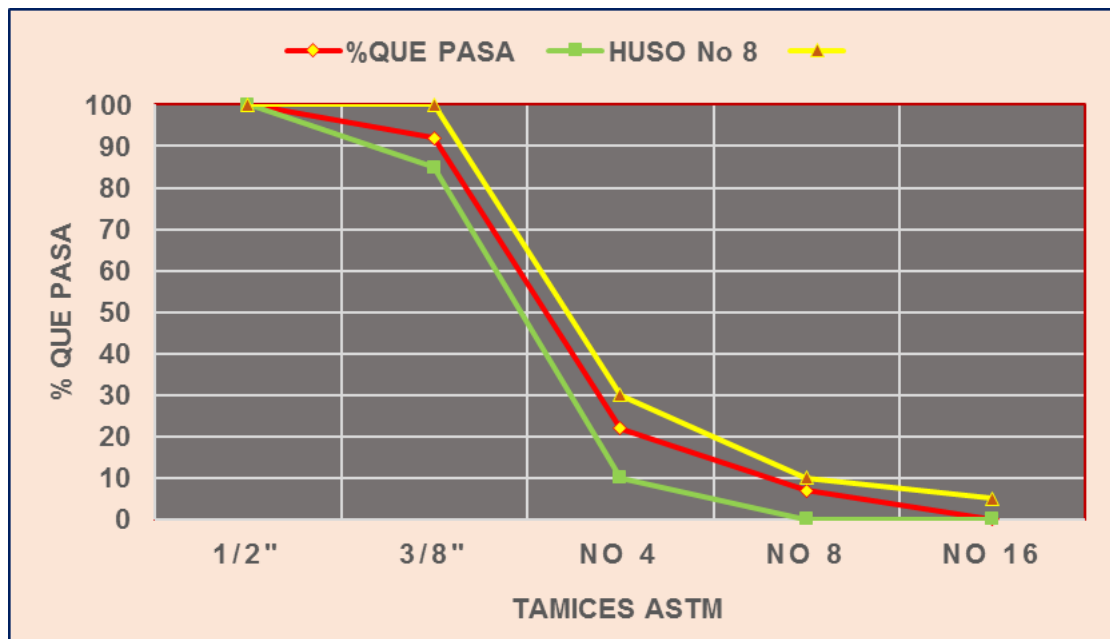
El presente ensayo se realizó de acuerdo a la norma ASTM C136; ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS.

Tabla 4.7 Tabla de clasificación para el Agregado grueso normalizado, ASTM C33

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	% RET. PARCIAL	% RET. ACUMULADO	% QUE PASA	HUSO N° 8 MIN %	MAX %
1/2"	12.700	0.00	0.00	100.00	100	100
3/8"	9.525	8.00	8.00	92.00	85	100
No 4	4.760	70.00	78.00	22.00	10	30
No 8	2.380	15.00	93.00	7.00	0	10
No 16	1.190	7.00	100.00	0.00	0	5

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.2 Curva granulométrica Uso No 8.



Fuente: Elaboración propia

4.2.5 ABRASIÓN LOS ÁNGELES (L.A.) AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 MM (1 1/2")

Ensayo que permite determinar la resistencia que presenta el agregado grueso frente al desgaste abrasivo empleando por la Máquina de los Ángeles.

Se realizó de acuerdo a la norma ASTM C131.ABRASION LOS ANGELES (L.A.) AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5mm (1½").

Figura 4.3 Muestra de agregado grueso introducido en la máquina de Los Ángeles



Fuente: Elaboración propia

El resultado del ensayo (% desgaste) recibe el nombre de coeficiente de desgaste de Los Ángeles. Calculándose tal valor así:

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{100 \times (P_1 - P_2)}{P_1} \quad \text{Ecuación 24.}$$

Donde:

P₁= Peso muestra seca antes del ensayo.

P₂= Peso muestra seca después del ensayo, previo lavado sobre tamiz de 1.70 mm (No. 12).

Cálculos

Tabla 4.8 Datos de abrasión de los agregados gruesos

TIPO DE AGREGADO	MÉTODO C		W. FINAL 500 REVOLUCIONES
	W. INICIAL 3/8" – 1/4"	W. INICIAL 1/4" – No 4	
A. G. USO No 8	2500	2500	4087

Resultados:

Tabla 4.9 Resultados del ensayo abrasión los ángeles

Descripción	%
% Desgaste A. grueso Natural (500 revoluciones)	18.26

Basada en la normativa de las Especificaciones Generales para la construcción de caminos, calles y puentes (NIC-2000) en la sección 1003 el agregado grueso de acuerdo con AASHTO M80 para la prueba de la determinación a la resistencia al desgaste por el método de la máquina de Los Ángeles el máximo valor de desgaste es del 40% al 50% por lo tanto nuestra muestra se puede utilizar para la elaboración de obras civiles.

CAPITULO V

DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO PERMEABLE

Una vez que se conocen las propiedades inherentes de cada uno de los componentes del concreto permeable, es necesario que éstos se combinen en proporciones adecuadas para cumplir con las especificaciones solicitadas (resistencia a la flexo-compresión y permeabilidad), y tener un comportamiento eficiente ante las condiciones a las que estará expuesto.

El diseño de mezclas del concreto permeable se asemeja al diseño de mezclas del concreto convencional por el método del ACI, ambos utilizan cuadros obtenidos empíricamente de ensayos realizados, sin embargo, en cuanto a los alcances de ambos diseños son totalmente diferentes.

Para obtener el diseño de mezcla de nuestro concreto no convencional, se tuvo en cuenta la Guía para la Selección de Proporciones para Concretos con Cero Slump (Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete, ACI 211.3R), el procedimiento de diseño que brinda el Reporte en Concreto Permeable (Report on Pervious Concrete, ACI 522R-10) y la NRMCA en la cual brinda el método de diseño, consideraciones y tablas empíricas necesarias para el proporcionamiento de materiales.

5.1 METODOS DE DISEÑO

5.1.1 SEGÚN ACI 522-10 – REPORTE SOBRE CONCRETO PERMEABLE

El proceso para desarrollar una proporción de mezcla de concreto permeable usualmente es de prueba y error. Por ejemplo, una serie de bachadas de prueba puede desarrollarse en laboratorio y ser ensayada en campo para asegurarse del comportamiento y funcionamiento deseado.

En general la filosofía principal del proporcionamiento del diseño de mezcla para concreto permeable es lograr un balance entre vacíos, resistencia, contenido de pasta y trabajabilidad.

El capítulo 6 del Comité ACI 522-10 provee métodos para proporciones de concreto permeable que pretende ser utilizado para pavimentos y otras aplicaciones donde el drenaje, filtración y alta porosidad es requerida. Los resultados de las bachadas de prueba pueden ser modificados para esperar alcanzar mejores resultados en la producción final.

Básicamente el comité ACI 522 se apoya en el trabajo desarrollado por el comité ACI 211.3-02 en su apéndice N° 6.

El procedimiento para producir bachadas de prueba iniciales para concreto permeable se muestra en la sección 6.7.1 del comité ACI 522-10 "Reporte sobre Concreto Permeable" el método b/bo aplica conceptos de volúmenes absolutos. Independientemente de cómo se obtiene la bachada de prueba, es esencial ensayarlo para propiedades requeridas tanto en estado fresco como endurecido antes de ser colocado para los usos con que se ha destinado.

El Método b/bo para diseñar mezclas de concreto permeable puede ser dividido en una serie de ocho pasos:

- 1) Determinación del peso del agregado;
- 2) Ajustar el peso en estado Saturado Superficialmente Seco (SSS);
- 3) Determinación del volumen de la pasta;
- 4) Determinación del contenido cementante;
- 5) Determinación del contenido de agua;
- 6) Determinación del volumen sólido;
- 7) Evaluar el contenido de vacíos; y
- 8) Bachadas de prueba iterativas:

- a. Ensayo para propiedades requeridas; y
- b. Ajuste de proporciones de mezcla hasta que se logre el rendimiento requerido.

5.1.2 SEGÚN LA NRMCA - NATIONAL READY MIXED CONCRETE ASSOCIATION

1. Determinar el peso unitario seco varillado del agregado y calcular su porcentaje de vacíos, esto según la norma ASTM C-29.
2. Estimar un aproximado del porcentaje de pasta necesaria.
3. Calcular el volumen de pasta.
4. Seleccionar la relación agua cemento de la pasta.
5. Calcular el volumen absoluto de cemento.
6. Calcular el volumen de agua.
7. Calcular el volumen de agregado superficie saturada seca.
8. Convertir los volúmenes a pesos de los materiales por metro cúbico.

5.2 CRITERIOS DE DISEÑO DE MEZCLAS

Para el concreto permeable, las relaciones agregado-cemento (A^G/C) y agua-cemento (A/C) son las principales variables que afectan a las propiedades mecánicas del mismo. Se ha considerado aceptable un amplio rango de valores de relaciones a/c, dependiendo de la aplicación específica.

La tabla 5.1 muestra los rangos típicos del proporcionamiento de materiales en el concreto permeable y son solo valores de referencia.

Tabla 5.1 Rangos típicos del proporcionamiento de materiales en el concreto permeable.

Parametro	Rango
Material cementante kg/cm ³	270 a 415
Agregado kg/cm ³	1190 a 1480
Relacion agua-cemento en peso	0.26 a 0.45
Relacion agregado-cemento en peso	4 a 4.5:1
Relacion agregado fino-agregado grueso en peso	0 a 1:1

Fuente: Tennis et al., 2004.

Para obtener el diseño de mezcla de nuestro concreto no convencional, nos basamos en los métodos de diseño antes mencionado.

5.2.1 RELACIÓN AGUA-CEMENTO (A/C)

La relación a/c tiene un gran efecto en las propiedades de la mezcla obtenida. Si se utiliza una cantidad deficiente de agua se obtendrá como resultado una mezcla sin consistencia y con una baja resistencia a la compresión. Una cantidad excesiva de agua ocasionará que la pasta selle los espacios vacíos de la mezcla, lavando además los áridos dejándolos expuestos, y por consiguiente tendrán baja resistencia al desgaste. En el concreto permeable, el contenido de agua óptima produce una pasta de cemento totalmente húmeda con una alta viscosidad. Esta mezcla tendrá un aspecto metálico mojado o con brillo.

La elección de la relación a/c óptima depende principalmente de la gradación y las características físicas de los agregados gruesos y del volumen de materiales cementantes de la mezcla. En el concreto permeable, la relación a/c para obtener la trabajabilidad necesaria por lo general cae dentro del rango de 0,26 a 0,45. La trabajabilidad del concreto permeable se supone que es satisfactoria si el agua suficiente mezcla se utiliza para impartir un aspecto metálico a la mezcla.

Al comprimir y soltar un puñado de la mezcla, esta no se deberá desmoronar ni la pasta debe fluir lejos de las partículas de agregado. La consistencia correcta se obtiene normalmente a través de un proceso de inspección, que asegura que cada mezcla contiene cemento suficiente pasta para recubrir las partículas gruesas con una película brillante, dándole un brillo metálico.

En la figura 5.1 se muestran tres muestras de concreto permeable con diferentes cantidades de agua, y apariencias diferentes (poca, adecuada y excesiva agua)

Figura 5. 1 Muestras de concreto permeable con diferentes cantidades de agua: (a) con poca agua, (b) adecuada cantidad de agua, (c) con demasiada agua.



(a)

(b)

(c)

Fuente: NRMCA

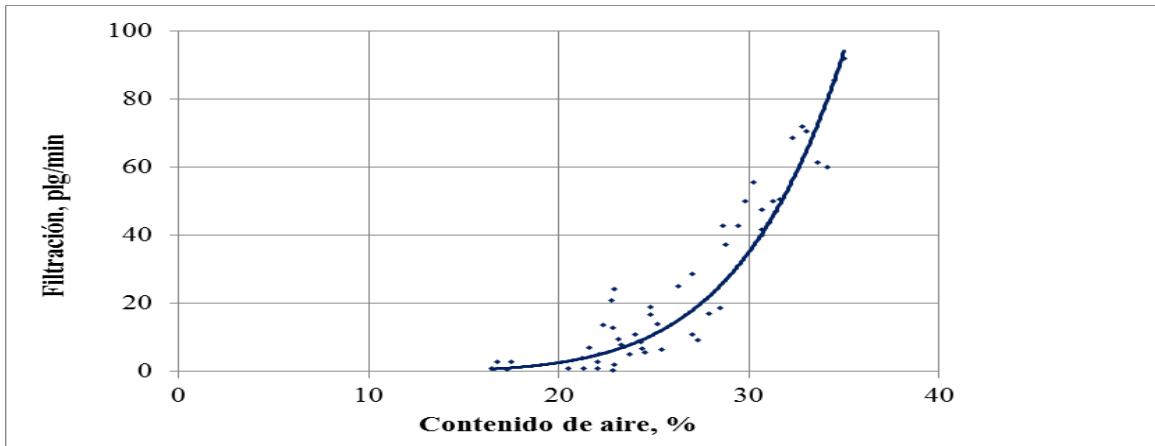
5.2.2 RELACIÓN AGREGADO-CEMENTO

Las relaciones agregado-cemento AG/C en general varían entre 4:1 a 4.5:1, pero ésta relación depende fundamentalmente del tipo de agregado. Tanto la relación agua-cemento y la relación agregado-cemento deben satisfacer las características de permeabilidad, capacidad de carga y durabilidad.

5.2.3 ELECCIÓN DEL PORCENTAJE DE VACÍOS

La elección del porcentaje de vacíos depende de la velocidad de filtración de agua pluvial requerida, la cual se determina por la intensidad de evento de diseño (para un periodo de retorno y duración de evento), obtenido por datos históricos de precipitación en el lugar donde se colocará el pavimento permeable. La Figura 5.2 muestra la relación entre el contenido de vacíos y la tasa de filtración de una mezcla de concreto permeable.

Figura 5.2 Relación entre el contenido de aire y la tasa de filtración



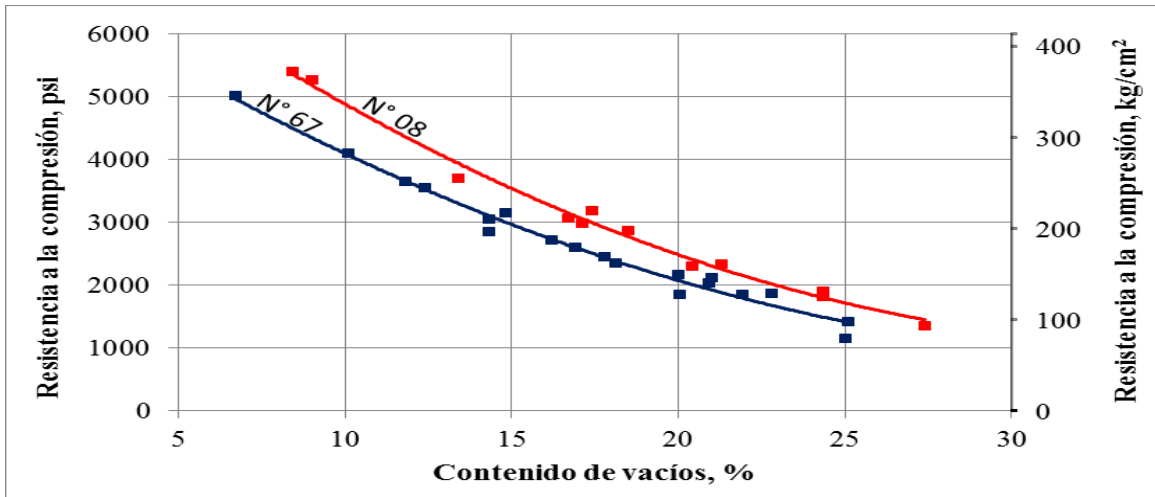
Fuente (Adaptado de: ACI 522R-10, ACI 211.3R-02)

5.2.4 ELECCIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE DISEÑO.

Luego de haber determinado el porcentaje de vacíos, se puede suponer la resistencia a compresión de acuerdo a la gráfica de la figura 5.3.

En este gráfico podemos observar los valores de resistencia a la compresión desarrollados a los 28 días por testigos de concreto permeable elaborados con dos tamaños estándar de agregado gruesos: No 08 y No 67.

Figura 5.3 Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la compresión a los 28 días para tamaños de agregados No. 67 y No. 8



Fuente (Adaptado de ACI 522-10, ACI 211.3R-02).

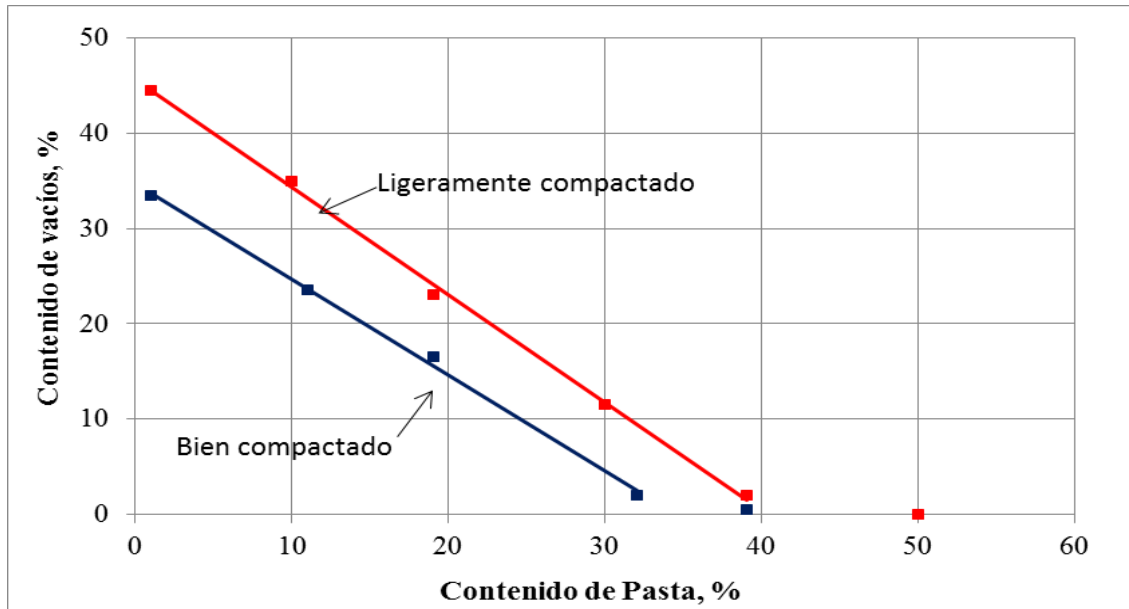
En la Figura 5.3 se observa que para un contenido de vacíos mínimo recomendado (15%) los valores de resistencia a la compresión desarrollados por testigos de concreto permeable elaborados con agregados gruesos de tamaños No 8 y No 67; varían alrededor de 210 kg/cm². De esta manera podemos obtener valores de resistencias a compresión referenciales para el diseño.

5.2.5 DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE PASTA

Luego de haber verificado las resistencias a compresión referenciales, se procede a calcular el volumen de pasta de acuerdo al (ACI 522R-10 y ACI-211.3R-02), en el cual, a partir del contenido de vacíos elegido, podemos obtener el porcentaje del volumen de pasta en la mezcla.

La figura 5.4 muestra la relación entre el contenido de vacíos y el volumen de pasta necesario para concretos permeables elaborados con tamaño de agregado grueso No. 8.

Figura 5.4 Relación entre el porcentaje de vacíos y el contenido de pasta para tamaños de agregados No. 8



Fuente (Adaptado de ACI 522-10, ACI 211.3R-02).

Una vez determinado el volumen de pasta necesario, se determinan los pesos de cemento y agua por metro cúbico de mezcla, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$V_P = V_c + V_a \quad \text{Ecuación 25.}$$

Donde:

V_p: Volumen de pasta.

V_c: Volumen de cemento.

V_a: Volumen de agua.

La ecuación puede ser expresada como:

$$V_P = \frac{c}{P.E_c} + \frac{a}{P.E_a} \quad \text{Ecuación 26}$$

Donde:

c: Peso del cemento por m³ de mezcla.

a: Peso del agua por m³ de mezcla.

P.E.c: Peso específico del cemento.

P.E.a: Peso específico del agua.

Considerando que el peso específico del cemento y agua son 3.15 y 1.00 respectivamente, se tiene:

$$V_P = \frac{c}{3.15 \times 1000} + \frac{a}{1.00 \times 1000} \quad \text{Ecuación 27}$$

Con la relación a/c, obtenemos:

$$V_P = \frac{c}{3.15 \times 1000} + \frac{\frac{a}{c} \times c}{1.00 \times 1000} \quad \text{Ecuación 28}$$

Cuando el agregado fino es utilizado, el volumen de pasta debe ser reducido en 2% por cada 10% del agregado fino del total del agregado para concreto permeable bien compactado y por cada 1% por cada 10% del agregado fino del total del agregado para concreto permeable ligeramente compactado. (ACI 211.3R-02). Estas reducciones son utilizadas para mantener el mismo porcentaje de vacíos por volumen.

5.2.6 ELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA-CEMENTO

En cuanto a la relación agua-cemento a/c, el reporte ACI 211.3R-02, recomienda utilizar una relación a/c entre 0.35 a 0.45; los que aseguran que la pasta recubra por completo todos los áridos, uniéndolos de tal forma que no comprometan la formación de poros y por ende su permeabilidad.

Un exceso de agua puede generar el colapso del sistema de poros que son lo más importante en este tipo de concreto ya que ellos son los que permiten el paso del agua. Un déficit de agua produce una ligadura deficiente entre los áridos.

5.2.7 MÉTODO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS Y CORRECCIÓN

Una vez obtenido el porcentaje de vacíos, volumen de pasta, y la relación agua/cemento, se calcula la cantidad de cada material convirtiendo a un volumen absoluto por metro cubico en estado Saturado Superficialmente Seco (SSS) como se realiza en el concreto convencional, se corrige luego por humedad y se obtiene la cantidad de materiales por metro cubico para el diseño.

5.2.8 CORRECCIÓN POR HUMEDAD Y ABSORCIÓN

El Contenido de Humedad, se refiere a la condición actual del agregado que por motivo de exposición al ambiente ha podido perder o ganar agua; el porcentaje de Absorción es la capacidad que tiene el agregado de absorber agua, entonces si al contenido de humedad (condición presente en el vaciado) se le resta el porcentaje de absorción (capacidad de absorber agua), estamos conociendo la cantidad de agua que el agregado va absorber durante el vaciado, por la tanto, se sabe de la cantidad de agua que debemos retirar o adicionar del seco para corregirlo, teniendo:

$\%CH > \% Abs$: Se retira Agua en el diseño SSS.

$\%CH < \% Abs$: Se adiciona Agua en el diseño SSS.

5.2.9 COMPACTACIÓN DE LOS ESPECIMENES.

Debido a las características especiales de esta tipología de concreto, se debe realizar un proceso de compactación adecuado para obtener la densidad y resistencia mínimas esperadas.

Para el caso del moldeo de los cilindros y vigas en el laboratorio se utilizó un mazo de Proctor estándar ASTM (D698-91) AASHTO (T99-90) con un peso de 2,5kg (5.5lbs) a una altura de 305 mm, específicamente se rescató la ecuación para el cálculo de los volúmenes e índices de compactación de la NRMCA, y el resto se mantiene como el ACI; esto sumado claro a que los índices de compactación fueron calculados, ya que ninguna de las dos metodologías era lo suficientemente específica en el tema de la compactación del material.

El valor de IC puede variar en función de la consolidación prevista que se utilizará en el campo. Para un mayor esfuerzo de consolidación un valor del índice de compactación del 1% al 2% puede ser más razonable. Para un nivel de consolidación más ligero se puede utilizar un valor del 7 al 8%. El NRMCA utilizó un valor del 5% para obtener valores similares entre el contenido de vacíos del concreto fresco permeable medido (ASTM C1688) y el contenido de huecos de diseño.

El uso de un valor menor para IC (%) reducirá el volumen de la pasta. Para efectos de la metodología de diseño propuesta se rescata este punto, se procedió a definir índices propios relacionando cada uno de estos con una energía de compactación aproximada.

El IC se calcula con la siguiente ecuación:

V_p (%)=contenido de vacíos total (%) + **IC** (%) - contenido de vacíos de diseño.
Ecuación 29.

Donde:

V_p es volumen de pasta

IC es índice de compactación

Esto se consiguió modificando la energía de compactación e índices de varios diseños y realizando la prueba ASTM C1688 (ver anexo) para determinar el contenido de vacíos de cada uno de estos diseños de prueba.

La energía aplicada se calcula con la siguiente ecuación:

$$E_c = \frac{N \cdot n \cdot W \cdot h}{v} \quad \text{Ecuación 30}$$

En esta investigación la energía de compactación en las mezclas vario de 42.74 KN*m/m³ a 106 KN*m/m³ (8 golpes a 20 golpes en cada capa por cuatro capas). Esto nos permitió obtener valores similares entre el contenido de vacíos del concreto fresco permeable medido con (ASTM C1688) y el de diseño.

5.3 VARIABLES EXPERIMENTALES

Las variables independientes consideradas fueron el porcentaje de vacíos y la relación agua/cemento (a/c) de la mezcla. Según la literatura existente, las mezclas permeables deben tener como mínimo un 15% de vacíos. Sin embargo, también es muy importante la tasa de infiltración de las mezclas. Las mismas investigaciones permiten establecer que asociado a un 15% de huecos se encuentra una tasa de infiltración cercana a 0.35 cm/s (Meininger, 1988).

Este valor, será considerado en este trabajo como la mínima tasa de infiltración aceptable para considerar como permeable a una mezcla. Adicionalmente, las mezclas con un contenido de huecos entre 15 y 20% permiten obtener mezclas con una adecuada resistencia y permeabilidad (Meininger, 1988).

Por esta razón, se escogió utilizar concretos con 18% y 20% de vacíos, con el fin de analizar el efecto de esta variable sobre la resistencia y permeabilidad de las mezclas.

La variable a/c se fijó en 0.32, 0.35 y 0.38 para evaluar cada una de ellas con diferentes dosificaciones de mezclas de concreto permeable y obtener la mezcla idónea.

5.4 MATERIALES A USARSE EN EL DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE

Cemento:

Se ha optado por trabajar con Cemento Portland tipo GU (ASTM C150) marca HOLCIM, por ser éste de uso general para obras sin especificaciones particulares, y la marca HOLCIM por ser esta comercial en la ciudad de Managua. El peso específico fue considerado como 3.15 gr/cm³ tal como se ha analizado en diferentes laboratorios del país.

Agregados:

Se utilizó agregado proveniente del banco de materiales Veracruz, utilizando el tamaño estándar N° 08 (3/8") según (ASTM C 33) ver anexo.

Agua:

Se usó agua potable de la Ciudad de Managua.

Tiras de Polipropileno:

Se utilizó dos tipos de tiras de plástico (polipropileno) de dimensiones (2 mm x 10 mm y 4mm x 20 mm) en diferentes porcentajes (0.075,0.1, 0.2) y se escogió la de mejor comportamiento.

Glenium

Se usó Glenium 7500 aditivo reductor de agua/plastificante con una dosis de 4.2 ml/kg de cemento para una mezcla permeable con agregado de No. 8 (3/8") y 18% de vacíos.

5.5 SISTEMA DE DOSIFICACIÓN

Se fabricarán 14 mezclas de concreto permeable, distribuidas de la siguiente manera:

Dos mezclas con relación A/C 0.32

- ✓ Concreto permeable con agregado No. 8 (3/8"), 18% de vacíos.
- ✓ Concreto permeable con agregado No. 8 (3/8"), 20% de vacíos.

Dos mezclas con relación A/C 0.35

- ✓ Concreto permeable con agregado No. 8 (3/8"), 18% de vacíos.
- ✓ Concreto permeable con agregado No. 8 (3/8"), 20% de vacíos.

Tres mezclas con relación A/C 0.38

- ✓ Concreto permeable con agregado No. 8 (3/8"), 18% de vacíos.
- ✓ Concreto permeable con agregado No. 8 (3/8"), 20% de vacíos.
- ✓ Concreto permeable con agregado No (3/8), 18% y 510 kg de cemento.

Una mezcla con 0.075% de tiras de 2 mm x 10 mm

- ✓ Concreto permeable con agregado No. 8 (3/8"), 18% de vacíos.

Una mezcla con 0.1% de tiras de 2 mm x 10 mm

- ✓ Concreto permeable con agregado No. 8 (3/8”), 18% de vacíos.

Una mezcla con 0.2% de tiras de 2 mm x 10 mm

- ✓ Concreto permeable con agregado No. 8 (3/8”), 18% de vacíos
- ✓

Una mezcla con 0.075% de tiras de 4 mm x 20 mm

- ✓ Concreto permeable con agregado No. 8 (3/8”), 18% de vacíos

Una mezcla con 0.1% de tiras de 4 mm x 20 mm

- ✓ Concreto permeable con agregado No. 8 (3/8”), 18% de vacíos

Una mezcla con 0.2% de tiras de 4 mm x 20 mm

- ✓ Concreto permeable con agregado No. 8 (3/8”), 18% de vacíos

Dos mezclas con tiras de 4 mm x 20mm y 4.2 ml/kg de Glenium 7500

- ✓ Concreto permeable con agregado No. 8 (3/8”), 18% de vacíos y 0.1% de tira con 2 mm x 20 mm.

5.6 CALCULOS DEL DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE

A continuación, se describen detalladamente los proporcionamiento de cada una de las mezclas descritas anteriormente, las cuales se basaron en el procedimiento descrito en ACI 211.3R-02 y ACI 522R-10y la NRMCA.

Datos Iniciales:

Materiales:

- ✓ Agregado: Banco de materiales de préstamo Veracruz

Tabla 5.2 Propiedades del agregado grueso Uso No 8.

Propiedad	Agregado grueso Huso No 8		Unid.
Tamaño máximo nominal	TMN	1/2"	
Peso específico	Pe	2.81	kg/m ³
Peso específico SSS	Pe (sss)	2.85	gr/cm ³
Peso unitario suelto	Pus	1482	kg/m ³
Peso unitario compacto	Puc	1631	kg/m ³
Absorción	a%	1.49	%
Contenido de humedad	C.H. %	0.00	%

Fuente propia

Cemento: Holcim tipo GU

Agua: Agua Potable – Ciudad Managua

Tabla 5.3 Propiedades del agua y cemento

Propiedad		Valor	Unidad
Peso específico del cemento	Pec	3.15	gr/cm ³
Peso específico del agua	Pew	1.00	gr/cm ³

Fuente propia

Criterios de Diseño:

- ✓ Nivel de Compactación del C°P°: Ligeramente Compactado (**)

(**) Se considera un ligero compactado, debido a que este nivel de compactación permite tener un mayor contenido de pasta en la mezcla.

Agregado fino: No contiene.

5.6.1 DISEÑO DE MEZCLA No 1

Datos Externos:

Paso 1 y 2: Elección de la filtración requerida y contenido de vacíos de diseño.

De acuerdo al segundo objetivo específico de la investigación, el cual es determinar el diseño de mezcla del concreto permeable idóneo, para la incorporación de tiras de polipropileno, se plantea la utilización de tamaños de agregados gruesos recomendados por las normas ACI 211.3R-02 y ACI 522R-10.

Nos referimos al tamaño estándar de agregados gruesos N° 8 o sea 3/8 (ASTM C 33), el cual es la gradación de menor tamaño, con el cual, según el ACI, se obtienen concretos permeables que desarrollan mayores resistencias a la compresión, con contenido de vacíos mínimos que brindan coeficientes de permeabilidad aceptables.

Las mezclas permeables que desarrollan mayores valores de resistencia a la compresión deben tener como mínimo un 15% de vacíos para garantizar una adecuada permeabilidad. Por lo tanto, se consideró en el presente trabajo el valor de 18 y 20% de contenido de vacíos para determinar cuál presento mayor resistencia y así incorporarle tiras de polipropileno con 0.75%,0.1% y 0.2%.

% Vacíos de Diseño: 18%

Paso 3: Verificación de la resistencia a la compresión de diseño.

Luego de haber determinado el porcentaje de vacíos, se puede suponer la resistencia a compresión de acuerdo a la gráfica de la Figura 5.3. En este gráfico podemos observar los valores de resistencia a la compresión desarrollados a los 28 días por testigos de concreto permeable elaborados con dos tamaños estándar de agregado gruesos: No 08 y No 67.

Según la figura precedente para un contenido de vacíos de 18%, obtenemos una resistencia a la compresión referencial de 210 kg/cm², sin embargo, este valor es referencial puesto que los resultados obtenidos en el gráfico anterior son realmente válidos sólo para las características de los materiales y diseño empleados en la obtención de los mismos.

F'c referencial: 210 kg/cm²

Paso 4: Elección de la relación agua-cemento a/c.

En el concreto permeable, los valores recomendados de relaciones a/c se encuentran en el intervalo de 0,35 a 0,45 (ACI 522R-10 y ACI 211.3R-02), los que aseguran que la pasta recubra por completo todos los áridos, uniéndolos de tal forma que no comprometan la formación de poros y por ende su permeabilidad.

Se empezó con la variable a/c en 0.32, luego con 0.35 y por ultimo con 0.38 para evaluar el comportamiento de la mezcla. Para escoger la a/c idónea que no derive un déficit o exceso de agua en la pasta. Además, tomando en cuenta resultados presentados por investigaciones referentes a la relación agua-cemento a/c en el concreto permeable, como (Meininger, 1988), quien concluye que resistencias a la compresión relativamente altas en el concreto permeable son posibles con relaciones a/c aproximadamente 0.40.

A/c de diseño: 0.32

Paso 5: Calculo del cemento y agua

De la figura 5.4, se determina el volumen de pasta para un 18% de vacíos para una mezcla de concreto permeable ligeramente compactada, dando como resultado 24%.

Por lo tanto:

$$\text{Volumen de pasta (Vp)} = 0.240$$

$$\text{Volumen de vacíos (Vv)} = 0.180$$

$$\text{Volumen de grava (Vg)} = 1 - (0.240 + 0.180) = 0.580 \text{ m}^3$$

$$0.580 = \frac{g}{2.85 \times 1000}$$

Donde:

g = peso del agregado, en kg; **g = 1653.00 kg**

Volumen de pasta (Vp) = volumen de cemento (Vc) + volumen de agua (Va)

Por lo tanto,

$$0.24 = \frac{c}{3.15 \times 1000} + \frac{\left(\frac{a}{c}\right) \times c}{1000}$$

Donde:

c = peso del cemento, en kg;

a/c = relación agua-cemento

Por lo tanto,

$$0.240 = \frac{c}{3.15 \times 1000} + \frac{(0.32) \times c}{1000}$$

$$\mathbf{c = 376.49 \text{ kg}}$$

$$\mathbf{a = 120.48 \text{ Lts}}$$

Paso 6: Cálculos de volúmenes absolutos

Tabla 5.4 Volúmenes absoluto diseño 1.

	Peso sss kg	P.E kg/m ³	Volumen m ³
Agua	120.48	1000	0.120
Cemento	376.49	3150	0.120
Vacíos			0.180
		Parcial	0.420
		Ag.Grueso	0.580
		Total	1.000

Fuente propia

Paso 7: Corrección por Humedad, Absorción, Aporte y Proporciones

Se trabajó con peso seco del material por lo que no se hizo corrección por humedad solo se corrigió por absorción.

Tabla 5.5 Corrección por humedad, absorción, aporte y proporciones diseño 1

	Ag.Grueso	Cantidades corregidas		Proporciones en peso
Humedad	0.00	Cemento	376.49 kg/m ³	1
Absorción(a%)	1.49	Ag.Grueso	1653.00 kg/m ³	4.39
Aporte	24.63	Agua efectiva	145.11 kg/m ³	14.34lt

Fuente propia

Al realizar las pruebas preliminares en laboratorio, se pudo observar que la mezcla no presentaba cohesión al momento de realizar el revenimiento, razón por la cual se decidió aumentar el volumen de pasta, aumentando el cemento a la cantidad de 430 kg/m³, manteniendo la relación a/c, y realizando el paso No 5 obtenemos lo siguiente:

Relación **A/C**=0.32

c =430 kg

a=137.6 kg

V_p=0.274

g=1556.10 kg

Paso 6: Cálculos de volúmenes absolutos

Tabla 5.6 Volúmenes absoluto diseño 1 corregido.

	Peso sss kg	P.E kg/m3	Volumen m3
Agua	137.60	1000	0.138
Cemento	430.00	3150	0.136
Vacíos			0.180
		Parcial	0.454
		Ag.Grueso	0.546
		Total	1.000

Fuente propia

Paso 7: Corrección por Humedad, Absorción, Aporte y Proporciones

Se trabajó con peso seco del material por lo que no se hizo corrección por humedad solo se corrigió por absorción.

Tabla 5.7 Corrección por humedad, absorción, aporte y proporciones diseño 1 corregido.

	Ag.Grueso	Cantidades corregidas		Proporciones en peso
Humedad	0.00	Cemento	430.00 kg/m3	1
Absorción(a%)	1.49	Ag.Grueso	1556.10 kg/m3	3.62
Aporte	23.18	Agua efectiva	160.78 kg/m3	15.89lt

Fuente propia

No de golpes: 20 por capa, 4 capa; $E_c = 106.85 \text{ KN} \cdot \text{m} / \text{m}^3$ (Ecuación 30)

IC=3 (Ecuación 29)

5.6.2 DISEÑO DE MEZCLA No 2

% de vacíos de diseño (%V): 20%

Relación **A/C** de diseño: 0.32

Realizando el paso 5 del diseño anterior obtenemos:

Volumen de pasta (**Vp**): 22.5% **Vg**=0.595 **g**=1695.75kg **c**=352.96kg
a =112.95

Paso 6: Cálculos de volúmenes absolutos

Tabla 5.8 Volúmenes absoluto diseño 2.

	Peso sss kg	P.E kg/m3	Volumen m3
Agua	112.95	1000	0.113
Cemento	352.96	3150	0.112
Vacíos			0.180
		Parcial	0.405
		Ag.Grueso	0.595
		Total	1.000

Fuente propia

Paso 7: Corrección por Humedad, Absorción, Aporte y Proporciones

Se trabajó con peso seco del material por lo que no se hizo corrección por humedad solo se corrigió por absorción.

Tabla 5.9 Corrección por humedad, absorción, aporte y proporciones diseño 2.

	Ag.Grueso	Cantidades corregidas		Proporciones en peso
Humedad	0.00	Cemento	352.96 kg/m ³	1
Absorción(a%)	1.49	Ag.Grueso	1695.75 kg/m ³	4.80
Aporte	25.26	Agua efectiva	138.21 kg/m ³	13.66lt

Fuente propia

Al realizar las pruebas preliminares en laboratorio, se pudo observar que la mezcla no presentaba cohesión al momento de realizar el revenimiento, razón por la cual se decidió aumentar el volumen de pasta, aumentando el cemento a la cantidad de 430 kg/m³, manteniendo la relación a/c, y realizando el paso No 5 obtenemos los mismos datos del diseño anterior corregido:

Relación **A/C**=0.32

c =430 kg

a=137.6 kg

V_p=0.274

g=1499.10 kg

Paso 6: Cálculos de volúmenes absolutos

Tabla 5.10 Volúmenes absoluto diseño 2 corregido.

	Peso sss kg	P.E kg/m³	Volumen m³
Agua	137.60	1000	0.138
Cemento	430.00	3150	0.136
Vacíos			0.180
		Parcial	0.454
		Ag.Grueso	0.526
		Total	1.000

Fuente propia

Paso 7: Corrección por Humedad, Absorción, Aporte y Proporciones

Se trabajó con peso seco del material por lo que no se hizo corrección por humedad solo se corrigió por absorción.

Tabla 5.11 Corrección por humedad, absorción, aporte y proporciones diseño 1 corregido.

	Ag.Grueso	Cantidades corregidas		Proporciones en peso
Humedad	0.00	Cemento	430.00 kg/m ³	1
Absorción(a%)	1.49	Ag.Grueso	1499.10 kg/m ³	3.49
Aporte	23.18	Agua efectiva	160.78 kg/m ³	15.89lt

Fuente propia

La energía de compactación es decir el No de golpes vario de mayor a menor por el porcentaje de vacíos a lograr, en el diseño de 18% fue mayor que en el de 20%.

No de golpes=18 por capa, 4 capas. $E_c=96.17 \text{ KN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$ (Ecuación 30)

IC= 5 (Ecuación 29)

En el diseño No 3,4,5,6 solo se varió la relación A/C, en el diseño No 3y No 4 se trabajó con A/C=0.35, en los diseños No 5 y No 6 A/C=0.38.

Por lo tanto, tenemos:

5.6.3 DISEÑO DE MEZCLA No 3:

Para 18% de vacíos: Relación **A/C**=0.35 **c** =430 kg **a**=150.50kg

V_p=0.286 **g**=1521.90 kg

Paso 6: Cálculos de volúmenes absolutos

Tabla 5.12 Volúmenes absoluto diseño 3.

	Peso sss kg	P.E kg/m3	Volumen m3
Agua	150.50	1000	0.150
Cemento	430.00	3150	0.136
Vacíos			0.180
		Parcial	0.466
		Ag.Grueso	0.534
		Total	1.000

Fuente propia

Paso 7: Corrección por Humedad, Absorción, Aporte y Proporciones

Se trabajó con peso seco del material por lo que no se hizo corrección por humedad solo se corrigió por absorción.

Tabla 5.13 Corrección por humedad, absorción, aporte y proporciones diseño 3

	Ag.Grueso	Cantidades corregidas		Proporciones en peso
Humedad	0.00	Cemento	430.00 kg/m3	1
Absorción(a%)	1.49	Ag.Grueso	1427.85 kg/m3	3.54
Aporte	22.68	Agua efectiva	173.18 kg/m3	17.12lt

Fuente propia

No de golpes=18 por capa, 4capas $E_c=96.17 \text{ KN}^* \text{m/m}^3$ (Ecuación 29)

IC=5 (Ecuación 30)

5.6.4 DISEÑO DE MEZCLA No 4:

Para 20% de vacíos:

Relación **A/C**=0.35

c =430 kg

a=150.50kg

Vp=0.286

g=1464.90 kg

Paso 6: Cálculos de volúmenes absolutos

Tabla 5.14 Volúmenes absoluto diseño 4

	Peso sss kg	P.E kg/m3	Volumen m3
Agua	150.50	1000	0.150
Cemento	430.00	3150	0.136
Vacíos			0.200
		Parcial	0.486
		Ag.Grueso	0.514
		Total	1.000

Fuente propia

Paso 7: Corrección por Humedad, Absorción, Aporte y Proporciones

Se trabajó con peso seco del material por lo que no se hizo corrección por humedad solo se corrigió por absorción.

Tabla 5.15 Corrección por humedad, absorción, aporte y proporciones diseño 4

	Ag.Grueso	Cantidades corregidas		Proporciones en peso
Humedad	0.00	Cemento	430.00 kg/m3	1
Absorción(a%)	1.49	Ag.Grueso	1427.85 kg/m3	3.32
Aporte	21.27	Agua efectiva	171.77 kg/m3	16.98lt

Fuente propia

No de golpes=16 por capa, 4 capas $E_c=85.49 \text{ KN}^*m/m^3$ (Ecuación 30)
 $IC=7$ (Ecuación 29)

5.6.5 DISEÑO DE MEZCLA No 5:

Relación $A/C=0.38$

$c =430 \text{ kg}$

$a=163.40\text{kg}$

$V_p=0.299$

$g=1484.85 \text{ kg}$

Paso 6: Cálculos de volúmenes absolutos

Tabla 5.16 Volúmenes absoluto diseño 5

	Peso sss kg	P.E kg/m3	Volumen m3
Agua	163.40	1000	0.163
Cemento	430.00	3150	0.136
Vacíos			0.180
		Parcial	0.479
		Ag.Grueso	0.521
		Total	1.000

Fuente propia

Paso 7: Corrección por Humedad, Absorción, Aporte y Proporciones

Se trabajó con peso seco del material por lo que no se hizo corrección por humedad solo se corrigió por absorción.

Tabla 5.17 Corrección por humedad, absorción, aporte y proporciones diseño 5

	Ag.Grueso	Cantidades corregidas		Proporciones en peso
Humedad	0.00	Cemento	430.00 kg/m ³	1
Absorción(a%)	1.49	Ag.Grueso	1484.85 kg/m ³	3.45
Aporte	22.12	Agua efectiva	185.52 kg/m ³	18.33lt

Fuente propia

No de golpes=16 golpes por capa, 4 capas $E_c = 85.49 \text{ KN} \cdot \text{m} / \text{m}^3$ (Ecuación 30)

IC=6% (Ecuación 29)

5.6.6 DISEÑO DE MEZCLA No 6:

Relación **A/C**=0.38

c =430 kg

a=163.40kg

V_p=0.299

g=1427.85 kg

Paso 6: Cálculos de volúmenes absolutos

Tabla 5.18 Volúmenes absoluto diseño 6

	Peso sss kg	P.E kg/m ³	Volumen m ³
Agua	163.40	1000	0.163
Cemento	430.00	3150	0.136
Vacíos			0.200
		Parcial	0.499
		Ag.Grueso	0.501
		Total	1.000

Fuente propia

Paso 7: Corrección por Humedad, Absorción, Aporte y Proporciones

Se trabajó con peso seco del material por lo que no se hizo corrección por humedad solo se corrigió por absorción.

Tabla 5.19 Corrección por humedad, absorción, aporte y proporciones diseño 6

	Ag.Grueso	Cantidades corregidas		Proporciones en peso
Humedad	0.00	Cemento	430.00 kg/m ³	1
Absorción(a%)	1.49	Ag.Grueso	1427.85 kg/m ³	3.32
Aporte	21.27	Agua efectiva	184.67 kg/m ³	18.25lt

Fuente propia

No de golpes= 14 golpes por capa,4 capas $E_c=85.49 \text{ KN}^*m/m^3$ (Ecuación 30)
IC=8 (Ecuación 29).

Al trabajar con la relación A/C =0.38 notamos el brillo metálico y la trabajabilidad que debe de tener la mezcla de concreto permeable debido a la cantidad de agua óptima. Sin embargo, no nos cumplió la resistencia a la compresión. Debido a eso aumentamos la cantidad de cemento a 510 kg y se trabajó con el 18% de vacíos porque este porcentaje de vacíos tuvo mejor resistencia que el de 20%.

Por lo tanto, obtenemos:

5.6.7 DISEÑO DE MEZCLA No 7

Relación **A/C**=0.38

c =510 kg

a=193.80kg

V_p=0.356

g=1322.40 kg

Paso 6: Cálculos de volúmenes absolutos

Tabla 5.20 Volúmenes absoluto diseño 7

	Peso sss kg	P.E kg/m3	Volumen m3
Agua	193.80	1000	0.194
Cemento	510.00	3150	0.162
Vacíos			0.180
		Parcial	0.536
		Ag.Grueso	0.464
		Total	1.000

Fuente propia

Paso 7: Corrección por Humedad, Absorción, Aporte y Proporciones

Se trabajó con peso seco del material por lo que no se hizo corrección por humedad solo se corrigió por absorción.

Tabla 5.21 Corrección por humedad, absorción, aporte y proporciones diseño 7

	Ag.Grueso	Cantidades corregidas		Proporciones en peso
Humedad	0.00	Cemento	510.00 kg/m3	1
Absorción(a%)	1.49	Ag.Grueso	1322.40 kg/m3	2.59
Aporte	19.70	Agua efectiva	193.80 kg/m3	16.15lt

Fuente propia

No de golpes= 8 por capa, 4 capas

$E_c=42.74 \text{ KN}^*m/m^3$ (Ecuación 30)

IC=12

Culminado los diseños paso a paso y obtenidos las dosificaciones, calculamos en peso todos los materiales necesarios para una tanda de concreto para cada diseño y elaboramos los especímenes cilíndricos de 15.24 cm x 30.48 cm, especímenes prismáticos de 15 cm x 15 cm x 53 cm aproximadamente y especímenes cilíndricos de 10.16 cm x 15.00 que serán sometidos al ensayo de compresión, flexión, verificación de contenido de vacíos y el ensayo de permeabilidad.

La incorporación de tiras de polipropileno de 2mm. x 10mm. Y 4mm x 20mm se realizó en el diseño No 7 de mezcla (Curva Normalizada-Huso 8), en porcentajes respecto al peso de la tanda (0.75%, 0.10% y 0.2%), conforme a las siguientes tablas:

Tabla 5.22 Diseño de mezclas con tiras de polipropileno (2mm x 10mm)

USO GRANULOMETRICO	USO No 8 (CURVA NORMALIZADA)			
DISEÑO SSS	0.00%	0.075%	0.1%	0.2%
Cemento GU kg/m ³	410.00	410.00	410.00	410.00
Agua Lt/m ³	193.80	193.80	193.80	193.80
Ag.Grueso kg/m ³	1322.40	1322.40	1322.40	1322.40
Total kg/m³	1926.20	1926.20	1926.20	1926.20
Tiras de polipropileno kg/m ³	0.00	1.445	1.926	3.852
Agua /Cemento (A/C)	0.38	0.38	0.38	0.38
Agregado /Cemento (AG/C)	2.59	2.59	2.59	2.59

Fuente: Propia

Tabla 5.23 Diseños de mezclas con tiras de polipropileno (4mm x 20mm)

USO GRANULOMETRICO	USO No 8 (CURVA NORMALIZADA)			
	0.00%	0.075%	0.1%	0.2%
DISEÑO SSS	0.00%	0.075%	0.1%	0.2%
Cemento GU kg/m3	410.00	410.00	410.00	410.00
Agua Lt/m3	193.80	193.80	193.80	193.80
Ag.Grueso kg/m3	1322.40	1322.40	1322.40	1322.40
Total kg/m3	1926.20	1926.20	1926.20	1926.20
Tiras de polipropileno kg/m3	0.00	1.445	1.926	3.852
Agua /Cemento (A/C)	0.38	0.38	0.38	0.38
Agregado /Cemento (AG/C)	2.59	2.59	2.59	2.59

Fuente: Propia

Al diseño de mezcla con tiras de polipropileno (4mm x 20 mm) con porcentaje de 0.1% mejoro las características de flexo-compresión se le incorporo el aditivo reductor de agua/plastificante Glenium 7500 como se expresa en la siguiente tabla:

Tabla 5.24 Diseño de mezcla con tiras de polipropileno (4mm x 20mm) y Glenium 7500.

USO GRANULOMETRICO	USO No 8 (CURVA NORMALIZADA)		
	Sin aditivos 0.00%	Tiras polip. 0.1%	Glenium 7500 4.5 ml/kg de cem.
DISEÑO SSS	Sin aditivos 0.00%	Tiras polip. 0.1%	Glenium 7500 4.5 ml/kg de cem.
Cemento GU kg/m3	410.00	410.00	410.00
Agua Lt/m3	193.80	193.80	193.80
Ag.Grueso kg/m3	1322.40	1322.40	1322.40
Total kg/m3	1926.20	1926.20	1926.20
Tiras de polipropileno kg/m3	0.00	1.926	0.00
Glenium 7500 Lt/m3	0.00	0.00	1.845
Agua /Cemento (A/C)	0.38	0.38	0.38
Agregado /Cemento (AG/C)	2.59	2.59	2.59

Fuente: Propia

En estos diseños con tiras y Glenium se usó la misma cantidad de golpes por capa, energía de compactación e índice de compactación del diseño No 7 debido a que al medir el porcentaje de vacíos del concreto permeable en estado fresco coincidían con los de diseño.

5.7 ENSAYOS EN ESTADO FRESCO DEL CONCRETO PERMEABLE

Una vez obtenido el diseño de mezclas se procedió a realizar el vaciado del concreto permeable en los moldes, siendo necesario la realización de ensayos en estado fresco del concreto permeable (ACI 522R-10 “Reporte en el concreto permeable”), con la finalidad de controlar el contenido de vacíos de diseño y la trabajabilidad de la mezcla de concreto, parámetros principales de control en lo que al concreto permeable respecta. Para tener la certeza de que el concreto vaciado cumpla con las características de diseño.

5.7.1 DENSIDAD Y CONTENIDO DE VACÍOS DE MEZCLAS FRESCAS DE CONCRETO PERMEABLE

(Density and void content of freshly mixed pervious concrete) – (ASTM-C1688).

Este método nos permite determinar la densidad del concreto permeable en estado fresco y a su vez podemos calcular el porcentaje de vacíos de la muestra ya que conocemos las propiedades físicas de los materiales y el diseño de mezclas, en donde podemos calcular el volumen que ocupan los materiales y de esta manera determinar el porcentaje de vacíos de la mezcla.

Nota. - La densidad teórica determinada en laboratorio asume que la composición y proporción de los materiales de todas las mezclas son los mismos. Esta es calculada con la siguiente ecuación:

$$T = \frac{M_s}{V_s}$$

Donde:

T: Densidad teórica de la mezcla.

Ms: Masa total de todos los componentes de la mezcla.

Vs: Volumen de la mezcla.

La masa total de todos los materiales de la mezcla es la suma de las masas del cemento, agregado fino en la condición aturado-superficialmente-seca, agregado grueso en la condición saturada-superficialmente-seca, el agua de la mezcla, y otros materiales sólidos o líquidos usados. El volumen absoluto de cada ingrediente es igual al cociente de la masa de ese ingrediente dividida por el producto de su densidad relativa (la gravedad específica).

El presente ensayo se realizó de acuerdo a la norma ASTM-C1688, 2010.
(Density and void content of freshly mixed pervious concrete)

Figura 5.5 Equipos utilizados para el ensayo de peso unitario del concreto permeable.



Fuente: Propia

Descripción del proceso:

- ✓ El lugar de ensayo será una superficie plana y libre de vibración, luego humecte dentro de la medida (Olla de Washington) antes de poner el concreto permeable.
- ✓ Retire cualquier sobrante de agua del fondo del recipiente con una esponja humedecida.
- ✓ Coloque el concreto permeable en dos capas iguales usando un cucharón grande, durante el llenado, mueva el cucharón grande alrededor del perímetro de la apertura para asegurar una distribución igual del concreto con una segregación mínima.
- ✓ Luego compacte con el martillo (Proctor estándar) 16 veces por cada capa a una altura de 305 mm [12 in.]. Para cada capa, distribuya uniformemente los golpes en toda la superficie.

Figura 5.6 Compactación del agregado permeable



Fuente: Propia

- ✓ Antes de compactar la última capa, se debe llenar la medida u olla con exceso de 3mm en todo el borde de la olla y realizar la compactación de 8 golpes, luego se verifica si la cantidad de material es suficiente y si no se corrige la deficiencia y se termina de dar los 8 últimos golpes, en caso si existiera exceso se retira.
- ✓ Finalmente se enrasa con la ayuda de una varilla desde el centro hacia afuera de manera que la superficie quede nivelada.

Figura 5.7 Pesado del material más molde



Fuente: Propia

Ecuaciones para el cálculo de peso unitario (unit weight) y porcentaje de vacíos (void content)

$$D = \frac{M_C - M_M}{V_M}$$

$$U = \frac{T - D}{T} \times 100\%$$

Dónde:

D: Peso unitario del concreto (Kg/m^3)

T: Densidad teórica del concreto calculada al aire libre (Kg/m^3)

U: Porcentaje de vacíos en estado fresco del concreto permeable, incluyendo el aire atrapado dentro de la pasta.

Ms: Masa total de todos los materiales de la mezcla (Kg)

Mc: Masa llenada con concreto (Kg)

M_M: Masa de la medida (Olla de Washington) (Kg)

5.7.2 MÉTODOS DE PRUEBAS ALTERNATIVOS DEL CONO INVERTIDO PARA CONCRETO PERMEABLE.

El método más común para determinar la trabajabilidad del concreto convencional es prueba de revenimiento o Slump (ASTM C143-00), esta prueba no puede ser aplicada a concreto permeable debido a que una de las características especiales de este tipo de concreto es que su Slump es cero; debido a las bajas relaciones agua cemento utilizadas en los diseños de mezcla. Por consiguiente, ASTM propone métodos alternativos para poder determinar la trabajabilidad del concreto poroso.

Uno de los métodos propuestos por la ASTM es el ensayo de cono invertido utilizado para concretos fluidos (autocompactantes), donde la trabajabilidad se mide por la dificultad que tiene la mezcla porosa en el paso por el orificio más pequeño del cono de Abrams sin ningún tipo de compactación únicamente por gravedad.

El presente ensayo se realizó de acuerdo a la norma ASTM C-09.49, 2011.

Equipo utilizado

- ✓ Cono de Abrams
- ✓ Plancha metálica de 50cmx50cm
- ✓ Varilla metálica para nivelar la superficie

Figura 5.8 Equipo cono Abrams



Fuente: Propia

Descripción del proceso

- ✓ Colocar la plancha metálica en una superficie plana y libre de vibración
- ✓ Colocar el cono invertido en el centro de la plancha.
- ✓ Llenar el cono con un cucharón con concreto permeable sin aplicar ningún tipo de compactación.
- ✓ Enrasar con una varilla o enrasador dejando una superficie nivelada.
- ✓ Levantar el cono hacia arriba en forma perpendicular a la superficie, luego colocar el cono al costado de mezcla sobre la plancha y medir el radio generado y la altura del asentamiento.

Figura 5.9 Procedimiento de ensayo de revenimiento o slump en el concreto permeable (asentamiento 0 cm)



Fuente: Propia

Figura 5.10 Ensayo del cono invertido en el concreto poroso



Fuente: Propia

5.8 ENSAYOS EN ESTADO ENDURECIDO DEL CONCRETO PERMEABLE

5.8.1 RESISTENCIA A COMPRESIÓN

La resistencia a la compresión del concreto ha sido tradicionalmente la propiedad más identificada con su comportamiento como material de construcción, lo cual se debe a tres principales razones:

- ✓ En la mayoría de casos, la resistencia a la compresión tiene influencia directa en la capacidad de carga de las estructuras.
- ✓ Es la propiedad más fácil de determinar en el concreto endurecido.
- ✓ Los resultados de su determinación pueden ser utilizados como datos índices de otras propiedades del concreto.

Al igual que el concreto convencional esta propiedad en el concreto permeable no debe ser relacionada exclusivamente con la calidad del concreto, más bien debe ser vista como una de las diversas propiedades que el concreto permeable endurecido requiere para ser durable. La resistencia a compresión del concreto poroso no es una propiedad definida al igual que el concreto convencional como pudiera suponerse debido a varios factores y condiciones cambiantes que intervienen en su determinación.

Debido a que en la actualidad se viene trabajando métodos de prueba para este ensayo (ACI 522), en el presente trabajo de investigación se tomó como referencia trabajos anteriores tanto como para la elaboración de especímenes como para el ensayo a compresión donde detallamos a continuación.

Equipo utilizado

- ✓ Moldes estándar de 6 pulg. (15.24 cm) de diámetro y 12 pulgadas de altura (30.48 cm).
- ✓ Martillo de Próctor Estándar de 2.4 N de peso y 0.305 m de caída.
- ✓ Collar para los moldes.
- ✓ Varilla metálica para nivelar la superficie.
- ✓ Mezclador de concreto

Elaboración de especímenes

Una vez obtenido la trabajabilidad requerida mediante el cono invertido y obtenido el contenido de vacíos mediante el peso unitario, procedemos a la elaboración de especímenes.

Figura 5.11 Muestra el mezclado del concreto permeable



Fuente: Propia

Primero se realizaron pruebas utilizando la misma energía de compactación especificada en el ensayo de peso unitario donde se coloca dos capas uniformes y compactar con 16 golpes/capa con el martillo de Próctor estándar; las pruebas iniciales evidenciaron que en la parte inferior del espécimen la energía de compactación era deficiente, provocando zonas débiles (bordes de la zona inferior).

Figura 5.12 Muestra el compactado del concreto permeable



Fuente: Propia

Estas generaban fallas locales este problema fue muy evidente en las primeras muestras elaboradas, debido a este problema se realizó pruebas utilizando más capas, pero aplicando la misma energía de compactación donde se recalculo el número de golpes a 4 capas, con 8 golpes/capa mejorando los resultados.

Lo más importante se solucionó el problema de fallas locales, para compactar la última capa se utilizó un collar y así evitar que la compactación sea deficiente en la última capa. En lo que respecta a los especímenes prismáticos se compactaron con 70 golpes cada capa por dos capas.

Figura 5.13 Especímenes compactado



Fuente: Propia

En cuanto a los ensayos de compresión simple, se cumplió lo establecido en la norma ASTM C 39/39M, se usó pads de neopreno para el ensayo de compresión.

Figura 5.14 Muestra el ensayo a la compresión simple de un espécimen con capping (almohadillas de neopreno)



Fuente: Propia

Tipos de fractura

Figura 5.15 Tipos de fracturas



Fuente: Fotografías tomadas durante la investigación

5.8.2 RESISTENCIA A LA FLEXION

La resistencia a la flexión del concreto se determina por medio de ensayos con vigas de sección cuadrada elaboradas, tomando como referencia la norma ASTM C-192 y C-31. A menudo se refiere al módulo de rotura.

El ensayo, el cual se encuentra descrito en la norma ASTM C-78, consiste en apoyar las vigas a 2,5 cm como mínimo de sus extremos, dejando una luz de 45 cm y cargándolas en dos puntos situados en los dos tercios medios de la luz. Cuando se alcanza su esfuerzo máximo, este es llamado módulo de rotura (MR), el cual se calcula de la siguiente manera siempre y cuando la falla ocurra dentro del tercio medio de la luz libre de la viga:

$$MR = \frac{PL}{bd^2}$$

Donde:

MR=módulo de rotura del concreto en kg/cm²

P=Carga máxima aplicada en kg

L=Luz libre entre apoyos en cm

b=Ancho de la viga en cm

d=Altura de la viga en cm

Si la falla se diera fuera del tercio medio de la viga, pero no se encuentra separada de esta por más de una longitud equivalente al 5% de la luz libre, el módulo de rotura se calcula de la siguiente forma:

$$MR = \frac{3pa}{bd^2}$$

Donde:

a=distancia entre la línea de rotura y el apoyo más próximo, medida a lo largo del eje longitudinal de la cara inferior de la viga en cm.

Además, se debe tomar en cuenta que si la falla ocurre fuera del tercio medio de la viga y a una distancia este mayor al 5% de la luz libre de la viga, el ensayo se debe repetir. Por otro lado, la norma ASTM C-293 tiene como procedimiento apoyar las vigas de la forma descrita con anterioridad, pero aplicando la carga en el centro de la luz. Para esta aplicación, el módulo de rotura se debe calcular de la siguiente manera:

$$MR = \frac{3PL}{2bd^2}$$

Figura 5.16 Ensayo para determinar la resistencia a la flexión



Fuente: Fotografías tomadas durante la investigación

5.8.3 PERMEABILIDAD

La metodología del ensayo fue desarrollada utilizando los métodos de prueba alternativos de la (ASTM-C09.49) y (ACI-522R.10); donde nos sugiere elaborar muestras cilíndricas de 10 cm de diámetro y 15cm de alto, que fueron elaboradas utilizando la metodología para los especímenes de compresión. El ensayo de permeabilidad aplicable es un método de prueba alternativo normalizado por el ACI 522R-10 “Reporte en concreto permeable” y ASTM-C09.49 “Métodos de prueba alternativos”

En cuanto al cálculo del coeficiente permeabilidad fue realizado utilizando la ley de Darcy

$$K = \frac{L}{t} \times \frac{a}{A} \times \ln \frac{h_1}{h_2}$$

Dónde:

K: Coeficiente de permeabilidad (cm/s).

L: Longitud de la muestra (cm).

A: Área de la muestra (cm²).

a: Área de la tubería de carga (cm²).

t: Tiempo en demora en pasar de h1 a h2 (s).

h1: Altura de la columna de agua medida del nivel de referencia (cm).

h2: Altura de tubería de salida del agua con respecto al nivel de referencia (1cm).

Equipo utilizado

- ✓ Equipo de permeabilidad.

Descripción del proceso

La permeabilidad del concreto permeable fue medida por una sencilla caída de cabeza en el permeámetro como se muestra en la figura. 4.25 (ACI 522R-10). Usando este enfoque, los costados de la muestra se impermeabilizan con una membrana de látex para evitar el flujo del agua a lo largo de los lados de la muestra. El agua es añadida en el cilindro graduado para llenar celda de la muestra y la tubería de drenaje. La muestra se acondiciona previamente al permitir que el agua drene hacia fuera a través de la tubería hasta que el nivel en el cilindro graduado sea el mismo que la parte superior de la tubería de drenaje.

Esto reduce al mínimo el aire atrapado en la muestra y se asegura de que el espécimen este completamente saturado. Con la válvula cerrada, el cilindro graduado se llena con agua. Luego se abre la válvula, y se registra el tiempo en segundos “t” que se requiere para que el agua caiga de una cabeza inicial h1 a una cabeza final h2. En otras palabras, se calculó el tiempo que tarda en tener una carga

de agua de 29 cm a 7 cm sobre la superficie de la probeta ensayada. Las unidades de la tasa de permeabilidad son mm/s.

Figura 5.17 Equipos de ensayo de permeabilidad (equipo recomendado por el ACI 522R



Fuente: Fotografías tomadas durante la investigación

5.8.4 CURADO DEL CONCRETO PERMEABLE.

El curado de los especímenes fue realizado tratando de simular las condiciones estándar pero, éstas no se pudieron cumplir a cabalidad debido a las condiciones climáticas que influyeron en nuestra poza de curado, para mantener un temperatura constante de curado de 25 °C , la temperatura del agua de curado de nuestra investigación oscilo entre 15°C y 25°C, también el agua de curado no fue saturada en cal porque se trató de simular las condiciones reales a las que será sometido nuestro concreto en su aplicación como pavimento.

Figura 5.18 Muestra la pila y el curado del concreto permeable



Fuente: Fotografías tomadas durante la investigación

CAPITULO VI

ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 ENSAYOS EN ESTADO FRESCO

6.1.1 PESO UNITARIO EN ESTADO FRESCO DEL CONCRETO PERMEABLE

Esta propiedad del concreto permeable está íntimamente ligada al porcentaje de vacíos de diseño.

Tabla 6.1 De peso unitario en estado fresco del concreto permeable con relación $A/C=0.32$, %V teóricos =18.0 C=430kg

DATOS	M-1-A	M-1-B	M-1-C
Masa del concreto + Masa del recipiente (Mc)	13.890 kg	13.873 kg	13.885 kg
Masa del recipiente (Mm)	2.870 kg	2.870 kg	2.870 kg
Volumen del recipiente (Vm)	0.005228 m ³	0.005228 m ³	0.005228 m ³
RESULTADOS	M-1-A	M-1-B	M-1-C
Peso unitario del concreto (D) (Mc-Mm)/Vm	2107.88 kg/m ³	2104.63 kg/m ³	2106.92 kg/m ³
PROMEDIO DEL PESO UNITARIO DEL CONCRETO	2106.48 kg/m ³		

Fuente: Propia

Tabla 6.2 De peso unitario en estado fresco del concreto permeable con relación $A/C=0.32$, %V teóricos =20.0 C=430kg

DATOS	M-2-A	M-2-B	M-2-C
Masa del concreto + Masa del recipiente (Mc)	13.660 kg	13.650 kg	13.670 kg
Masa del recipiente (Mm)	2.870 kg	2.870 kg	2.870 kg
Volumen del recipiente (Vm)	0.005228 m ³	0.005228 m ³	0.005228 m ³
RESULTADOS	M-1-A	M-1-B	M-1-C
Peso unitario del concreto (D) (Mc-Mm)/Vm	2063.88 kg/m ³	2061.97 kg/m ³	2065.80kg/m ³
PROMEDIO DEL PESO UNITARIO DEL CONCRETO	2063.88kg/m ³		

Fuente: Propia

Tabla 6.3 De peso unitario en estado fresco del concreto permeable con relación A/C=0.35, %V teóricos =18.0 C=430kg

DATOS	M-3-A	M-3-B	M-3-C
Masa del concreto + Masa del recipiente (Mc)	13.838 kg	13.854 kg	13.890 kg
Masa del recipiente (Mm)	2.870 kg	2.870 kg	2.870 kg
Volumen del recipiente (Vm)	0.005228 m ³	0.005228 m ³	0.005228 m ³
RESULTADOS	M-1-A	M-1-B	M-1-C
Peso unitario del concreto (D) (Mc-Mm)/Vm	2097.93 kg/m ³	2100.99 kg/m ³	2107.88 kg/m ³
PROMEDIO DEL PESO UNITARIO DEL CONCRETO	2102.27 kg/m ³		

Fuente: Propia

Tabla 6.4 De peso unitario en estado fresco del concreto permeable con relación A/C=0.35, %V teóricos =20.0 C=430kg

DATOS	M-4-A	M-4-B	M-4-C
Masa del concreto + Masa del recipiente (Mc)	13.537 kg	13.573 kg	13.531 kg
Masa del recipiente (Mm)	2.870 kg	2.870 kg	2.870 kg
Volumen del recipiente (Vm)	0.005228 m ³	0.005228 m ³	0.225228 m ³
RESULTADOS	M-1-A	M-1-B	M-1-C
Peso unitario del concreto (D) (Mc-Mm)/Vm	2040.36 kg/m ³	2047.24 kg/m ³	2039.21 kg/m ³
PROMEDIO DEL PESO UNITARIO DEL CONCRETO	2042.27kg/m ³		

Fuente: Propia

Tabla 6.5 De peso unitario en estado fresco del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos =18.0 C=430kg

DATOS	M-5-A	M-5-B	M-5-C
Masa del concreto + Masa del recipiente (Mc)	13.696 kg	13.644 kg	13.719 kg
Masa del recipiente (Mm)	2.870 kg	2.870 kg	2.870 kg
Volumen del recipiente (Vm)	0.005228 m ³	0.005228 m ³	0.225228 m ³
RESULTADOS	M-1-A	M-1-B	M-1-C
Peso unitario del concreto (D) (Mc-Mm)/Vm	2070.77 kg/m ³	2060.83 kg/m ³	2075.17 kg/m ³
PROMEDIO DEL PESO UNITARIO DEL CONCRETO	2068.92 kg/m ³		

Fuente: Propia

Tabla 6.6 De peso unitario en estado fresco del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos =20.0 C=430kg

DATOS	M-6-A	M-6-B	M-6-C
Masa del concreto + Masa del recipiente (Mc)	13.436 kg	13.416 kg	13.456 kg
Masa del recipiente (Mm)	2.870 kg	2.870 kg	2.870 kg
Volumen del recipiente (Vm)	0.005228 m3	0.005228 m3	0.225228 m3
RESULTADOS	M-1-A	M-1-B	M-1-C
Peso unitario del concreto (D) (Mc-Mm)/Vm	2021.00 kg/m3	2017.21 kg/m3	2024.87 kg/m3
PROMEDIO DEL PESO UNITARIO DEL CONCRETO	2021.03 kg/m3		

Fuente: Propia

Tabla 6.7 De peso unitario en estado fresco del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos =18.0 C = 510kg

DATOS	M-7-A	M-7-B	M-7-C
Masa del concreto + Masa del recipiente (Mc)	13.490 kg	13.433 kg	13.484 kg
Masa del recipiente (Mm)	2.870 kg	2.870 kg	2.870 kg
Volumen del recipiente (Vm)	0.005228 m3	0.005228 m3	0.225228 m3
RESULTADOS	M-1-A	M-1-B	M-1-C
Peso unitario del concreto (D) (Mc-Mm)/Vm	2031.37 kg/m3	2020.46 kg/m3	2030.22 kg/m3
PROMEDIO DEL PESO UNITARIO DEL CONCRETO	2031.37 kg/m3		

Fuente: Propia

Tabla 6.8 De peso unitario en estado fresco del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos =18.0, con 0.075% de tiras de (2mm x 10mm) C=510kg.

DATOS	M-8-A	M-8-B	M-8-C
Masa del concreto + Masa del recipiente (Mc)	13.395 kg	13.410 kg	13.420 kg
Masa del recipiente (Mm)	2.870 kg	2.870 kg	2.870 kg
Volumen del recipiente (Vm)	0.005228 m3	0.005228 m3	0.225228 m3
RESULTADOS	M-1-A	M-1-B	M-1-C
Peso unitario del concreto (D) (Mc-Mm)/Vm	2013.20 kg/m3	2016.07 kg/m3	2017.98 kg/m3
PROMEDIO DEL PESO UNITARIO DEL CONCRETO	2015.75 kg/m3		

Fuente: Propia

Tabla 6.9 De peso unitario en estado fresco del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos =18.0 con 0.1% de tiras de (2mm x 10mm) C=510kg

DATOS	M-9-A	M-9-B	M-9-C
Masa del concreto + Masa del recipiente (Mc)	13.400 kg	13.390 kg	13.415 kg
Masa del recipiente (Mm)	2.870 kg	2.870 kg	2.870 kg
Volumen del recipiente (Vm)	0.005228 m3	0.005228 m3	0.225228 m3
RESULTADOS	M-1-A	M-1-B	M-1-C
Peso unitario del concreto (D) (Mc-Mm)/Vm	2014.15 kg/m3	2012.24 kg/m3	2017.02 kg/m3
PROMEDIO DEL PESO UNITARIO DEL CONCRETO	2014.47 kg/m3		

Fuente: Propia

Tabla 6.10 De peso unitario en estado fresco del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos =18.0 con 0.2% de tiras de (2mm x 10mm) C=510kg

DATOS	M-10-A	M-10-B	M-10-C
Masa del concreto + Masa del recipiente (Mc)	13.377 kg	13.384 kg	13.396 kg
Masa del recipiente (Mm)	2.870 kg	2.870 kg	2.870 kg
Volumen del recipiente (Vm)	0.005228 m3	0.005228 m3	0.225228 m3
RESULTADOS	M-1-A	M-1-B	M-1-C
Peso unitario del concreto (D) (Mc-Mm)/Vm	2009.76 kg/m3	2011.09 kg/m3	2013.38 kg/m3
PROMEDIO DEL PESO UNITARIO DEL CONCRETO	2011.41 kg/m3		

Fuente: Propia

Tabla 6.11 De peso unitario en estado fresco del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos =18.0 con 0.075 de tiras de (4mm x 20mm) C=510kg

DATOS	M-11-A	M-11-B	M-11-C
Masa del concreto + Masa del recipiente (Mc)	13.455 kg	13.440 kg	13.460 kg
Masa del recipiente (Mm)	2.870 kg	2.870 kg	2.870 kg
Volumen del recipiente (Vm)	0.005228 m3	0.005228 m3	0.225228 m3
RESULTADOS	M-1-A	M-1-B	M-1-C
Peso unitario del concreto (D) (Mc-Mm)/Vm	2024.67 kg/m3	2021.80 kg/m3	2025.63 kg/m3
PROMEDIO DEL PESO UNITARIO DEL CONCRETO	2024.03 kg/m3		

Fuente: Propia

Tabla 6. 12 De peso unitario en estado fresco del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos =18.0 con 0.1% de tiras de (4mm x 20mm) C=510kg

DATOS	M-12-A	M-12-B	M-12-C
Masa del concreto + Masa del recipiente (Mc)	13.449 kg	13.458 kg	13.437 kg
Masa del recipiente (Mm)	2.870 kg	2.870 kg	2.870 kg
Volumen del recipiente (Vm)	0.005228 m3	0.005228 m3	0.225228 m3
RESULTADOS	M-1-A	M-1-B	M-1-C
Peso unitario del concreto (D) (Mc-Mm)/Vm	2023.53 kg/m3	2025.24 kg/m3	2021.23 kg/m3
PROMEDIO DEL PESO UNITARIO DEL CONCRETO	2023.33 kg/m3		

Fuente: Propia

Tabla 6.13 De peso unitario en estado fresco del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos =18.0 con 0.2% de tiras de (4mm x 20mm) C=510kg

DATOS	M-13-A	M-13-B	M-13-C
Masa del concreto + Masa del recipiente (Mc)	13.410 kg	13.424 kg	13.398 kg
Masa del recipiente (Mm)	2.870 kg	2.870 kg	2.870 kg
Volumen del recipiente (Vm)	0.005228 m3	0.005228 m3	0.225228 m3
RESULTADOS	M-1-A	M-1-B	M-1-C
Peso unitario del concreto (D) (Mc-Mm)/Vm	2016.07 kg/m3	2018.74 kg/m3	2013.77 kg/m3
PROMEDIO DEL PESO UNITARIO DEL CONCRETO	2016.19 kg/m3		

Fuente: Propia

Tabla 6.14 De peso unitario en estado fresco del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos =18.0 con 0.1% de tiras de (4mm x 20mm) y 4.20 ml/kg. De Glenium 7500, C=510kg

DATOS	M-1-A	M-1-B	M-1-C
Masa del concreto + Masa del recipiente (Mc)	13.452 kg	13.439 kg	13.460 kg
Masa del recipiente (Mm)	2.870 kg	2.870 kg	2.870 kg
Volumen del recipiente (Vm)	0.005228 m3	0.005228 m3	0.225228 m3
RESULTADOS	M-1-A	M-1-B	M-1-C
Peso unitario del concreto (D) (Mc-Mm)/Vm	2024.10 kg/m3	2021.61 kg/m3	2025.63 kg/m3
PROMEDIO DEL PESO UNITARIO DEL CONCRETO	2023.78 kg/m3		

Fuente: Propia

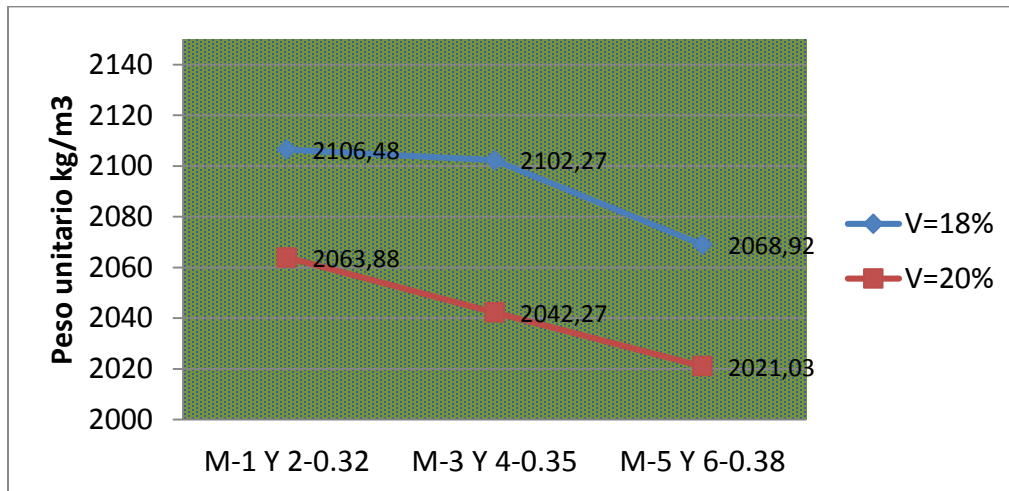
Tabla 6.15 Resumen de Pesos Unitarios en estado fresco

TAMAÑO DE AGREGADO GRUESO	CODIGO	PROMEDIO DE PESO UNITARIO
HUSO No 8	M-1	2106,48
	M-2	2063,88
	M-3	2102,27
	M-4	2042,27
	M-5	2068,92
	M-6	2021,03
	M-7	2031,37
	M-8	2015,75
	M-9	2014,47
	M-10	2011,41
	M-11	2024,03
	M-12	2023,33
	M-13	2016,19
	M-14	2023,78

Fuente: Propia

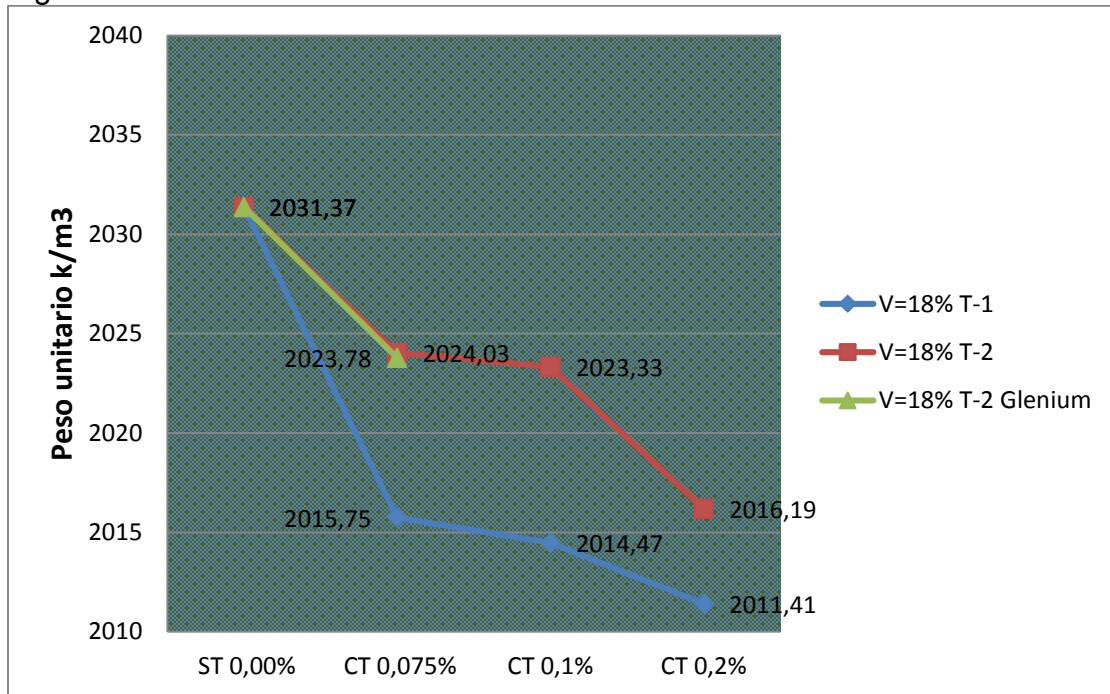
Pesos unitarios de la M-1 a la M-6 sin tiras estos varían de mayor a menor debido al descenso de la energía de compactación por el aumento de la relación agua/cemento de 0.32 a 0.38 con C=430kg.

Figura 6. 1 Muestra la curva de tendencia de Pesos Unitarios en estado fresco



Fuente: Propia

Figura 6. 2 Muestra la curva de tendencia de Pesos Unitarios en estado fresco



Fuente: Propia

6.1.2 PORCENTAJE DE VACÍOS EN EL CONCRETO PERMEABLE EN ESTADO FRESCO

Para la obtención del porcentaje de vacíos, para el concreto en estado fresco se hizo lo siguiente:

- ✓ Pesos Unitarios 2 capas de compactación y 16 golpes/capa- Estado Fresco.

Tabla 6.16 Proporciones de diseño del huso 8

DESCRIPCION	DOSIFICACION X M3	P.E
Cemento	430	3.15
Agua	137.60	1.00
Agregado grueso	1556.10	2.85
TOTAL	2123.70	

Fuente: Propia

Tabla 6.17 Contenido de vacíos del concreto permeable con relación A/C=0.32, %V teóricos =18.0

DATOS	M-1-A	M-1-B	M-1-C
Masa Total de todos los materiales (Ms)	2123.70	2123.70	2123.70
Volumen absoluto de cada ingrediente (Vs)	0.82m ³	0.82m ³	0.82m ³
Densidad teórica del concreto (T)... Ms/Vs	2589.88	2589.88	2589.88
Peso unitario del concreto (D)	2107.88	2104.63	2106.92
RESULTADOS			
Volumen de vacíos en estado fresco (V%)... (T-D)/T	18.61	18.74	18.65
PROMEDIO DE % DE VACIOS	18.66		

Fuente: Propia

Tabla 6.18 Contenido de vacíos del concreto permeable con relación A/C=0.32, %V teóricos =20.0

DATOS	M-1-A	M-1-B	M-1-C
Masa Total de todos los materiales (Ms)	2066.70	2066.70	2066.70
Volumen absoluto de cada ingrediente (Vs)	0.80	0.80	0.80
Densidad teórica del concreto (T)... Ms/Vs	2583.38	2583.38	2583.38
Peso unitario del concreto (D)	2063.68	2061.97	2065.80
RESULTADOS			
Volumen de vacíos en estado fresco (U%)... (T-D)/T	20.12	20.18	20.03
PROMEDIO DE % DE VACIOS	20.11		

Fuente: Propia

Tabla 6.19 Contenido de vacíos del concreto permeable con relación A/C=0.35, %V teóricos =18.0

DATOS	M-1-A	M-1-B	M-1-C
Masa Total de todos los materiales (Ms)	2102.40	2102.40	2102.40
Volumen absoluto de cada ingrediente (Vs)	0.82	0.82	0.82
Densidad teórica del concreto (T)... Ms/Vs	2563.90	2563.90	2563.90
Peso unitario del concreto (D)	2097.93	2100.99	2107.88
RESULTADOS			
Volumen de vacíos en estado fresco (U%).... (T-D)/T	18.17	18.05	17.79
PROMEDIO DE % DE VACIOS	18.01		

Fuente: Propia

Tabla 6.20 Contenido de vacíos del concreto permeable con relación A/C=0.35, %V teóricos =20.0

DATOS	M-1-A	M-1-B	M-1-C
Masa Total de todos los materiales (Ms)	2045.40	2045.40	2045.40
Volumen absoluto de cada ingrediente (Vs)	0.80	0.80	0.80
Densidad teórica del concreto (T)... Ms/Vs	2556.75	2556.75	2556.75
Peso unitario del concreto (D)	2040.33	2047.24	2039.21
RESULTADOS			
Volumen de vacíos en estado fresco (U%).... (T-D)/T	20.20	19.93	20.24
PROMEDIO DE % DE VACIOS	20.12		

Fuente: Propia

Tabla 6.21 Contenido de vacíos del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos =18.0

DATOS	M-1-A	M-1-B	M-1-C
Masa Total de todos los materiales (Ms)	2078.25	2078.25	2078.25
Volumen absoluto de cada ingrediente (Vs)	0.82	0.82	0.82
Densidad teórica del concreto (T)... Ms/Vs	2534.45	2534.45	2534.45
Peso unitario del concreto (D)	2070.77	2060.93	2075.17
RESULTADOS			
Volumen de vacíos en estado fresco (U%).... (T-D)/T	18.30	18.68	18.12
PROMEDIO DE % DE VACIOS	18.37		

Fuente: Propia

Tabla 6.22 Contenido de vacíos del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos =20.0

DATOS	M-1-A	M-1-B	M-1-C
Masa Total de todos los materiales (Ms)	2021.25	2021.25	2021.25
Volumen absoluto de cada ingrediente (Vs)	0.80	0.80	0.80
Densidad teórica del concreto (T)... Ms/Vs	2526.56	2526.56	2526.56
Peso unitario del concreto (D)	2021.00	2017.21	2024.87
RESULTADOS			
Volumen de vacíos en estado fresco (U%).... (T-D)/T	20.01	20.16	19.86
PROMEDIO DE % DE VACIOS	20.01		

Fuente: Propia

Tabla 6.23 Proporciones de diseño del huso 8

DESCRIPCION	DOSIFICACION X M3	P.E
Cemento	510	3.15
Agua	193.8	1.00
Agregado grueso	1322.4	2.85
TOTAL	2026.2	

Fuente: Propia

Tabla 6.24 Contenido de vacíos del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos =18.0

DATOS	M-1-A	M-1-B	M-1-C
Masa Total de todos los materiales (Ms)	2026.20	2026.20	2026.20
Volumen absoluto de cada ingrediente (Vs)	0.82	0.82	0.82
Densidad teórica del concreto (T)... Ms/Vs	2470.98	2470.98	2470.98
Peso unitario del concreto (D)	2031.37	2020.46	2030.22
RESULTADOS			
Volumen de vacíos en estado fresco (U%).... (T-D)/T	17.79	18.23	17.84
PROMEDIO DE % DE VACIOS	17.95		

Fuente: Propia

Tabla 6.25 Contenido de vacíos del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos =18.0 con 0.075% de tiras de (2mm x 10mm)

DATOS	M-1-A	M-1-B	M-1-C
Masa Total de todos los materiales (Ms)	2026.20	2026.20	2026.20
Volumen absoluto de cada ingrediente (Vs)	0.82	0.82	0.82
Densidad teórica del concreto (T)... Ms/Vs	2470.98	2470.98	2470.98
Peso unitario del concreto (D)	2013.20	2016.07	2017.93
RESULTADOS			
Volumen de vacíos en estado fresco (U%).... (T-D)/T	18.53	18.41	18.33
PROMEDIO DE % DE VACIOS	18.42		

Fuente: Propia

Tabla 6. 26 Contenido de vacíos del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos =18.0 con 0.1% de tiras de (2mm x 10mm)

DATOS	M-1-A	M-1-B	M-1-C
Masa Total de todos los materiales (Ms)	2026.20	2026.20	2026.20
Volumen absoluto de cada ingrediente (Vs)	0.82	0.82	0.82
Densidad teórica del concreto (T)... Ms/Vs	2470.98	2470.98	2470.98
Peso unitario del concreto (D)	2014.15	2012.24	2017.02
RESULTADOS			
Volumen de vacíos en estado fresco (U%).... (T-D)/T	18.49	18.56	18.37
PROMEDIO DE % DE VACIOS	18.47		

Fuente: Propia

Tabla 6.27 Contenido de vacíos del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos =18.0 con 0.2% de tiras de (2mm x 10mm)

DATOS	M-1-A	M-1-B	M-1-C
Masa Total de todos los materiales (Ms)	2026.20	2026.20	2026.20
Volumen absoluto de cada ingrediente (Vs)	0.82	0.82	0.82
Densidad teórica del concreto (T)... Ms/Vs	2470.98	2470.98	2470.98
Peso unitario del concreto (D)	2009.76	2011.09	2013.38
RESULTADOS			
Volumen de vacíos en estado fresco (U%).... (T-D)/T	18.66	18.61	18.52
PROMEDIO DE % DE VACIOS	18.60		

Fuente: Propia

Tabla 6.28 Contenido de vacíos del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos =18.0 con 0.075% de tiras de (4mm x 20mm)

DATOS	M-1-A	M-1-B	M-1-C
Masa Total de todos los materiales (Ms)	2026.20	2026.20	2026.20
Volumen absoluto de cada ingrediente (Vs)	0.82	0.82	0.82
Densidad teórica del concreto (T)... Ms/Vs	2470.98	2470.98	2470.98
Peso unitario del concreto (D)	2024.67	2021.80	2025.63
RESULTADOS			
Volumen de vacíos en estado fresco (U%).... (T-D)/T	18.06	18.18	18.02
PROMEDIO DE % DE VACIOS	18.09		

Fuente: Propia

Tabla 6.29 Contenido de vacíos del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos =18.0 con 0.1% de tiras de (4mm x 20mm)

DATOS	M-1-A	M-1-B	M-1-C
Masa Total de todos los materiales (Ms)	2026.20	2026.20	2026.20
Volumen absoluto de cada ingrediente (Vs)	0.82	0.82	0.82
Densidad teórica del concreto (T)... Ms/Vs	2470.98	2470.98	2470.98
Peso unitario del concreto (D)	2023.53	2025.24	2021.23
RESULTADOS			
Volumen de vacíos en estado fresco (U%).... (T-D)/T	18.11	18.04	18.20
PROMEDIO DE % DE VACIOS	18.12		

Fuente: Propia

Tabla 6.30 Contenido de vacíos del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos =18.0 con 0.2% de tiras de (4mm x 20mm)

DATOS	M-1-A	M-1-B	M-1-C
Masa Total de todos los materiales (Ms)	2026.20	2026.20	2026.20
Volumen absoluto de cada ingrediente (Vs)	0.82	0.82	0.82
Densidad teórica del concreto (T)... Ms/Vs	2470.98	2470.98	2470.98
Peso unitario del concreto (D)	2016.07	2018.74	2013.77
RESULTADOS			
Volumen de vacíos en estado fresco (U%).... (T-D)/T	18.41	18.30	18.50
PROMEDIO DE % DE VACIOS	18.40		

Fuente: Propia

Tabla 6.31 Contenido de Vacíos del concreto permeable con relación A/C=0.38, %V teóricos =18.0 con 0.1% de tiras de (4mm x 20mm) y 4.2 ml/kg de cem. De Glenium 7500.

DATOS	M-1-A	M-1-B	M-1-C
Masa Total de todos los materiales (Ms)	2026.20	2026.20	2026.20
Volumen absoluto de cada ingrediente (Vs)	0.82	0.82	0.82
Densidad teórica del concreto (T)... Ms/Vs	2470.98	2470.98	2470.98
Peso unitario del concreto (D)	2024.10	2021.61	2025.63
RESULTADOS			
Volumen de vacíos en estado fresco (U%).... (T-D)/T	18.08	18.18	18.02
PROMEDIO DE % DE VACIOS	18.09		

Fuente: Propia

El porcentaje de vacíos logrado no difiere mucho del porcentaje de vacíos de diseño son muy aproximados.

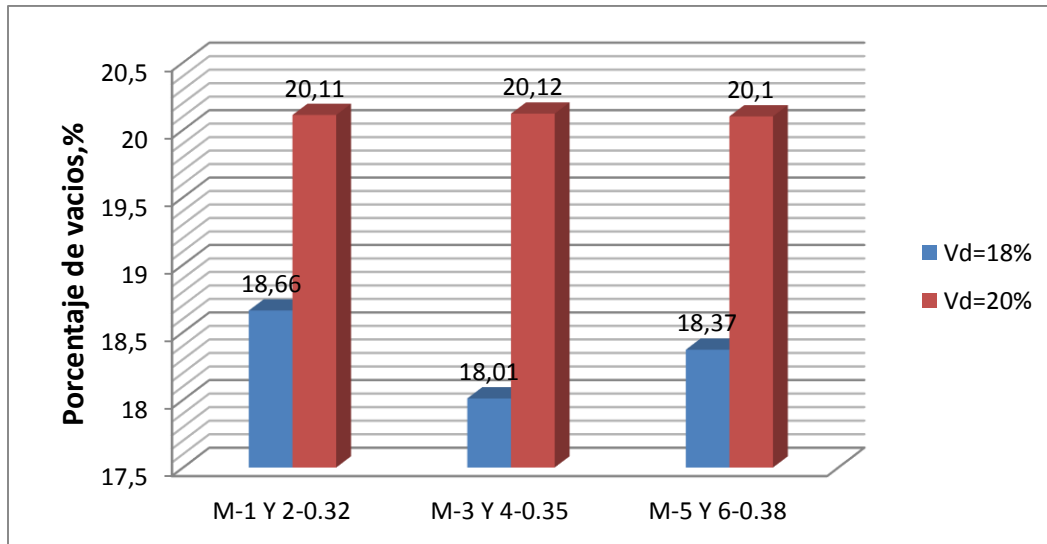
En la tabla 6. 32 se muestra la comparación de los porcentajes de vacío logrados y porcentaje de vacíos de diseño

Tabla 6. 32 Resumen de Porcentajes de vacíos en estado fresco

TAMAÑO DE AGREGADO GRUESO	CODIGO	PROMEDIO DE % DE VACIOS	% DE VACIOS DE DISEÑO
HUSO No 8	M-1	18,66	18,00
	M-2	20,11	20,00
	M-3	18,01	18,00
	M-4	20,12	20,00
	M-5	18,37	18,00
	M-6	20,01	20,00
	M-7	17,95	18,00
	M-8	18,42	18,00
	M-9	18,47	18,00
	M-10	18,6	18,00
	M-11	18,09	18,00
	M-12	18,12	18,00
	M-13	18,4	18,00
	M-14	18,09	18,00

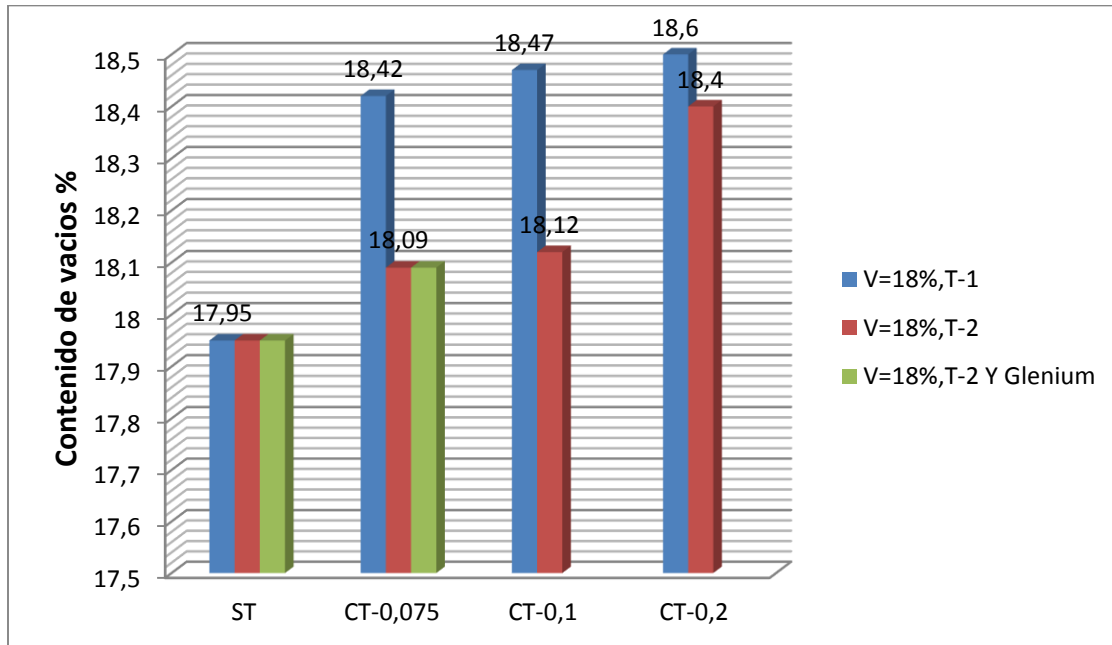
Fuente: Propia

Figura 6. 3 Diagrama de barras del porcentaje de vacíos de concreto permeable (sin tira)



Fuente: Propia

Figura 6. 4 Diagrama de barras del porcentaje de vacíos de concreto permeable (con tira)



Fuente: Propia

6.2 ENSAYOS EN ESTADO ENDURECIDO DEL CONCRETO PERMEABLE

6.2.1 COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO PERMEABLE

Se muestra la obtención y el análisis de los resultados de coeficiente de permeabilidad, y su comparación en función al porcentaje de incorporación de Tiras de Polipropileno: Huso No 8 (Sin tiras, con 0.075%, 0.10% y 0.20% de dos tipos de Tiras Incorporadas una con dimensión de 2mm x 10mm y la otra de 4mm x 20mm).

El coeficiente de permeabilidad del concreto permeable normalmente se encuentra en el rango de 0.14 a 1.22 cm/s. Los resultados obtenidos para todos los grupos de prueba se encuentran dentro del rango anteriormente descrito, por lo cual, se puede afirmar que todas las muestras de concreto permeable ensayadas cumplen con los requerimientos de permeabilidad.

No existe normativa para evaluar este parámetro, sin embargo, en el comité ACI 522 hace mención de un aparato para calcular este valor, y describe un permeámetro de carga variable. Para lo cual se moldearon 3 cilindros de altura de 15 cm y 10 cm de diámetro. Se calculó el tiempo que tarda en tener una carga de agua de 29 cm a 7 cm sobre la superficie de la probeta ensayada. Las unidades de la tasa de permeabilidad son mm/s.

Los coeficientes de permeabilidad promedio hallados de las probetas de concreto permeable elaboradas con agregado triturado proveniente del banco de materiales Veracruz – Huso No 8, TM 3/8” con 0.00%, 0.75%, 0.10%, 0.20% de Tiras de Polipropileno incorporadas.

Pudiéndose inferir que la incorporación de Tiras de Polipropileno (2mm. X 10mm y 4mm x 20mm) en los porcentajes de 0.00%, 0.05%, 0.10%, 0.15% respecto al peso de la mezcla, no representan una variación notable en el coeficiente de permeabilidad hallado.

Tabla 6.33 Coeficiente de Permeabilidad Huso No 8 con A/C=0.32 %Vacíos =18.0

Espécimen No	Ensayo No	Altura cm	Diámetro cm	Carga cm	tiempo s	Promedio tiempo s	Permeabilidad mm/s	Desviación estándar
1	1	15.00	10.00	23.00	39.00	36.00	6.39	0.30
	2	15.00	10.00	23.00	35.00			
	3	15.00	10.00	23.00	34.00			
2	1	15.00	10.00	23.00	32.00	33.00	6.97	
	2	15.00	10.00	23.00	34.00			
	3	15.00	10.00	23.00	33.00			
3	1	15.00	10.0	23.00	35.70	36.64	6.28	
	2	15.00	10.00	23.00	36.68			
	3	15.00	10.00	23.00	37.54			

Fuente: Propia.

Tabla 6.34. Coeficiente de Permeabilidad Huso No 8 con $A/C=0.32$, %Vacíos =20.0

Espécimen No	Ensayo No	Altura cm	Diámetro cm	Carga cm	tiempo s	Promedio tiempo s	Permeabilidad mm/s	Desviación estándar
1	1	15.00	10.00	23.00	27.00	27.00	8.52	0.38
	2	15.00	10.00	23.00	26.00			
	3	15.00	10.00	23.00	28.00			
2	1	15.00	10.00	23.00	25.00	24.33	9.45	
	2	15.00	10.00	23.00	24.00			
	3	15.00	10.00	23.00	24.00			
3	1	15.00	10.0	23.00	25.60	25.65	8.97	
	2	15.00	10.00	23.00	24.56			
	3	15.00	10.00	23.00	26.78			

Fuente: Propia.

Tabla 6.35 Coeficiente de Permeabilidad Huso No 8 con $A/C=0.35$, %Vacíos =18.0

Espécimen No	Ensayo No	Altura cm	Diámetro cm	Carga cm	tiempo s	Promedio tiempo s	Permeabilidad mm/s	Desviación estándar
1	1	15.00	10.00	23.00	38.50	38.16	6.03	0.12
	2	15.00	10.00	23.00	37.53			
	3	15.00	10.00	23.00	38.45			
2	1	15.00	10.00	23.00	39.00	38.77	5.93	
	2	15.00	10.00	23.00	37.98			
	3	15.00	10.00	23.00	39.34			
3	1	15.00	10.0	23.00	40.67	39.97	5.75	
	2	15.00	10.00	23.00	39.23			
	3	15.00	10.00	23.00	40.00			

Fuente: Propia.

Tabla 6.36 Coeficiente de Permeabilidad Huso No 8 con A/C=0.35, %Vacíos =20.0

Espécimen No	Ensayo No	Altura cm	Diámetro cm	Carga cm	tiempo s	Promedio tiempo s	Permeabilidad mm/s	Desviación estándar
1	1	15.00	10.00	23.00	28.45	28.27	8.14	0.22
	2	15.00	10.00	23.00	28.05			
	3	15.00	10.00	23.00	27.87			
2	1	15.00	10.00	23.00	29.89	29.19	7.88	
	2	15.00	10.00	23.00	28.67			
	3	15.00	10.00	23.00	29.00			
3	1	15.00	10.0	23.00	27.07	27.28	8.43	
	2	15.00	10.00	23.00	26.90			
	3	15.00	10.00	23.00	27.87			

Fuente: Propia.

Tabla 6.37 Coeficiente de Permeabilidad Huso No 8 con A/C=0.38, %Vacíos =18.0

Espécimen No	Ensayo No	Altura cm	Diámetro cm	Carga cm	tiempo s	Promedio tiempo s	Permeabilidad mm/s	Desviación estándar
1	1	15.00	10.00	23.00	42.34	44.08	5.22	0.17
	2	15.00	10.00	23.00	44.54			
	3	15.00	10.00	23.00	45.35			
2	1	15.00	10.00	23.00	43.22	46.62	4.93	
	2	15.00	10.00	23.00	45.78			
	3	15.00	10.00	23.00	44.87			
3	1	15.00	10.0	23.00	41.76	43.19	5.32	
	2	15.00	10.00	23.00	44.98			
	3	15.00	10.00	23.00	42.84			

Fuente: Propia.

Tabla 6.38 Coeficiente de Permeabilidad Huso No 8 con A/C=0.38, %Vacíos =20.0

Espécimen No	Ensayo No	Altura cm	Diámetro cm	Carga cm	tiempo s	Promedio tiempo s	Permeabilidad mm/s	Desviación estándar
1	1	15.00	10.00	23.00	30.65	31.33	7.34	0.13
	2	15.00	10.00	23.00	32.45			
	3	15.00	10.00	23.00	30.90			
2	1	15.00	10.00	23.00	33.35	32.71	7.03	
	2	15.00	10.00	23.00	31.78			
	3	15.00	10.00	23.00	33.00			
3	1	15.00	10.0	23.00	31.73	32.17	7.15	
	2	15.00	10.00	23.00	33.80			
	3	15.00	10.00	23.00	30.98			

Fuente: Propia.

Tabla 6.39 Coeficiente de Permeabilidad Huso No 8 con A/C=0.38, %Vacíos =18.0 y C=510

Espécimen No	Ensayo No	Altura cm	Diámetro cm	Carga cm	tiempo s	Promedio tiempo s	Permeabilidad mm/s	Desviación estándar
1	1	15.00	10.00	23.00	48.89	49.58	4.64	0.03
	2	15.00	10.00	23.00	50.01			
	3	15.00	10.00	23.00	49.85			
2	1	15.00	10.00	23.00	47.67	48.74	4.72	
	2	15.00	10.00	23.00	48.56			
	3	15.00	10.00	23.00	50.00			
3	1	15.00	10.0	23.00	48.87	48.99	4.69	
	2	15.00	10.00	23.00	49.34			
	3	15.00	10.00	23.00	48.76			

Fuente: Propia.

Tabla 6.40 Coeficiente de Permeabilidad Huso No 8 con A/C=0.38, %Vacíos =18.0 C= 510 y Tiras de 2mm x 10mm en 0.075% del peso de la mezcla.

Espécimen No	Ensayo No	Altura cm	Diámetro cm	Carga cm	tiempo s	Promedio tiempo s	Permeabilidad mm/s	Desviación estándar
1	1	15.00	10.00	23.00	39.56	39.00	5.90	0.07
	2	15.00	10.00	23.00	37.98			
	3	15.00	10.00	23.00	39.45			
2	1	15.00	10.00	23.00	30.35	39.33	5.85	
	2	15.00	10.00	23.00	39.00			
	3	15.00	10.00	23.00	38.65			
3	1	15.00	10.0	23.00	37.90	38.22	6.02	
	2	15.00	10.00	23.00	39.76			
	3	15.00	10.00	23.00	37.00			

Fuente: Propia.

Tabla 6.41 Coeficiente de Permeabilidad Huso No 8 con A/C=0.38, %Vacíos =18.0 C= 510 y Tiras de 2mm x 10mm en 0.10% del peso de la mezcla.

Espécimen No	Ensayo No	Altura cm	Diámetro cm	Carga cm	tiempo s	Promedio tiempo s	Permeabilidad mm/s	Desviación estándar
1	1	15.00	10.00	23.00	37.00	38.06	5.96	0.09
	2	15.00	10.00	23.00	39.13			
	3	15.00	10.00	23.00	38.06			
2	1	15.00	10.00	23.00	40.25	39.97	5.75	
	2	15.00	10.00	23.00	38.00			
	3	15.00	10.00	23.00	41.67			
3	1	15.00	10.0	23.00	39.65	39.18	5.87	
	2	15.00	10.00	23.00	37.90			
	3	15.00	10.00	23.00	40.00			

Fuente: Propia.

Tabla 6.42 Coeficiente de Permeabilidad Huso No 8 con A/C=0.38, %Vacíos =18.0 C= 510 y Tiras de 2mm x 10mm en 0.20% del peso de la mezcla.

Espécimen No	Ensayo No	Altura cm	Diámetro cm	Carga cm	tiempo s	Promedio tiempo s	Permeabilidad mm/s	Desviación estándar
1	1	15.00	10.00	23.00	35.87	36.16	6.36	0.09
	2	15.00	10.00	23.00	37.19			
	3	15.00	10.00	23.00	35.43			
2	1	15.00	10.00	23.00	37.58	37.37	6.15	
	2	15.00	10.00	23.00	34.87			
	3	15.00	10.00	23.00	39.65			
3	1	15.00	10.0	23.00	36.75	36.42	6.32	
	2	15.00	10.00	23.00	33.56			
	3	15.00	10.00	23.00	38.94			

Fuente: Propia.

Tabla 6.43 Coeficiente de Permeabilidad Huso No 8 con A/C=0.38, %Vacíos =18.0 C= 510 y Tiras de 4mm x 20mm en 0.075% del peso de la mezcla.

Espécimen No	Ensayo No	Altura cm	Diámetro cm	Carga cm	tiempo s	Promedio tiempo s	Permeabilidad mm/s	Desviación estándar
1	1	15.00	10.00	23.00	49.08	49.58	4.64	0.04
	2	15.00	10.00	23.00	51.65			
	3	15.00	10.00	23.00	48.00			
2	1	15.00	10.00	23.00	47.78	48.56	4.74	
	2	15.00	10.00	23.00	49.89			
	3	15.00	10.00	23.00	48.00			
3	1	15.00	10.0	23.00	50.57	49.62	4.65	
	2	15.00	10.00	23.00	48.73			
	3	15.00	10.00	23.00	49.55			

Fuente: Propia.

Tabla 6.44 Coeficiente de Permeabilidad Huso No 8 con A/C=0.38, %Vacíos =18.0 C= 510 y Tiras de 4mm x 20mm en 0.10% del peso de mezcla.

Espécimen No	Ensayo No	Altura cm	Diámetro cm	Carga cm	tiempo s	Promedio tiempo s	Permeabilidad mm/s	Desviación estándar
1	1	15.00	10.00	23.00	50.79	50.87	4.52	0.02
	2	15.00	10.00	23.00	51.98			
	3	15.00	10.00	23.00	49.85			
2	1	15.00	10.00	23.00	51.56	50.49	4.56	
	2	15.00	10.00	23.00	50.00			
	3	15.00	10.00	23.00	49.90			
3	1	15.00	10.0	23.00	52.00	51.14	4.50	
	2	15.00	10.00	23.00	50.43			
	3	15.00	10.00	23.00	51.00			

Fuente: Propia.

Tabla 6.45 Coeficiente de Permeabilidad Huso No 8 con A/C=0.38, %Vacíos =18.0 C= 510 y Tiras de 4mm x 20mm en 0.20% del peso de la mezcla.

Espécimen No	Ensayo No	Altura cm	Diámetro cm	Carga cm	tiempo s	Promedio tiempo s	Permeabilidad mm/s	Desviación estándar
1	1	15.00	10.00	23.00	46.78	46.64	4.93	0.03
	2	15.00	10.00	23.00	47.24			
	3	15.00	10.00	23.00	45.90			
2	1	15.00	10.00	23.00	48.00	47.33	4.86	
	2	15.00	10.00	23.00	46.98			
	3	15.00	10.00	23.00	47.00			
3	1	15.00	10.0	23.00	46.55	47.3	4.86	
	2	15.00	10.00	23.00	48.03			
	3	15.00	10.00	23.00	47.32			

Fuente: Propia.

Tabla 6.46 Coeficiente de Permeabilidad Huso No 8 con $A/C=0.38$, %Vacíos =18.0 C= 510, Tiras de 4mm x 20mm en 0.10% del peso de la mezcla y 4.5ml/kg de cem. Glenium 7500.

Espécimen No	Ensayo No	Altura cm	Diámetro cm	Carga cm	tiempo s	Promedio tiempo s	Permeabilidad mm/s	Desviación estándar
1	1	15.00	10.00	23.00	51.49	51.45	4.47	0.03
	2	15.00	10.00	23.00	52.87			
	3	15.00	10.00	23.00	50.00			
2	1	15.00	10.00	23.00	52.32	52.4	4.39	
	2	15.00	10.00	23.00	51.23			
	3	15.00	10.00	23.00	53.65			
3	1	15.00	10.0	23.00	50.07	51.93	4.43	
	2	15.00	10.00	23.00	52.32			
	3	15.00	10.00	23.00	53.40			

Fuente: Propia.

Interpretación: El coeficiente de permeabilidad promedio obtenido para el concreto elaborado con agregado de Huso N° 8: Sin Tiras, C= 430k, V=18% con $A/C= 0.32$ es 6.55 mm/s, con $A/C= 0.35$ es 5.9 mm/s, con $A/C= 0.38$ es 5.16 mm/s.

Sin tiras, C=430k, V=20% con $A/C= 0.32$ es 8.98 mm/s, con $A/C= 0.35$ es 8.15 mm/s, con $A/C= 0.38$ es 7.17 mm/s. Sin tiras, C=510kg, V=18%, $A/C= 0.38$ es de 4.68 mm/s.

Con tira-1 C=510kg, V=18%, $A/C= 0.38$ tenemos con 0.075% es 5.92 mm/s, con 0.1% es 5.86 mm/s, con 0.2% es 6.28 mm/s.

Con tira-2 C=510kg, V=18%, $A/C= 0.38$ tenemos con 0.075% es 4.68 mm/s, con 0.1% es 4.53 mm/s, con 0.2% es 4.88 mm/s. Con C=510kg, V=18%, $A/C= 0.38$, tira-2, 42.5 ml/kg de cem. De Glenium 7500 es 4.43 mm/s.

Se observó que, manteniendo la cantidad de cemento y el porcentaje de vacíos, pero variando la relación agua/cemento no varía considerablemente la permeabilidad, pero si aumentamos el porcentaje de vacíos aumenta la permeabilidad.

Sin embargo, si aumentamos la cantidad de cemento, mantenemos la relación agua/cemento y el porcentaje de vacíos desciende levemente la permeabilidad. Por otra parte, se observa que la incorporación de Tiras no varía considerablemente en la Permeabilidad del concreto permeable.

En la Tabla 6.47 se observa la comparación de los valores de porcentaje de vacíos vs el coeficiente de permeabilidad hallado para testigos elaborados con la gradación natural (Huso N° 8).

Tabla 6. 47 Comparación entre el Coeficiente de Permeabilidad y el Porcentaje de Vacíos.

CODIGO	Porcentaje de vacíos (%)		Coeficiente de permeabilidad k (mm/s)	
	Diseño	Estado fresco	K de muestras	K según ACI
M-1,ST	18	18,66	6,55	oscila entre 1.4 a 12.2 mm/s
M-2,ST	20	20,11	8,98	
M-3,ST	18	18,01	5,9	
M-4,ST	20	20,12	8,15	
M-5,ST	18	18,37	5,16	
M-6,ST	20	20,01	7,17	
M-7,ST	18	17,95	4,68	
M-8,CT-1	18	18,42	5,92	
M-9,CT-1	18	18,47	5,86	
M-10,CT-1	18	18,6	6,28	
M-11,CT-2	18	18,09	4,68	
M-12,Ct-2	18	18,12	4,53	
M-13,CT-2	18	18,4	4,88	
M-14,CT-2,Glenium	18	18,09	4,43	

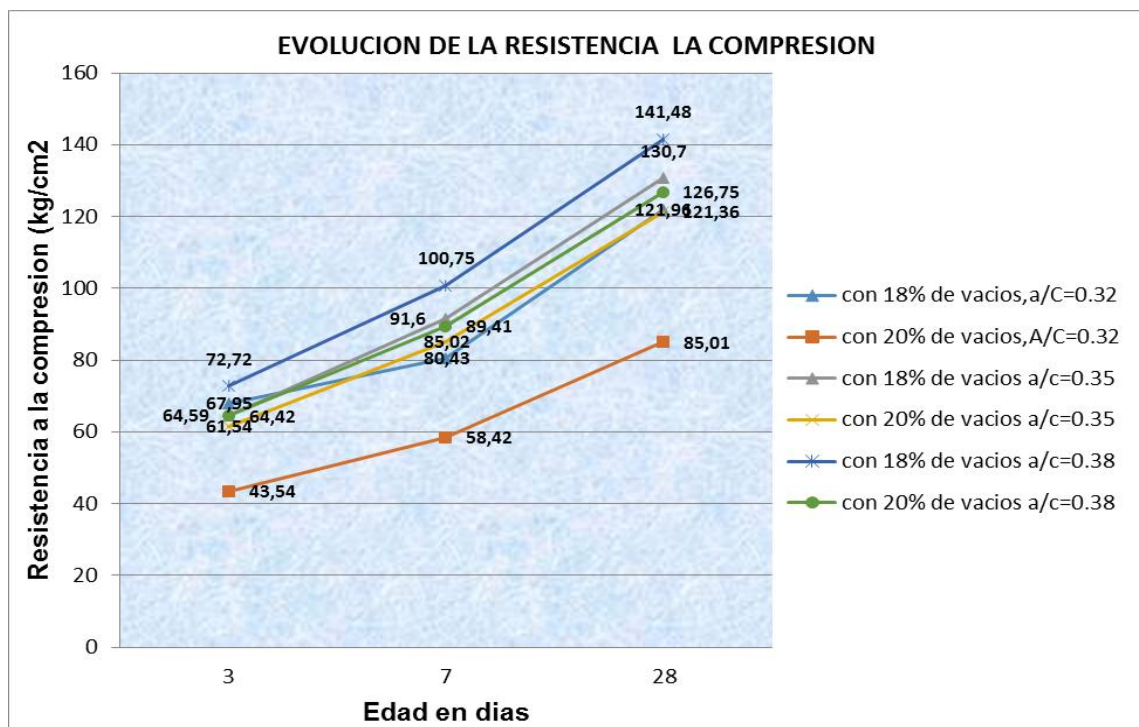
Fuente: Propia.

6.2.2 COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

En la Fig. 6.3 se presentan los resultados de los ensayos de resistencia a compresión a 3,7 y 28 días, como función del contenido de pasta de cemento para razones w/c variables de 0.32 a 0,38. Se puede observar que la resistencia a la compresión del hormigón poroso aumenta cuando la pasta ocupa el 30% del volumen total (0.30m³/ m³ de hormigón).

A mayor razón w/c mayor es la resistencia. Debe recordarse que la cantidad total de pasta de cemento solo alcanza para recubrir los áridos dejando una cantidad considerable de vacíos entre las partículas. Un aumento en la trabajabilidad de la pasta de cemento permitiría cubrir de un modo más efectivo los áridos, generando más y mejores puntos de contactos (meniscos), lo que repercutiría en una mayor resistencia de la estructura.

Figura 6.5 Comparación de la evolución de la resistencia a la compresión con dosis de cemento constante y A/C variable.

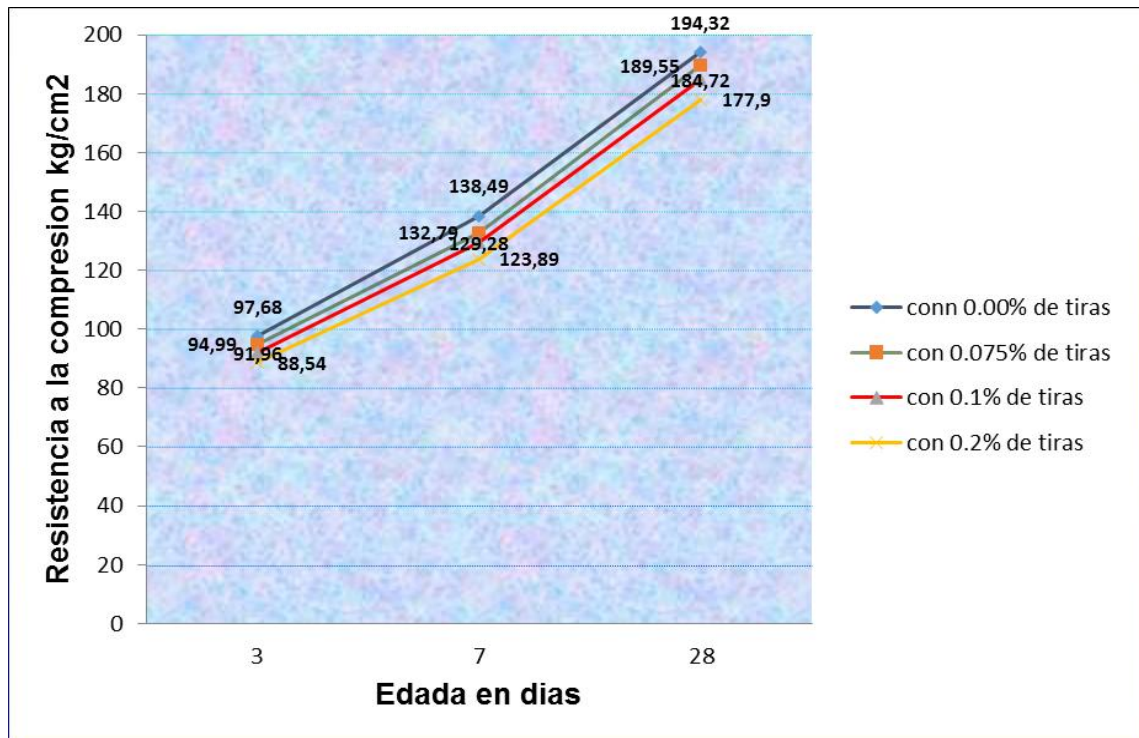


Fuente: Propia.

Las probetas elaboradas con la granulometría del tamaño estándar N° 8 (ASTM C33) son las que presentan las resistencias a la compresión más altas, coincidentemente la Norma ACI 211.3r-02 “Guía para la Selección de Proporciones para Concretos con Bajo Slump”, recomienda el uso de esta granulometría en el diseño de Mezcla del Concreto Permeable para obtener los mejores resultados de Propiedades Mecánicas (Resistencia a la Compresión y flexión), en la figura se ratifican los resultados, con una resistencia promedio máxima de 194.32 kg/cm² desarrollada a los 28 días, esto se logró aumentando la cantidad de cemento de 430kg a 510kg con A/C= 0.38.

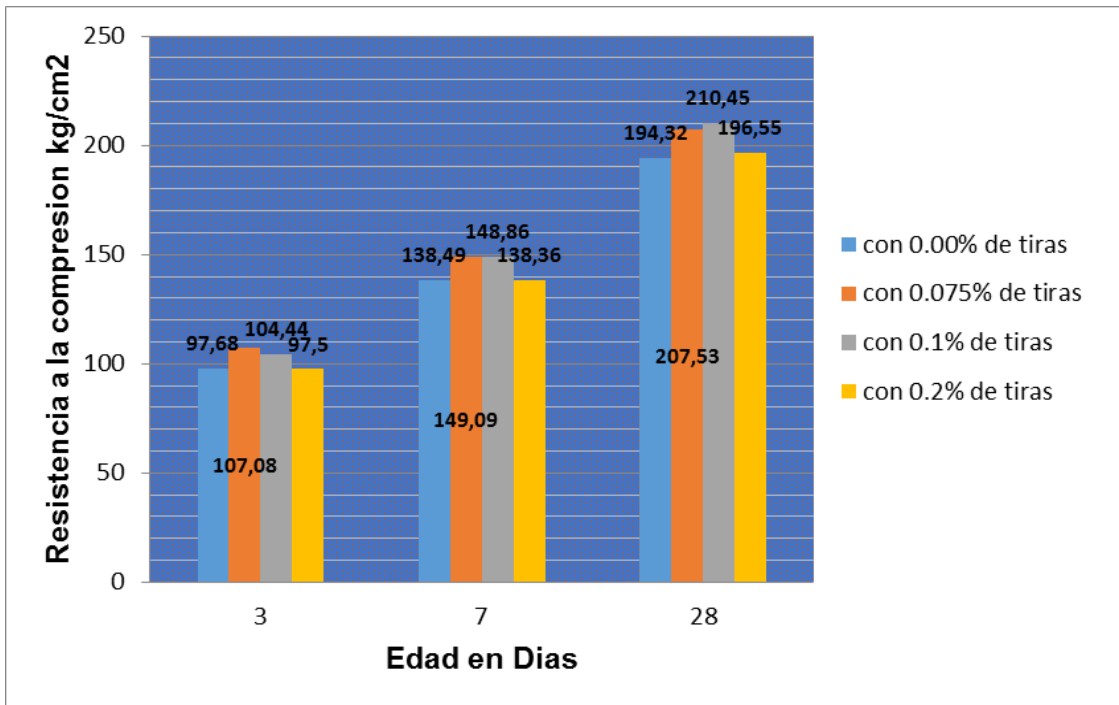
Es precisamente este valor es el que se desea elevar mediante la incorporación de Tiras de Polipropileno (2mm. x 10mm y 4mm x 20mm.), siendo nuestro objetivo principal.

Figura 6.6 Comparación de la evolución de la resistencia a la compresión con diferentes porcentajes de Tira (2mm x 10mm)



Fuente: Propia.

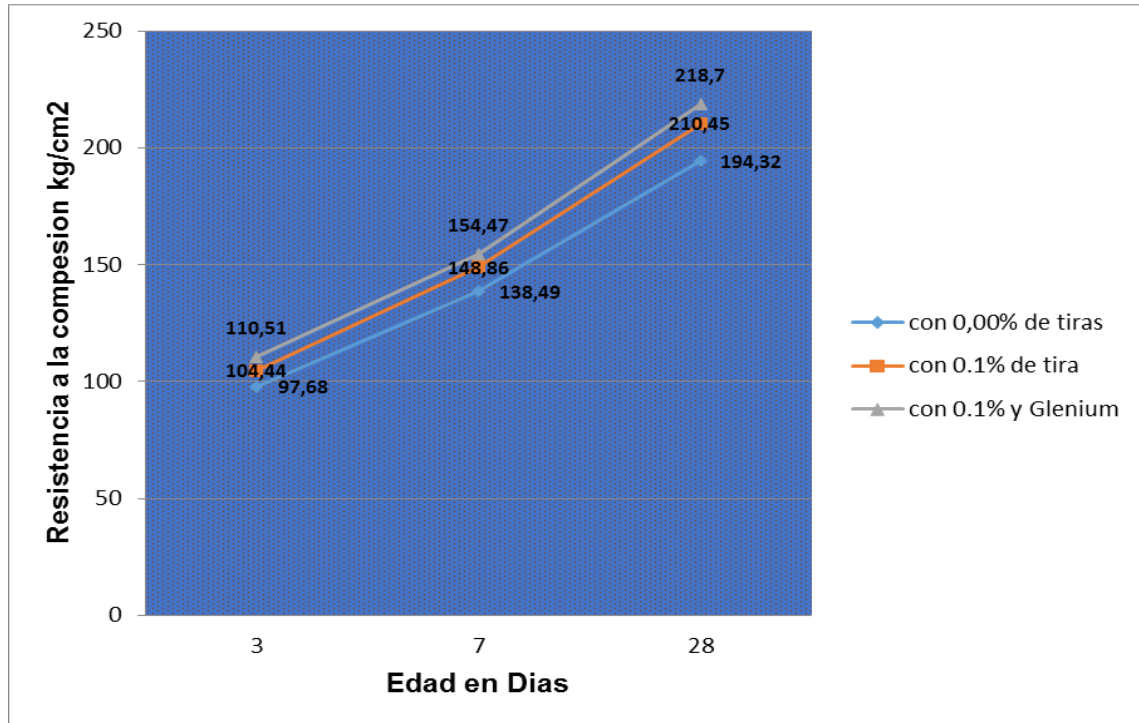
Figura 6.7 Comparación de la evolución de la resistencia a la compresión con diferente porcentaje de Tira (4mm x 20mm).



Fuente: Propia.

Interpretación de resultados: Según la fig. 6.4 podemos observar que la incorporación de tiras de polipropileno (2mm x 10mm) en un 0.075%, 0.1%, 0.2% disminuye la resistencia a la compresión promedio (a los 28 días) del mismo diseño sin tiras en un 2.4%, 4.9% y 8.4% respectivamente. En la fig. 6.7 observamos que la incorporación de tiras de polipropileno (4mm x 20mm) en un 0.075%, 0.1%, 0.2% aumenta la resistencia a la compresión promedio (a los 28 días) en un 6.8%, 8.3%, 1.2% respectivamente. Por lo que podemos concluir que la tira de mejor comportamiento es la de 4mm x 20mm incorporada en un 0.1% con respecto al peso de la mezcla por lo cual se le aplicó el aditivo reductor de agua Glenium 7500 con 42.5 ml/kg de cemento en la fig. 6.8 podemos ver el comportamiento.

Figura 6.8 Comparación de la evolución de la resistencia a la compresión con Tira (4mm x 20mm) y Glenium.



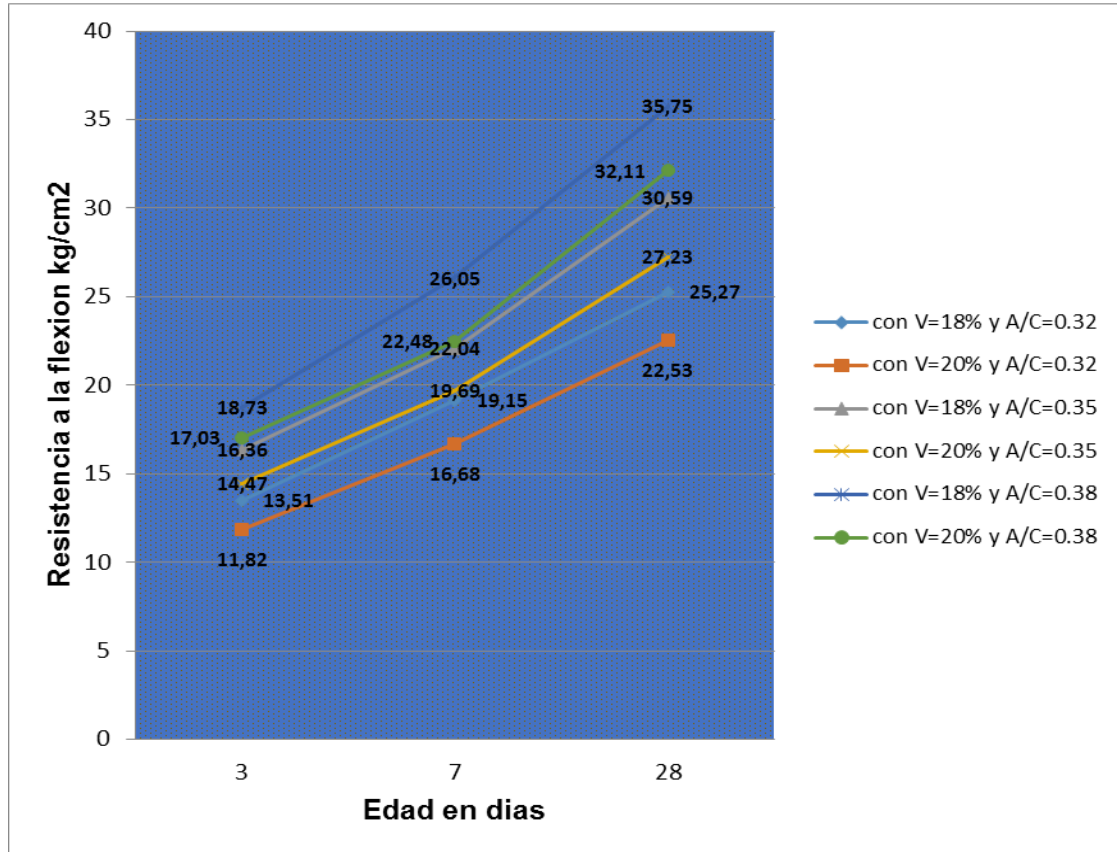
Fuente: Propia

Interpretación de resultados: observamos que al aplicar el aditivo reductor de agua plastificante Glenium 7500 se redujo el agua al trabajar con una relación A/C= 0.30, la mezcla presento más trabajabilidad y aumento la resistencia a la compresión promedio (a los 28 días) en un 3.9% más que el porcentaje de aumento que provoco la tira de mejor comportamiento.

6.2.3 COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXION

Analizando los datos de la Fig. 6.7, se puede notar que los resultados de resistencia a la flexión promedio a los 3,7 y 28 días de edad que se obtienen varían en orden ascendente de acuerdo al aumento de la relación A/C de 0.32 a 0.38 manteniendo la cantidad de cemento constante. Por otra parte, evaluamos el efecto de la cantidad de vacíos el 18% y el 20%.

Figura 6. 9 Comparación de la evolución de la resistencia a la flexión sin Tiras

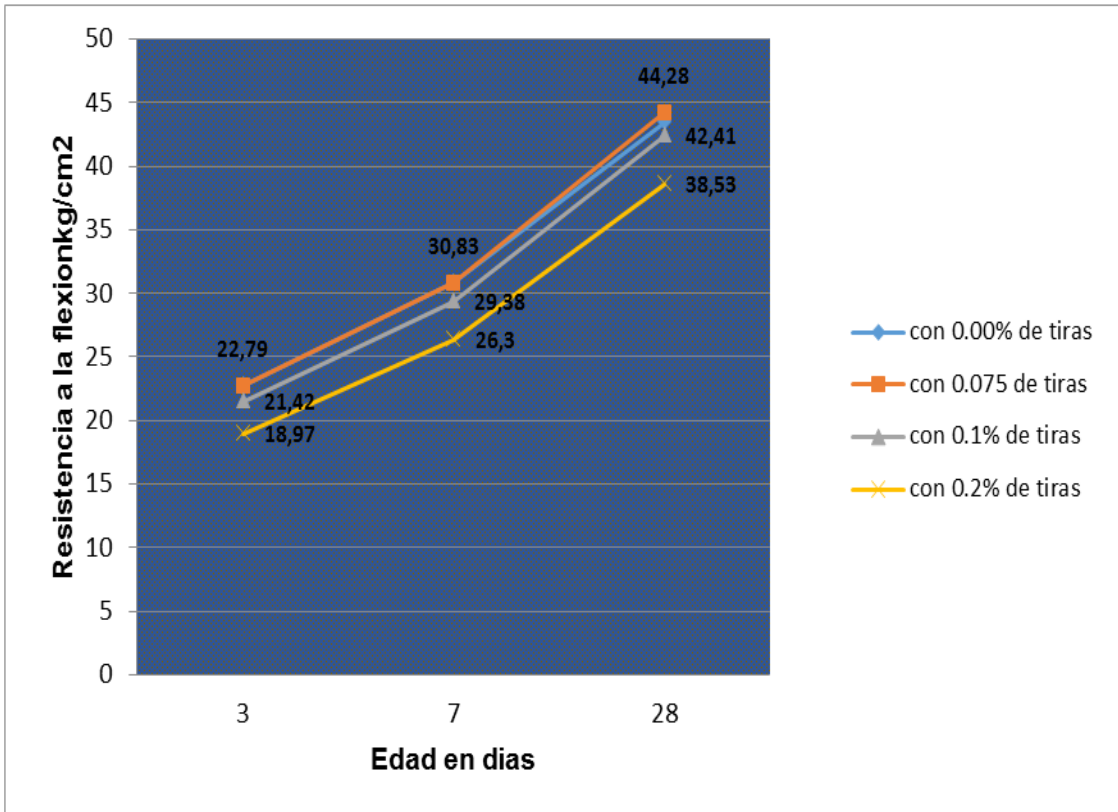


Fuente: Propia

Interpretación de resultados: la fig. 6.9 nos muestra que al mantener una dosis de cemento constante con diferentes relaciones A/C la resistencia a la flexión promedio a los 28 días aumenta de un 25.27 a un 35.75 kg/cm² con el 18% de vacíos y de un 22.53 a un 32.11 kg/cm² con el 20% de vacíos.

Analizando los datos de la Fig. 6.10, se puede notar que los resultados de resistencia a la flexión promedio a los 3,7 y 28 días de edad que se obtienen al incrementar la dosis de cemento, manteniendo la relación A/C constante, aumenta con respecto a la dosis anterior de cemento, pero al adicionar tira de polipropileno (2mm x 10mm) descende.

Figura 6.10 Comparación de la evolución de la resistencia a la flexión aumentando la dosis de cemento y con Tiras (2mm x 10mm)

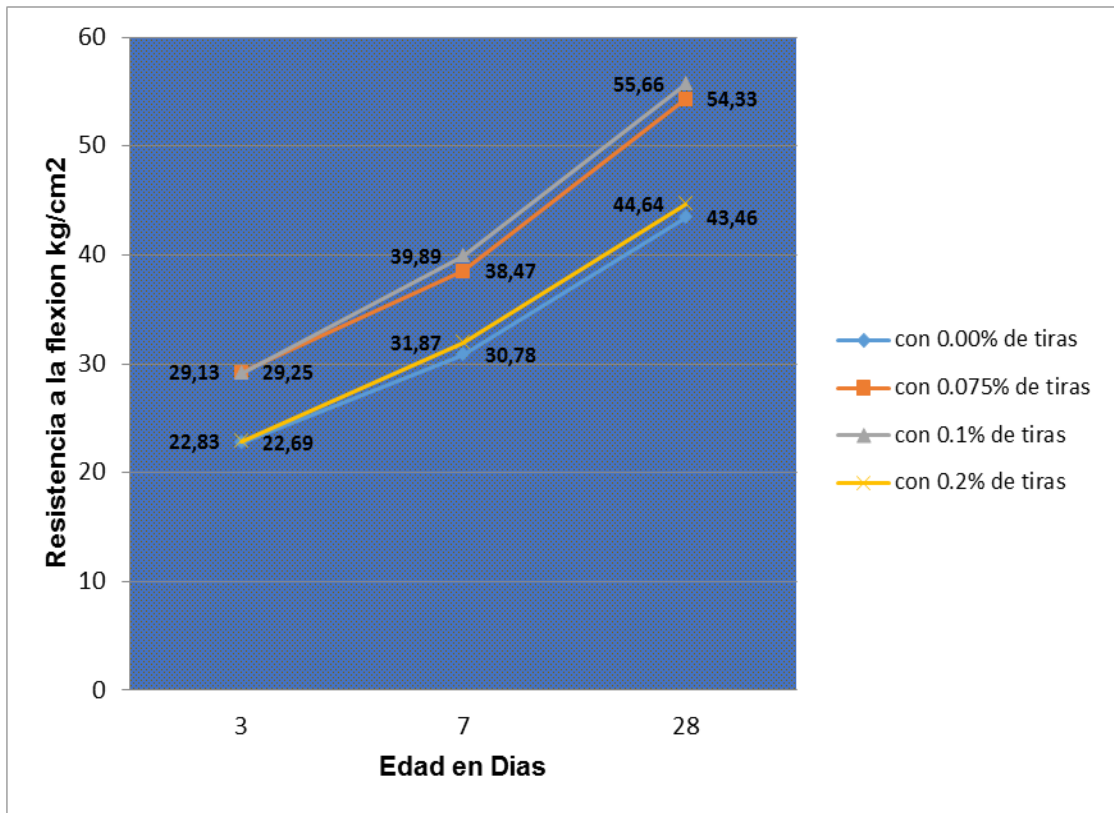


Fuente: Propia

Interpretación de resultados: la fig. 6.10 nos muestra que al aumentar la dosis de cemento con la relación A/C= 0.38 constante y con 18% de vacíos la resistencia a la flexión promedio a los 28 días aumenta en un 21.6% con respecto a la dosis de cemento anterior, y a esta última se le adiciono la tira (2mm xm10mm) en 0.075% que aumento la resistencia en un 1.9% ,0.1% bajo la resistencia en un 2.4% y con 0.2% bajo la resistencia en un 11.3%.

Analizando los datos de la Fig. 6.11, se puede notar que los resultados de resistencia a la flexión promedio a los 3,7 y 28 días de edad que se obtienen al incrementar la dosis de cemento, manteniendo la relación A/C constante y al adicionar tiras de polipropileno (4mm x 20mm) aumenta con respecto a la dosis anterior de cemento.

Figura 6.11 Comparación de la evolución de la resistencia a la flexión aumentando la dosis de cemento y con Tiras (4mm x 20mm)

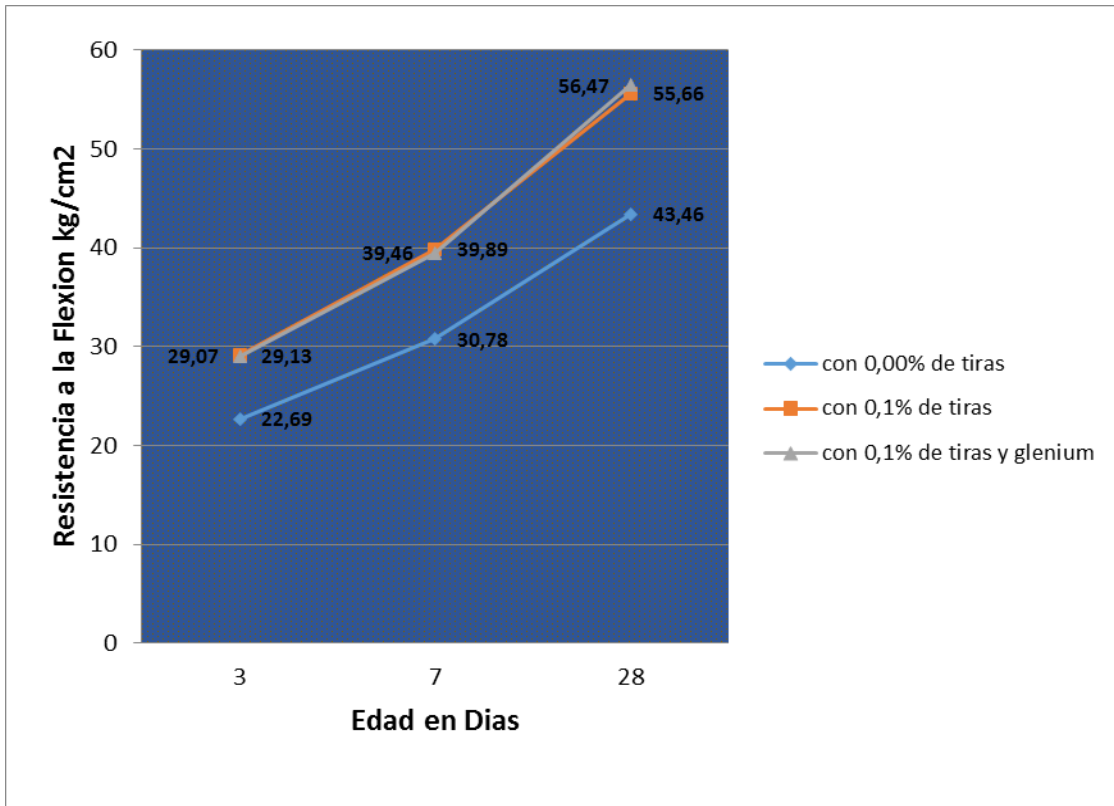


Fuente: Propia

Interpretación de resultados: la fig. 6.11 nos muestra que al aumentar la dosis de cemento con la relación A/C= 0.38 constante y con 18% de vacíos la resistencia a la flexión promedio a los en un 28 día aumenta en un 21.6% con respecto a la dosis de cemento anterior, pero al adicionarle la tira (2mm xm10mm) en 0.075%,0.1%,0.2% del peso de la mezcla aumenta la resistencia en 25.0,27.8% y 2.7% respectivamente.

Analizando los datos de la Fig. 6.12, se puede notar que los resultados de resistencia a la flexión promedio a los 3,7 y 28 días de edad que se obtienen con la dosis de cemento optima, relación A/C optima, porcentaje de tiras (4mm x 20mm) optimo y la adición de 42.5 ml/kg de cemento de Glenium 7500 aditivo reductor de agua plastificante aumenta con respecto a las mezclas anteriores.

Figura 6.12 Comparación de la evolución de la resistencia a la flexión aumentando la dosis de cemento, con Tiras (4mm x 20mm) y Glenium 7500.



Fuente: Propia

Interpretación de resultados: en la fig. 6.12 observamos el comportamiento del diseño de mezcla optimo primeramente mejorado con un 0.1% de tira (4mm x 20mm) del peso de la mezcla y por último se le adiciono 42.5ml/kg de cemento de Glenium 7500 aditivo reductor de agua/plastificante, teniendo como resultado un aumento del 1.6% en la resistencia a la flexión con el aditivo.

CAPITULO VII

VALIDACION DE LAS HIPOTESIS PLANTEADAS

7.1 ANALISIS ESTADISTICO

7.1.1 ANALISIS ESTADISTICO: RESISTENCIA A LA COMPRESION

Tabla 7.1 datos de resistencia a la compresión a 28 días diseño No 1.

	MUESTRAS	F'c (Xi)
RESISTENCIA A LA COMPRESION (Fc) OBTENIDA A LOS 28 DIAS CON A/C=0,32, V=18%, C=430KG	D-1-M-31	126,55
	D-1-M-32	122,38
	D-1-M-33	123,47
	D-1-M-34	120,04
	D-1-M-35	117,37
	D-1-M-36	121,35
	D-1-M-37	119,50
	D-1-M-38	126,75
	D-1-M-39	120,55
	D-1-M-40	118,45
	D-1-M-41	116,35
	D-1-M-42	122,65
	D-1-M-43	121,95
	D-1-M-44	117,25
	D-1-M-45	123,45

Fuente: Propia

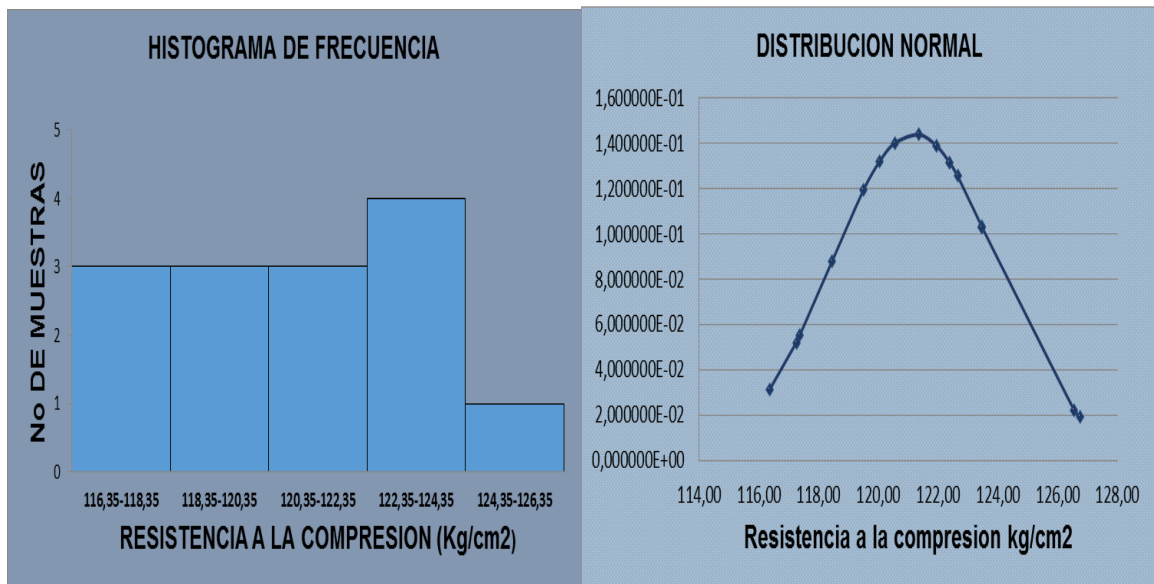
Tabla 7.2 análisis estadístico a 28 días diseño 1.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi*Xi	Xi-u	Xi-u ²	fi*(Xi-u) ²
(116,35 118,35>	117,35	3	3	352,05	-3,87	14,98	44,93
(118,35 120,35>	119,35	3	6	358,05	-1,87	3,50	10,49
(120,35 122,35>	121,35	3	9	364,05	0,13	0,02	0,05
(122,35 124,35>	123,35	4	13	493,4	2,13	4,54	18,15
(124,35 126,35>	125,35	2	15	250,7	4,13	17,06	34,11
		15		1818,25		40,08	107,73

NUMERO DE MUESTRA N				15,00
RANGO DE DATOS :RX	Xmax=126,55	Xmin=116,35	10,2	10
NUMERO DE INTERVALOS DE CLASE :K				5,07
ANCHO O TAMAÑO DE INTERVALOS DE CLASE :C				2,00
MEDIA :U				121,22
MEDIANA :Um	U>Um>Xo-->Der;U<Um<Xo-->Izq.			121,23
MODA : Uo				123,02
VARIANZA : δ^2				7,70
DESVIACION ESTANDAR : δ				2,77
COEFICIENTE DE VARIACION :CV				2,20
PERCENTIL :	P ₁₀ >= 1,50			116,48
PERCENTIL :	P ₂₅ >= 3,75			118,85
PERCENTIL :	P ₅₀ >= 7,50			121,35
PERCENTIL :	P ₇₅ >= 11,25			124,42
PERCENTIL :	P ₉₀ >= 13,5			124,85
PRIMER COEFICIENTE PEARSON : AS	AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.			-0,65
SEGUNDO COEFICIENTE DE PEARSON : AS	AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.			0,14
COEFICIENTE DE CURTOSIS : K	k<0,263-->Lepto; k=0,263-->Meso; k>0,263-->Plati			0,33

Fuente: Propia

Figura 7. 1 Histograma de frecuencias y distribución normal



Fuente: Propia

Tabla 7.3 datos de resistencia a la compresión a 28 días diseño No 2.

RESISTENCIA A LA COMPRESION (F'C) OBTENIDA A LOS 28 DIAS CON A/C=0,32, V=20%, C=430KG	MUESTRAS	F'c (Xi)
	D-2-M-76	87,43
	D-2-M-77	83,45
	D-2-M-78	85,47
	D-2-M-79	83,89
	D-2-M-80	84,78
	D-2-M-81	80,10
	D-2-M-82	84,10
	D-2-M-83	85,45
	D-2-M-84	86,50
	D-2-M-85	81,60
	D-2-M-86	88,30
	D-2-M-87	82,50
	D-2-M-88	88,00
D-2-M-89	82,95	
D-2-M-90	86,75	

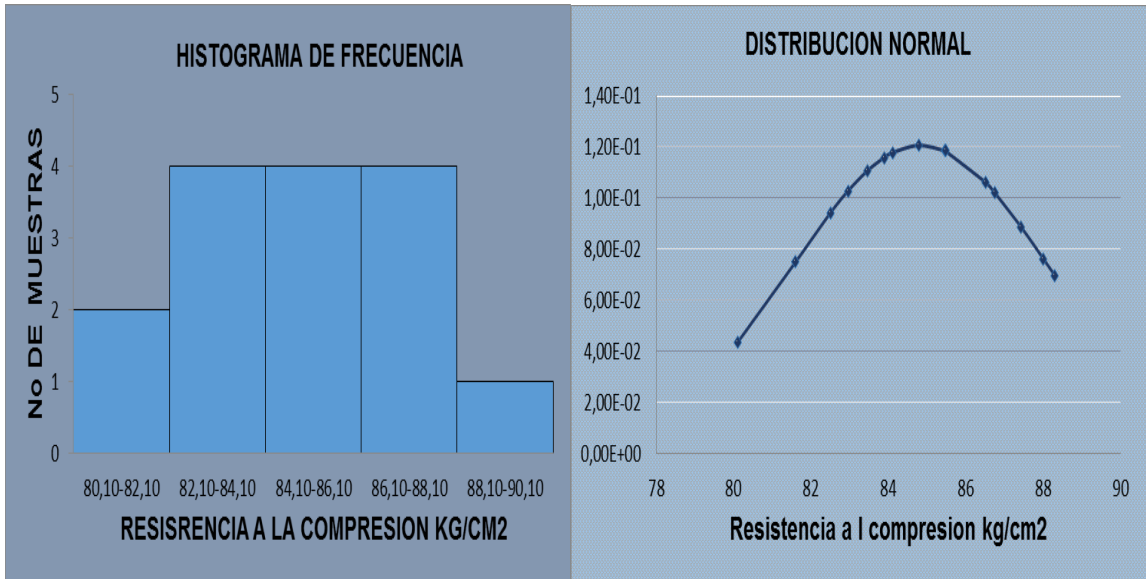
Fuente: Propia

Tabla 7.4 Análisis estadístico a 28 días diseño 2.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi*Xi	Xi-u	Xi-u ²	fi*(Xi-u) ²	
(80,10 82,10>	81,1	2	2	162,2	-3	9,00	18,00	
(82,10 84,10>	83,1	4	6	332,4	-1	1,00	4,00	
(84,10 86,10>	85,1	4	10	340,4	1	1,00	4,00	
(86,10 88,10>	87,1	4	14	348,4	3	9,00	36,00	
(88,10 90,10>	89,1	1	15	89,1	5	25,00	25,00	
		15		1272,5		45,00	87,00	
NUMERO DE MUESTRA N							15,00	
RANGO DE DATOS :RX		Xmax=88,30		Xmin=80,10		8,2	6,00	
NUMERO DE INTERVALOS DE CLASE :K							5,06	5,00
ANCHO O TAMAÑO DE INTERVALOS DE CLASE :C							1,62	2,00
MEDIA :U								84,83
MEDIANA :Um		U>Um>Xo-->Der;U<Um<Xo-->Izq.						85,10
MODA : Uo								84,10
VARIANZA :δ²								6,21
DESVIACION ESTANDAR :δ								3,31
COEFICIENTE DE VARIACION :CV								3,90
PERCENTIL :		P₁₀ >= 1,50						81,10
PERCENTIL :		P₂₅ >= 3,75						82,98
PERCENTIL :		P₅₀ >= 7,50						84,85
PERCENTIL :		P₇₅ >= 11,25						86,72
PERCENTIL :		P₉₀ >= 13,5						87,85
PRIMER COEFICIENTE PEARSON : AS			AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.					0,22
SEGUNDO COEFICIENTE DE PEARSON : AS			AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.					-0,13
COEFICIENTE DE CURTOSIS : K			k<0,263-->Lepto; k=0,263-->Meso; k>0,263-->Plati					0,28

Fuente: Propia

Figura 7. 2 Histograma de frecuencias y distribución normal diseño 2.



Fuente: Propia

Tabla 7.5 datos de resistencia a la compresión a 28 días diseño No 3.

RESISTENCIA A LA COMPRESION (F'C) OBTENIDA A LOS 28 DIAS CON A/C=0,35, V=18%, C=430KG	MUESTRAS	F'c (Xi)
	D-3-M-121	132,99
	D-3-M-122	129,38
	D-3-M-123	128,61
	D-3-M-124	130,66
	D-3-M-125	131,88
	D-3-M-126	128,10
	D-3-M-127	130,00
	D-3-M-128	135,45
	D-3-M-129	133,75
	D-3-M-130	127,40
	D-3-M-131	129,35
	D-3-M-132	136,25
	D-3-M-133	132,15
	D-3-M-134	126,45
	D-3-M-135	134,05

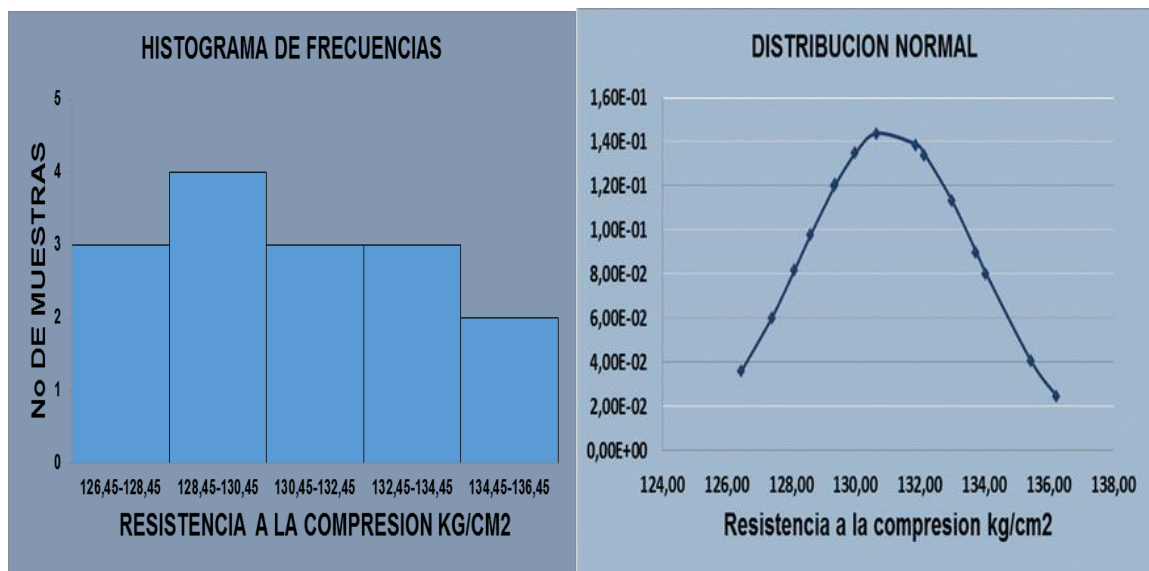
Fuente: Propia

Tabla 7.6 Análisis estadístico a 28 días diseño 3.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi*Xi	Xi-u	Xi-u ²	fi*(Xi-u) ²	
(126,45 128,45>	127,45	3	3	382,35	-3,60	12,96	38,88	
(128,45 130,45>	129,45	4	7	517,8	-1,60	2,56	10,24	
(130,45 132,45>	131,45	3	10	394,35	0,40	0,16	0,48	
(132,45 134,45>	133,45	3	13	400,35	2,40	5,76	17,28	
(134,45 136,45>	135,45	2	15	270,9	4,40	19,36	38,72	
		15		1965,75		40,80	105,60	
NUMERO DE MUESTRA N							15,00	
RANGO DE DATOS :RX		Xmax=136,25		Xmin=126,45		9,8	6,00	
NUMERO DE INTERVALOS DE CLASE :K							5,06	
ANCHO O TAMAÑO DE INTERVALOS DE CLASE :C							1,94	
MEDIA :U							131,05	
MEDIANA :Um		U>Um>Xo-->Der;U<Um<Xo-->Izq.						131,12
MODA : Uo							129,45	
VARIANZA :δ²							7,54	
DESVIACION ESTANDAR :δ							2,75	
COEFICIENTE DE VARIACION :CV							2,08	
PERCENTIL :		P₁₀ >= 1,50					127,45	
PERCENTIL :		P₂₅ >= 3,75					128,83	
PERCENTIL :		P₅₀ >= 7,50					130,78	
PERCENTIL :		P₇₅ >= 11,25					133,28	
PERCENTIL :		P₉₀ >= 13,5					134,95	
PRIMER COEFICIENTE PEARSON : AS			AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.				0,58	
SEGUNDO COEFICIENTE DE PEARSON : AS			AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.				-0,45	
COEFICIENTE DE CURTOSIS : K			k<0,263-->Lepto; k=0,263-->Meso; k>0,263-->Plati				0,33	

Fuente: Propia

Figura 7. 3 Histograma de frecuencias y distribución normal diseño 3



Fuente: Propia

Tabla 7.7 datos de resistencia a la compresión a 28 días diseño No 4.

RESISTENCIA A LA COMPRESION (F'c) OBTENIDA A LOS 28 DIAS CON A/C=0,35, V=20%, C=430KG	MUESTRAS	F'c (Xi)
	D-4-M-166	122,82
	D-4-M-167	120,55
	D-4-M-168	123,10
	D-4-M-169	121,60
	D-4-M-170	118,71
	D-4-M-171	116,30
	D-4-M-172	117,25
	D-4-M-173	119,35
	D-4-M-174	118,85
	D-4-M-175	122,00
	D-4-M-176	124,65
	D-4-M-177	121,95
	D-4-M-178	120,65
	D-4-M-179	123,35
D-4-M-180	124,00	

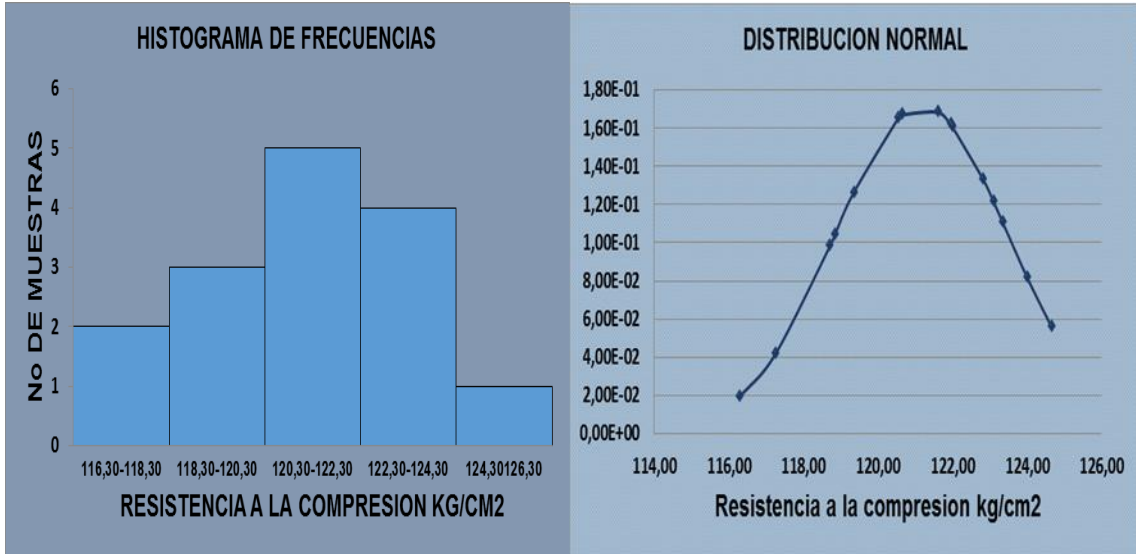
Fuente: Propia

Tabla 7.8 Análisis estadístico a 28 días diseño 4.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi*Xi	Xi-u	Xi-u ²	fi*(Xi-u) ²	
(116,30 118,30>	117,3	2	2	234,6	-3,87	14,98	29,95	
(118,30 120,30>	119,3	3	5	357,9	-1,87	3,50	10,49	
(120,30 122,30>	121,3	5	10	606,5	0,13	0,02	0,08	
(122,30 124,30>	123,3	4	14	493,2	2,13	4,54	18,15	
(124,30 126,30>	125,3	1	15	125,3	4,13	17,06	17,06	
		15		1817,5		40,08	75,73	
NUMERO DE MUESTRA N							15,00	
RANGO DE DATOS :RX		Xmax=124,65		Xmin=116,30		8,35	8,00	
NUMERO DE INTERVALOS DE CLASE :K							5,06	5,00
ANCHO O TAMAÑO DE INTERVALOS DE CLASE :C							1,65	2,00
MEDIA :U								121,17
MEDIANA :Um		U>Um>Xo-->Der;U<Um<Xo-->Izq.						121,50
MODA : Uo								121,63
VARIANZA :δ ²								5,41
DESVIACION ESTANDAR :δ								2,33
COEFICIENTE DE VARIACION :CV								1,90
PERCENTIL :		P ₁₀ >= 1,50						117,80
PERCENTIL :		P ₂₅ >= 3,75						119,05
PERCENTIL :		P ₅₀ >= 7,50						121,30
PERCENTIL :		P ₇₅ >= 11,25						122,93
PERCENTIL :		P ₉₀ >= 13,5						124,05
PRIMER COEFICIENTE PEARSON : AS			AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.					-0,20
SEGUNDO COEFICIENTE DE PEARSON : AS			AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.					-0,26
COEFICIENTE DE CURTOSIS : K			k<0,263-->Lepto; k=0,263-->Meso; k>0,263-->Plati					0,31

Fuente: Propia

Figura 7. 4 Histograma de frecuencias y distribución normal diseño 4.



Fuente: Propia

Tabla 7.9 datos de resistencia a la compresión a 28 días diseño No 5.

RESISTENCIA A LA COMPRESION (F'C) OBTENIDA A LOS 28 DIAS CON A/C=0,38, V=18%, C=430KG		MUESTRAS	F'c (Xi)
		D-5-M-211	141,14
		D-5-M-212	142,39
		D-5-M-213	139,17
		D-5-M-214	141,92
		D-5-M-215	142,81
		D-5-M-216	138,65
		D-5-M-217	137,85
		D-5-M-218	145,95
		D-5-M-219	143,90
		D-5-M-220	143,10
		D-5-M-221	141,75
		D-5-M-222	140,85
		D-5-M-223	139,45
		D-5-M-224	138,15
		D-5-M-225	140,25

Fuente: Propia

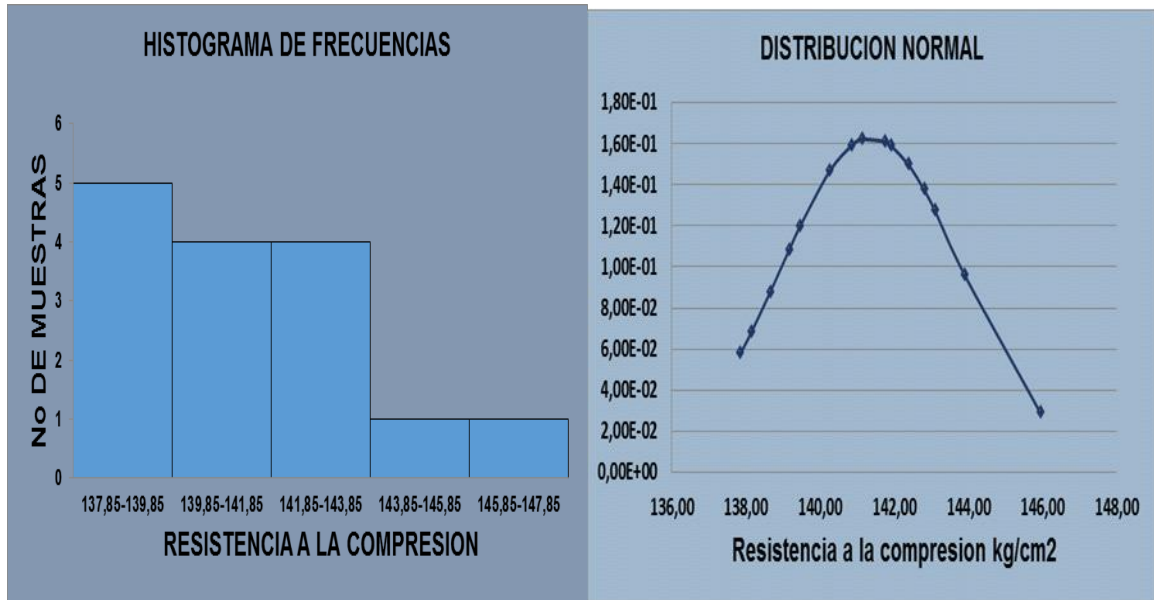
Tabla 7.10 Análisis estadístico a 28 días diseño 5.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi*Xi	Xi-u	Xi-u ²	fi*(Xi-u) ²
137,85 139,85>	138,85	5	5	694,25	-2,53	6,40	32,00
(139,85 141,85>	140,85	4	9	563,4	-0,53	0,28	1,12
(141,85 143,85>	142,85	4	13	571,4	1,47	2,16	8,64
(143,85 145,85>	144,85	1	14	144,85	3,47	12,04	12,04
(145,85 147,85>	146,85	1	15	146,85	5,47	29,92	29,92
		15		2120,75		50,80	83,73

NUMERO DE MUESTRA N		15,00
RANGO DE DATOS :RX	Xmax=145,95	Xmin=137,85
		8,1
NUMERO DE INTERVALOS DE CLASE :K		5,06
ANCHO O TAMANO DE INTERVALOS DE CLASE :C		1,60
MEDIA :U		141,38
MEDIANA :Um	U>Um>Xo-->Der;U<Um<Xo-->lzq.	141,35
MODA : Uo		139,51
VARIANZA : δ^2		5,98
DESVIACION ESTANDAR : δ		2,45
COEFICIENTE DE VARIACION :CV		1,73
PERCENTIL :	P ₁₀ >= 1,50	138,45
PERCENTIL :	P ₂₅ >= 3,75	139,35
PERCENTIL :	P ₅₀ >= 7,50	141,10
PERCENTIL :	P ₇₅ >= 11,25	142,98
PERCENTIL :	P ₉₀ >= 13,5	144,85
PRIMER COEFICIENTE PEARSON : AS	AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.	0,76
SEGUNDO COEFICIENTE DE PEARSON : AS	AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.	-0,10
COEFICIENTE DE CURTOSIS : K	k<0,263-->Lepto; k=0,263-->Meso; k>0,263-->Plati	0,28

Fuente: Propia

Figura 7. 5 Histograma de frecuencias y distribución normal diseño 5.



Fuente: Propia

Tabla 7.11 datos de resistencia a la compresión a 28 días diseño No 6.

RESISTENCIA A LA COMPRESION (F'c) OBTENIDA A LOS 28 DIAS CON A/C=0,38, V=20%, C=430KG	MUESTRAS	F'c (Xi)
	D-6-M-256	127,41
	D-6-M-257	126,33
	D-6-M-258	118,25
	D-6-M-259	125,38
	D-6-M-260	128,11
	D-6-M-261	122,25
	D-6-M-262	125,00
	D-6-M-263	123,50
	D-6-M-264	120,25
	D-6-M-265	124,45
	D-6-M-266	123,15
	D-6-M-267	124,35
	D-6-M-268	127,20
	D-6-M-269	122,60
D-6-M-270	128,00	

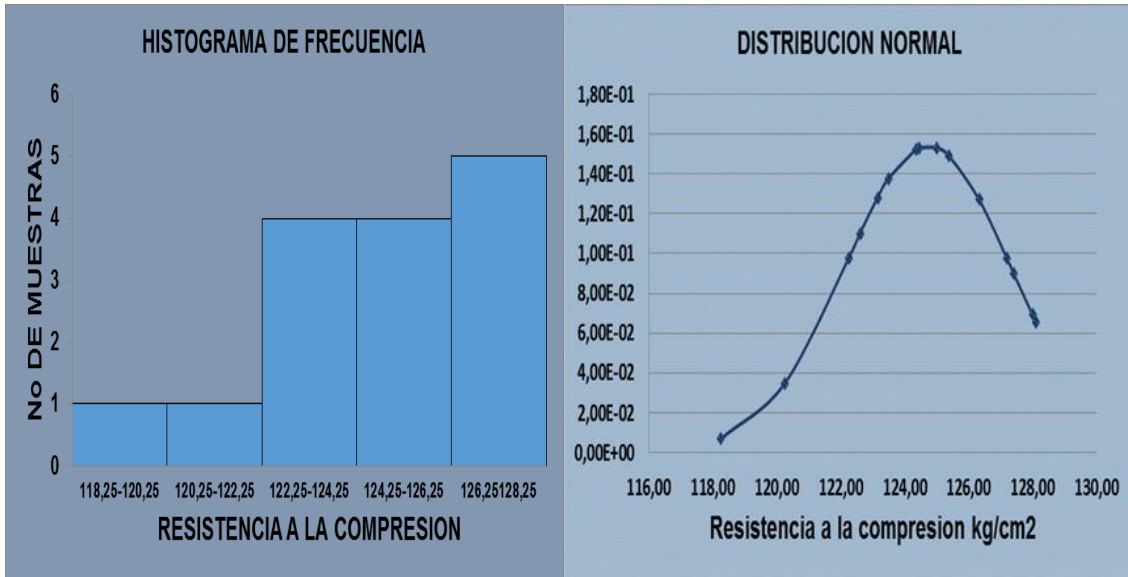
Fuente: Propia

Tabla 7.12 Análisis estadístico a 28 días diseño 6.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi*Xi	Xi-u	Xi-u ²	fi*(Xi-u) ²		
(118,25 120,25>	119,25	1	1	119,25	-5,47	29,92	29,92		
(120,25 122,25>	121,25	1	2	121,25	4,73	22,37	22,37		
(122,25 124,25>	123,25	4	6	493	-1,47	2,16	8,64		
(124,25 126,25>	125,25	4	10	501	0,53	0,28	1,12		
(126,25 128,25>	127,25	5	15	636,25	2,53	6,40	32,00		
		15		1870,75		61,14	94,07		
NUMERO DE MUESTRA N							15,00		
RANGO DE DATOS :RX		Xmax=128,00		118,25		9,75	10,00		
NUMERO DE INTERVALOS DE CLASE :K							5,06	5,00	
ANCHO O TAMAÑO DE INTERVALOS DE CLASE :C							1,93	2,00	
MEDIA :U							124,72		
MEDIANA :Um		U>Um>Xo-->Der;U<Um<Xo-->Izq.					125,25		
MODA : Uo							126,42		
VARIANZA :δ²							6,72		
DESVIACION ESTANDAR :δ							2,59		
COEFICIENTE DE VARIACION :CV							2,08		
PERCENTIL :		P₁₀ >= 1,50					121,25		
PERCENTIL :		P₂₅ >= 3,75					123,13		
PERCENTIL :		P₅₀ >= 7,50					125,00		
PERCENTIL :		P₇₅ >= 11,25					126,75		
PERCENTIL :		P₉₀ >= 13,5					127,65		
PRIMER COEFICIENTE PEARSON : AS			AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.				-0,65		
SEGUNDO COEFICIENTE DE PEARSON : AS			AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.				-0,17		
COEFICIENTE DE CURTOSIS : K			k<0,263-->Lepto; k=0,263-->Meso; k>0,263-->Plati					0,28	

Fuente: Propia

Figura 7. 6 Histograma de frecuencias y distribución normal diseño 6.



Fuente: Propia

Tabla 7.13 datos de resistencia a la compresión a 28 días diseño No 7.

	MUESTRAS	F'c (Xi)
	D-7-M-301	194,96
	D-7-M-302	193,77
	D-7-M-303	195,32
	D-7-M-304	194,57
	D-7-M-305	192,99
	D-7-M-306	190,30
	D-7-M-307	195,75
	D-7-M-308	191,40
	D-7-M-309	193,20
	D-7-M-310	194,80
	D-7-M-311	191,70
	D-2-M-312	198,55
	D-7-M-313	196,45
	D-7-M-314	197,20
	D-7-M-315	196,10

**RESISTENCIA A LA COMPRESION (F'C) OBTENIDA A LOS 28 DIAS CON
A/C=0,38, V=18%, C=510KG**

Fuente: Propia

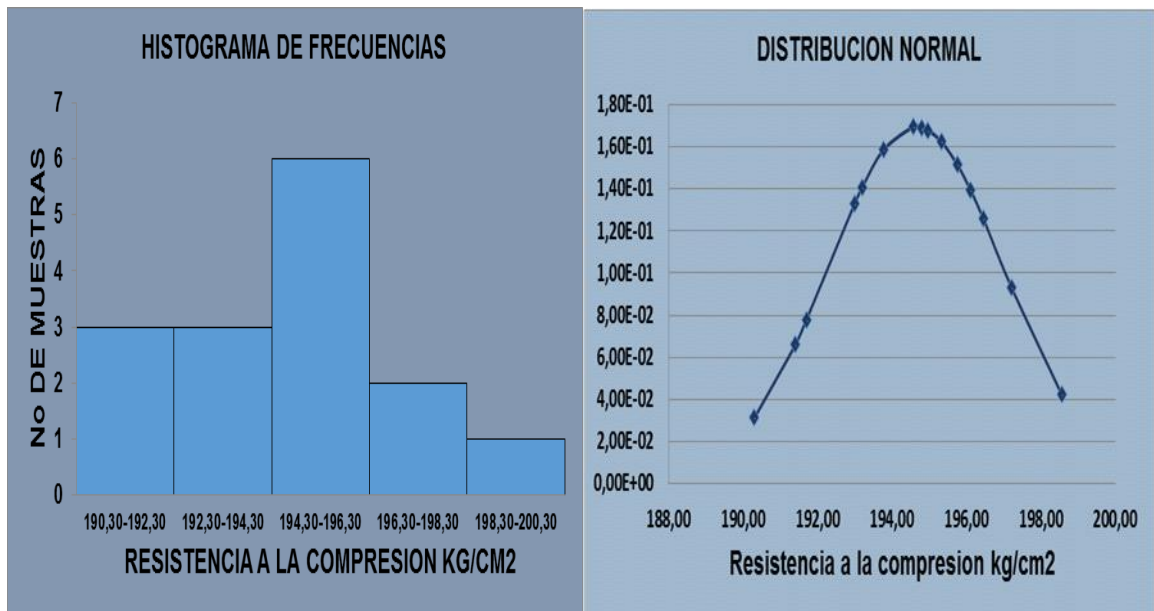
Tabla 7.14 Análisis estadístico a 28 días diseño 7.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi*Xi	Xi-u	Xi-u ²	fi*(Xi-u) ²
190,30-192,30	191,3	3	3	573,9	-3,33	11,09	33,27
192,30-194,30	193,3	3	6	579,9	-1,33	1,77	5,31
194,30-196,30	195,3	6	12	1171,8	0,67	0,45	2,69
196,30-198,30	197,3	2	14	394,6	2,67	7,13	14,26
198,30-200,30	199,3	1	15	199,3	4,67	21,81	21,81
		15		2919,5		42,24	77,33

NUMERO DE MUESTRA N			15,00
RANGO DE DATOS :RX	Xmax=198,55	190,3	8,25
NUMERO DE INTERVALOS DE CLASE :K			5,06
ANCHO O TAMAÑO DE INTERVALOS DE CLASE :C			1,63
MEDIA :U			194,63
MEDIANA :Um	U>Um>Xo-->Der;U<Um<Xo-->Izq.		194,97
MODA : Uo			195,16
VARIANZA : δ^2			5,52
DESVIACION ESTANDAR : δ			2,35
COEFICIENTE DE VARIACION :CV			1,21
PERCENTIL :	P ₁₀ >= 1,50		191,30
PERCENTIL :	P ₂₅ >= 3,75		192,80
PERCENTIL :	P ₅₀ >= 7,50		194,80
PERCENTIL :	P ₇₅ >= 11,25		197,05
PERCENTIL :	P ₉₀ >= 13,5		197,80
PRIMER COEFICIENTE PEARSON : AS	AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.		-0,22
SEGUNDO COEFICIENTE DE PEARSON : AS	AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.		-0,02
COEFICIENTE DE CURTOSIS : K	k<0,263-->Lepto; k=0,263-->Meso; k>0,263-->Plati		0,33

Fuente: Propia

Figura 7. 7 Histograma de frecuencias y distribución normal diseño 7.



Fuente: Propia

Tabla 7.15 datos de resistencia a la compresión a 28 días diseño No 8.

RESISTENCIA A LA COMPRESION (F'C) OBTENIDA A LOS 28 DIAS CON A/C=0,38, V=18%, C=510KG y 0,075% de tiras de (2mm x 10mm)	MUESTRAS	F'c (Xi)
	D-8-M-346	187,55
	D-8-M-347	190,48
	D-8-M-348	191,35
	D-8-M-349	188,74
	D-8-M-350	189,60
	D-8-M-351	181,40
	D-8-M-352	183,25
	D-8-M-353	185,30
	D-8-M-354	183,45
	D-8-M-355	182,55
	D-8-M-356	184,25
	D-8-M-357	186,65
	D-8-M-358	184,85
D-8-M-359	185,85	
D-8-M-360	188,35	

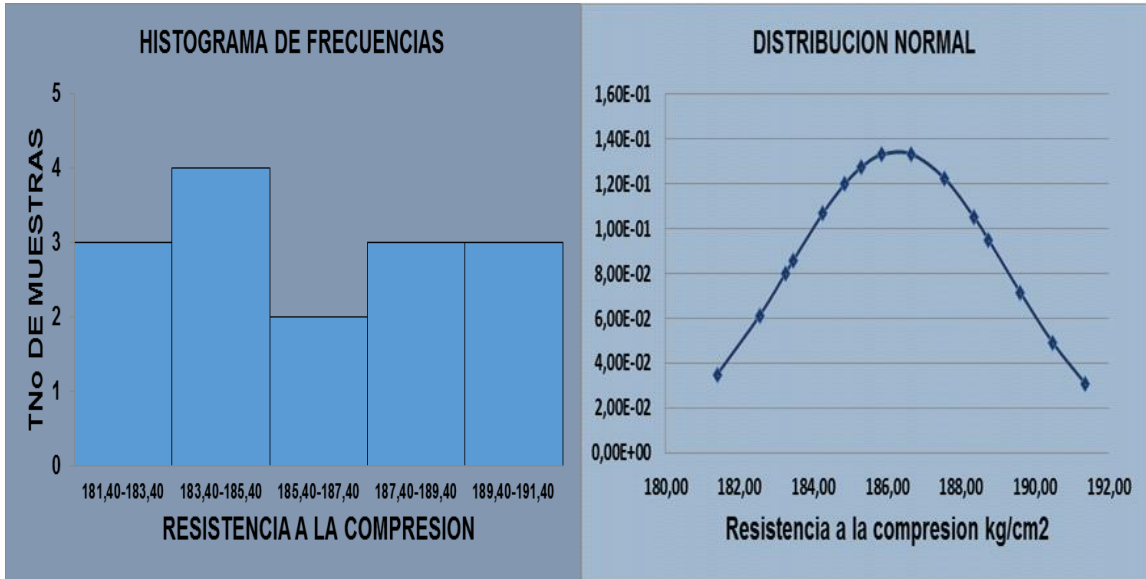
Fuente: Propia

Tabla 7.16 Análisis estadístico a 28 días diseño 8.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi*Xi	Xi-u	Xi-u ²	fi*(Xi-u) ²	
(181,40 183,40>	182,4	3	3	547,2	-3,87	14,98	44,93	
(183,40 185,40>	184,4	4	7	737,6	-1,87	3,50	13,99	
(185,40 187,40>	186,4	2	9	372,8	0,13	0,02	0,03	
(187,40 189,40>	188,4	3	12	565,2	2,13	4,54	13,61	
(189,40 191,40>	190,4	3	15	571,2	4,13	17,06	51,17	
		15		2794		40,08	123,73	
NUMERO DE MUESTRA N							15,00	
RANGO DE DATOS :RX		Xmax=191,35		181,4		9,95	10,00	
NUMERO DE INTERVALOS DE CLASE :K							5,06	5,00
ANCHO O TAMAÑO DE INTERVALOS DE CLASE :C							1,97	2,00
MEDIA :U								186,27
MEDIANA :Um		U>Um>Xo-->Der;U<Um<Xo-->Izq.						186,40
MODA : Uo								184,07
VARIANZA :δ²								8,84
DESVIACION ESTANDAR :δ								2,97
COEFICIENTE DE VARIACION :CV								1,59
PERCENTIL :		P₁₀ >= 1,50						182,40
PERCENTIL :		P₂₅ >= 3,75						183,78
PERCENTIL :		P₅₀ >= 7,50						185,90
PERCENTIL :		P₇₅ >= 11,25						188,90
PERCENTIL :		P₉₀ >= 13,5						190,90
PRIMER COEFICIENTE PEARSON : AS			AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.					0,74
SEGUNDO COEFICIENTE DE PEARSON : AS			AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.					-0,02
COEFICIENTE DE CURTOSIS : K			k<0,263-->Lepto; k=0,263-->Meso; k>0,263-->Plati					0,30

Fuente: Propia

Figura 7. 8 Histograma de frecuencias y distribución normal diseño 8.



Fuente: Propia

Tabla 7.17 datos de resistencia a la compresión a 28 días diseño No 9.

MUESTRAS	F'c (Xi)
D-9-M-391	186,72
D-9-M-392	184,88
D-9-M-393	182,77
D-9-M-394	185,50
D-9-M-395	183,72
D-9-M-396	178,20
D-9-M-397	181,30
D-9-M-398	179,70
D-9-M-399	180,40
D-9-M-400	177,45
D-9-M-401	183,25
D-9-M-402	181,55
D-9-M-403	185,85
D-9-M-404	184,35
D-9-M-405	177,80

**RESISTENCIA A LA COMPRESION (F'C) OBTENIDA A LOS 28 DIAS CON
A/C=0,38, V=18%, C=510KG y 0,1% de tiras de (2mm x 10mm)**

Fuente: Propia

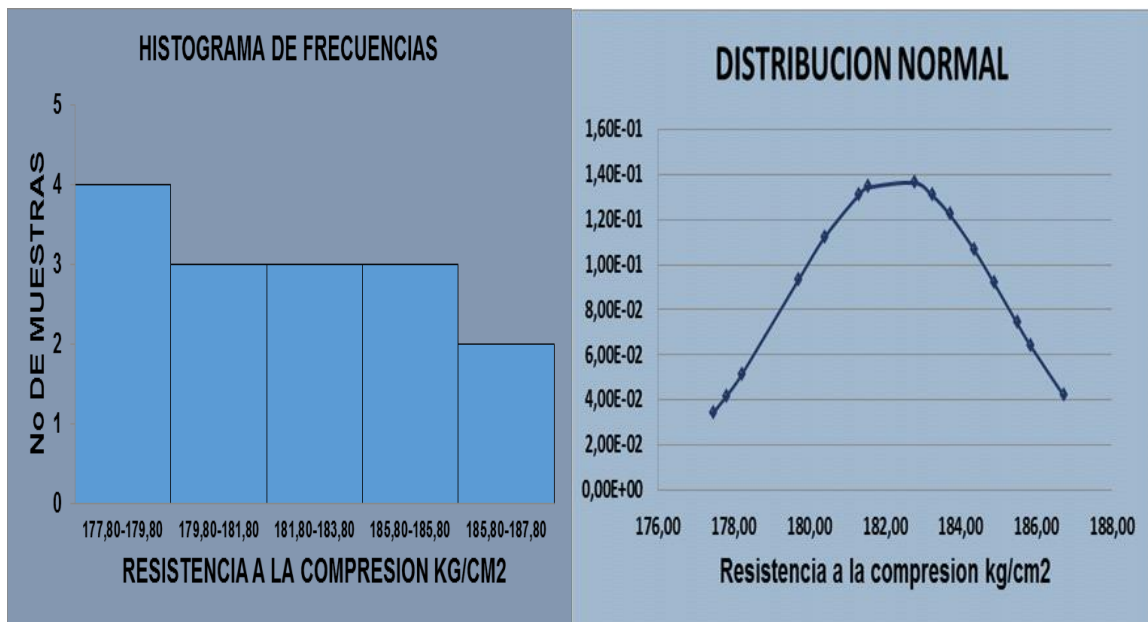
Tabla 7.18 Análisis estadístico a 28 días diseño 9.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi*Xi	Xi-u	Xi-u^2	fi*(Xi-u)^2
(177,80 179,80>	178,8	4	4	715,2	-3,47	12,04	48,16
(179,80 181,80>	180,8	3	7	542,4	-1,47	2,16	6,48
(181,80 183,80>	182,8	3	10	548,4	0,53	0,28	0,84
(185,80 185,80>	184,8	3	13	554,4	2,53	6,40	19,20
(185,80 187,80>	186,8	2	15	373,6	4,53	20,52	41,04
		15		2734		41,40	115,73

NUMERO DE MUESTRA N			15,00
RANGO DE DATOS :RX	Xmax=186,72	177,8	8,92
NUMERO DE INTERVALOS DE CLASE :K			5,06
ANCHO O TAMAÑO DE INTERVALOS DE CLASE :C			1,97
MEDIA :U			182,27
MEDIANA :Um	U>Um>Xo-->Der;U<Um<Xo-->Izq.		182,47
MODA : Uo			179,40
VARIANZA : δ^2			8,27
DESVIACION ESTANDAR : δ			2,88
COEFICIENTE DE VARIACION :CV			1,58
PERCENTIL :	P ₁₀ >= 1,50		178,55
PERCENTIL :	P ₂₅ >= 3,75		179,68
PERCENTIL :	P ₅₀ >= 7,50		182,80
PERCENTIL :	P ₇₅ >= 11,25		184,63
PERCENTIL :	P ₉₀ >= 13,5		186,30
PRIMER COEFICIENTE PEARSON : AS	AS=0,AS>0-->DER;AS<0,AS<0-->IZQ.		1,00
SEGUNDO COEFICIENTE DE PEARSON : AS	AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.		-0,13
COEFICIENTE DE CURTOSIS : K	k<0,263-->Lepto; k=0,263-->Meso; k>0,263-->Plati		0,32

Fuente: Propia

Figura 7. 9 Histograma de frecuencias y distribución normal diseño 9.



Fuente: Propia

Tabla 7.19 datos de resistencia a la compresión a 28 días diseño No 10.

RESISTENCIA A LA COMPRESION (F'C) OBTENIDA A LOS 28 DIAS CON A/C=0,38, V=18%, C=510KG y 0,2% de tiras de (2mm x 10mm)	MUESTRAS	F'c (Xi)
	D-10-M-436	179,30
	D-10-M-437	177,94
	D-10-M-438	178,67
	D-10-M-439	177,33
	D-10-M-440	176,28
	D-10-M-441	169,75
	D-10-M-442	174,30
	D-10-M-443	172,45
	D-10-M-444	176,70
	D-10-M-445	170,50
	D-10-M-446	173,25
	D-10-M-447	171,15
	D-10-M-448	175,35
	D-10-M-449	177,00
D-10-M-450	175,65	

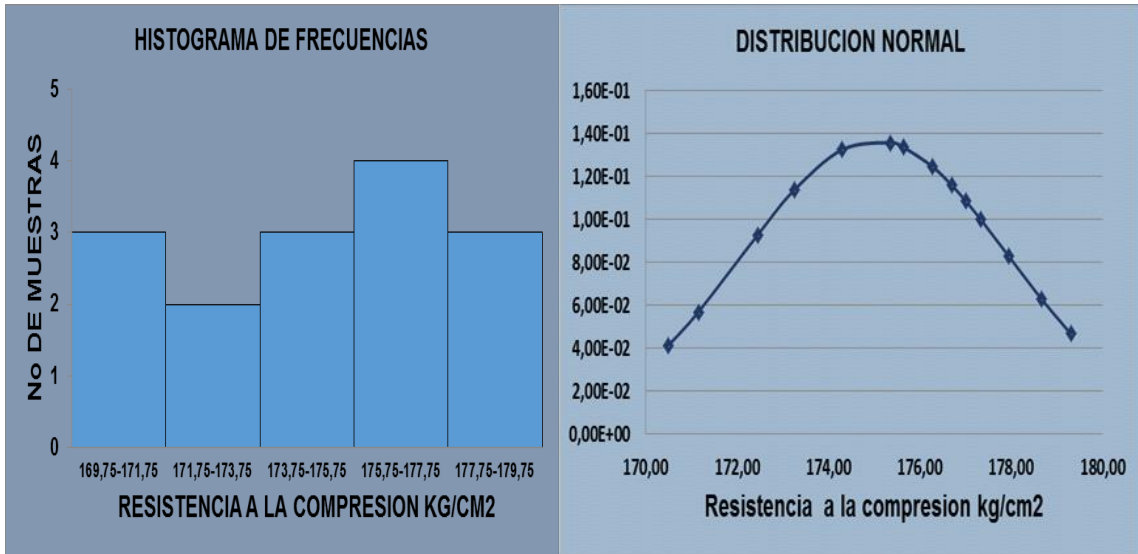
Fuente: Propia

Tabla 7.20 Análisis estadístico a 28 días diseño 10.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi*Xi	Xi-u	Xi-u ²	fi*(Xi-u) ²	
(169,75 171,75>	170,75	3	3	512,25	-4,27	18,23	54,70	
(171,75 173,75>	172,75	2	5	345,5	-2,27	5,15	10,31	
(173,75 175,75>	174,75	3	8	524,25	-0,27	0,07	0,22	
(175,75 177,75>	176,75	4	12	707	1,73	2,99	11,97	
(177,75 179,75>	178,75	3	15	536,25	3,73	13,91	41,74	
		15		2625,25		40,36	118,93	
NUMERO DE MUESTRA N							15,00	
RANGO DE DATOS :RX		Xmax=179,30		Xmin=169,75		9,55	10,00	
NUMERO DE INTERVALOS DE CLASE :K							5,06	
ANCHO O TAMAÑO DE INTERVALOS DE CLASE :C							1,89	
MEDIA :U							175,02	
MEDIANA :Um		U>Um>Xo-->Der; U<Um<Xo-->Izq.						175,75
MODA : Uo							176,75	
VARIANZA :δ ²							8,50	
DESVIACION ESTANDAR :δ							2,92	
COEFICIENTE DE VARIACION :CV							1,67	
PERCENTIL :		P ₁₀ >= 1,50					170,75	
PERCENTIL :		P ₂₅ >= 3,75					172,13	
PERCENTIL :		P ₅₀ >= 7,50					175,42	
PERCENTIL :		P ₇₅ >= 11,25					177,25	
PERCENTIL :		P ₉₀ >= 13,5					178,75	
PRIMER COEFICIENTE PEARSON : AS			AS=0,AS>0-->DER; AS=0,AS<0-->IZQ.				-0,59	
SEGUNDO COEFICIENTE DE PEARSON : AS			AS=0,AS>0-->DER; AS=0,AS<0-->IZQ.				-0,42	
COEFICIENTE DE CURTOSIS : K			k<0,263-->Lepto; k=0,263-->Meso; k>0,263-->Plati				0,32	

Fuente: Propia

Figura 7. 10 Histograma de frecuencias y distribución normal diseño 10.



Fuente: Propia

Tabla 7.21 datos de resistencia a la compresión a 28 días diseño No 11.

	MUESTRAS	F'c (Xi)
RESISTENCIA A LA COMPRESION (F'c) OBTENIDA A LOS 28 DIAS CON A/C=0,38, V=18%, C=510KG y 0,75% de tiras de (4mm x 20mm)	D-11-M-481	208,70
	D-11-M-482	206,98
	D-11-M-483	209,36
	D-11-M-484	208,31
	D-11-M-485	207,53
	D-11-M-486	200,55
	D-11-M-487	203,35
	D-11-M-488	201,25
	D-11-M-489	205,45
	D-11-M-490	202,65
	D-11-M-491	208,15
	D-11-M-492	209,20
	D-11-M-493	207,10
	D-11-M-494	206,70
	D-11-M-495	205,40

Fuente: Propia

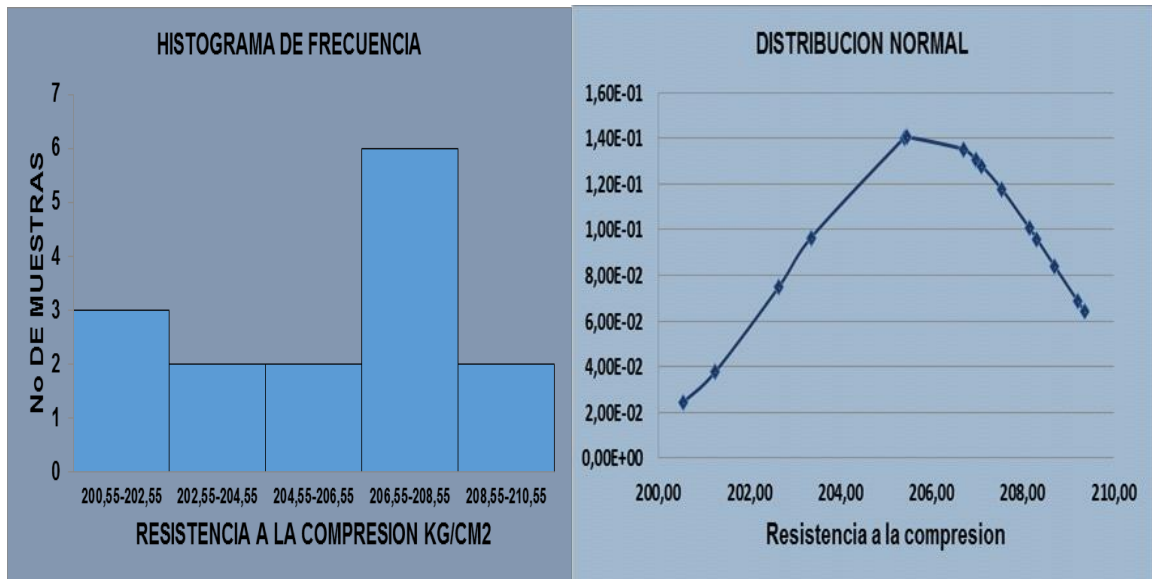
Tabla 7.22 Análisis estadístico a 28 días diseño 11.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi*Xi	Xi-u	Xi-u^2	fi*(Xi-u)^2
(200,55 202,55>	201,55	3	3	604,65	-4,27	18,23	54,70
(202,55 204,55>	203,55	2	5	407,1	-2,27	5,15	10,31
(204,55 206,55>	205,55	2	7	411,1	-0,27	0,07	0,15
(206,55 208,55>	207,55	6	13	1245,3	1,73	2,99	17,96
(208,55 210,55>	209,55	2	15	419,1	3,73	13,91	27,83
		15		3087,25		40,36	110,93

NUMERO DE MUESTRA N			15,00
RANGO DE DATOS :RX	Xmax=209,36	Xmin=200,55	8,81
NUMERO DE INTERVALOS DE CLASE :K			5,06
ANCHO O TAMAÑO DE INTERVALOS DE CLASE :C			1,74
MEDIA :U			205,82
MEDIANA :Um	U>Um>Xo-->Der;U<Um<Xo-->lzq.		206,88
MODA : Uo			207,05
VARIANZA : δ^2			7,92
DESVIACION ESTANDAR : δ			2,81
COEFICIENTE DE VARIACION :CV			1,37
PERCENTIL :	P ₁₀ >= 1,50		201,55
PERCENTIL :	P ₂₅ >= 3,75		203,30
PERCENTIL :	P ₅₀ >= 7,50		206,72
PERCENTIL :	P ₇₅ >= 11,25		207,95
PERCENTIL :	P ₉₀ >= 13,5		209,05
PRIMER COEFICIENTE PEARSON : AS	AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.		-0,44
SEGUNDO COEFICIENTE DE PEARSON :	AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.		-0,54
COEFICIENTE DE CURTOSIS : K	k<0,263-->Lepto; k=0,263-->Meso; k>0,263-->		0,31

Fuente: Propia

Figura 7. 11 Histograma de frecuencias y distribución normal diseño 11.



Fuente: Propia

Tabla 7.23 datos de resistencia a la compresión a 28 días diseño No 12.

		MUESTRAS	F'c (Xi)
		D-12-M-526	211,36
D-12-M-527	210,20		
D-12-M-528	208,75		
D-12-M-529	211,47		
D-12-M-530	210,47		
D-12-M-531	203,65		
D-12-M-532	201,65		
D-12-M-533	202,75		
D-12-M-534	204,35		
D-12-M-535	206,55		
D-12-M-536	203,00		
D-12-M-537	202,20		
D-12-M-538	205,80		
D-12-M-539	207,40		
D-12-M-540	209,10		

**RESISTENCIA A LA COMPRESION (F'C) OBTENIDA A LOS 28 DIAS CON
A/C=0,38, V=18%, C=510KG y 0,1% de tiras de (4mm x 20mm)**

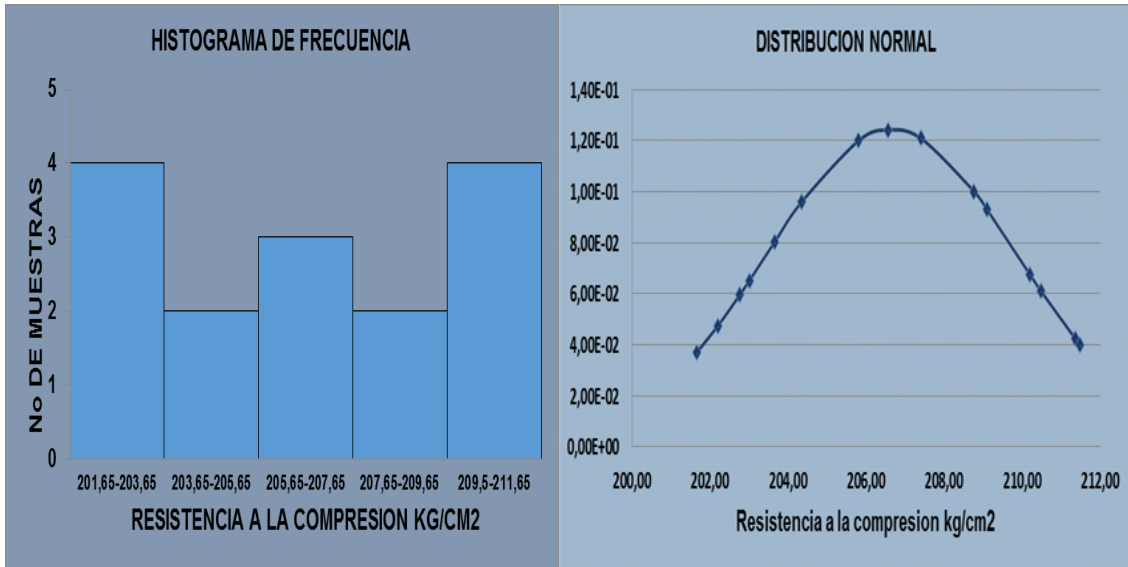
Fuente: Propia

Tabla 7.24 Análisis estadístico a 28 días diseño 12.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi*Xi	Xi-u	Xi-u ²	fi*(Xi-u) ²	
(201,65 203,65>	202,65	4	4	810,6	-4,00	16,00	64,00	
(203,65 205,65>	204,65	2	6	409,3	-2,00	4,00	8,00	
(205,65 207,65>	206,65	3	9	619,95	0,00	0,00	0,00	
(207,65 209,65>	208,65	2	11	417,3	2,00	4,00	8,00	
(209,5 211,65>	210,65	4	15	842,6	4,00	16,00	64,00	
		15		3099,75		40,00	144,00	
NUMERO DE MUESTRA N							15,00	
RANGO DE DATOS :RX		Xmax=211,36		Xmin=201,65		9,71	10,00	
NUMERO DE INTERVALOS DE CLASE :K							5,06	
ANCHO O TAMAÑO DE INTERVALOS DE CLASE :C							1,92	
MEDIA :U							206,65	
MEDIANA :Um		U>Um>Xo-->Der;U<Um<Xo-->Izq.						206,98
MODA : Uo							210,22	
VARIANZA :δ²							10,29	
DESVIACION ESTANDAR :δ							3,21	
COEFICIENTE DE VARIACION :CV							1,55	
PERCENTIL :		P₁₀ >= 1,50					202,40	
PERCENTIL :		P₂₅ >= 3,75					203,53	
PERCENTIL :		P₅₀ >= 7,50					206,65	
PERCENTIL :		P₇₅ >= 11,25					209,78	
PERCENTIL :		P₉₀ >= 13,5					210,90	
PRIMER COEFICIENTE PEARSON : AS			AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.				-1,12	
SEGUNDO COEFICIENTE DE PEARSON : AS			AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.				-0,11	
COEFICIENTE DE CURTOSIS : K			k<0,263-->Lepto; k=0,263-->Meso; k>0,263-->Plati				0,37	

Fuente: Propia

Figura 7. 12 Histograma de frecuencias y distribución normal diseño 12.



Fuente: Propia

Tabla 7.25 datos de resistencia a la compresión a 28 días diseño No 13.

RESISTENCIA A LA COMPRESION (F'C) OBTENIDA A LOS 28 DIAS CON A/C=0,38, V=18%, C=510KG y 0,2% de tiras de (4mm x 20mm)		MUESTRAS	F'c (Xi)
		D-13-M-571	197,60
D-13-M-572	195,60		
D-13-M-573	195,66		
D-13-M-574	196,60		
D-13-M-575	197,29		
D-13-M-576	187,90		
D-13-M-577	188,30		
D-13-M-578	189,55		
D-13-M-579	195,45		
D-13-M-580	192,70		
D-13-M-581	194,25		
D-13-M-582	191,45		
D-13-M-583	190,80		
D-13-M-584	193,15		
D-13-M-585	195,30		

Fuente: Propia

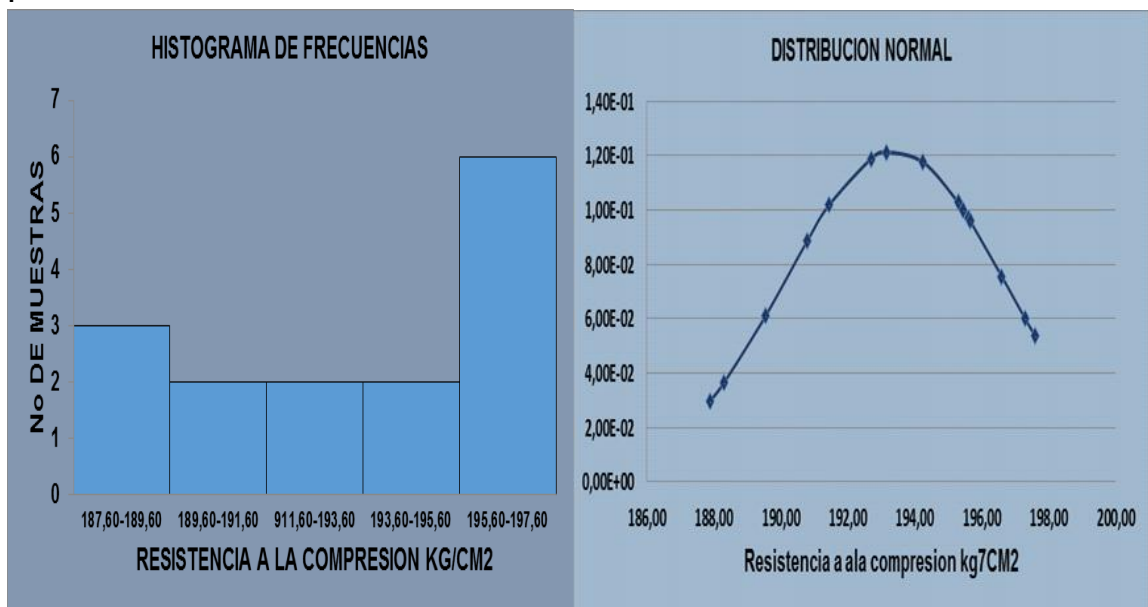
Tabla 7.26 Análisis estadístico a 28 días diseño 13.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi*Xi	Xi-u	Xi-u^2	fi*(Xi-u)^2
(187,60 189,60>	188,6	3	3	565,8	-4,80	23,04	69,12
(189,60 191,60>	190,6	2	5	381,2	-2,80	7,84	15,68
(191,60 193,60>	192,6	2	7	385,2	-0,80	0,64	1,28
(193,60 195,60>	194,6	2	9	389,2	1,20	1,44	2,88
(195,60 197,60>	196,6	6	15	1179,6	3,20	10,24	61,44
		15		2901		43,20	150,40
NUMERO DE MUESTRA N							15,00

NUMERO DE MUESTRA N			15,00
RANGO DE DATOS :RX	Xmax=197,60	Xmin=187,90	9,7
NUMERO DE INTERVALOS DE CLASE :K			5,06
ANCHO O TAMAÑO DE INTERVALOS DE CLASE :C			1,74
MEDIA :U			193,40
MEDIANA :Um	U>Um>Xo-->Der;U<Um<Xo-->Izq.		194,60
MODA : Uo			196,40
VARIANZA : δ^2			10,74
DESVIACION ESTANDAR : δ			3,28
COEFICIENTE DE VARIACION :CV			1,70
PERCENTIL :	P ₁₀ >= 1,50		188,60
PERCENTIL :	P ₂₅ >= 3,75		190,35
PERCENTIL :	P ₅₀ >= 7,50		194,10
PERCENTIL :	P ₇₅ >= 11,25		196,35
PERCENTIL :	P ₉₀ >= 13,5		197,10
PRIMER COEFICIENTE PEARSON : AS	AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.		-0,91
SEGUNDO COEFICIENTE DE PEARSON : AS	AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.		-0,42
COEFICIENTE DE CURTOSIS : K	k<0,263-->Lepto; k=0,263-->Meso; k>0,263-->Plati		0,35

Fuente: Propia

Figura 7.13 Histograma de frecuencias y distribución normal diseño 13



Fuente: Propia

Tabla 7.27 datos de resistencia a la compresión a 28 días diseño No 14.

RESISTENCIA A LA COMPRESION (F'C) OBTENIDA A LOS 28 DIAS CON A/C=0,38, V=18%, C=510KG y 0,1% DE TIRAS (4mm x 20mm), 4,25 ML DE GLENIUM/KG DE CEMENTO	MUESTRAS	F'c (Xi)
	D-14-M-616	220,85
	D-14-M-617	218,80
	D-14-M-618	216,69
	D-14-M-619	217,25
	D-14-M-620	219,91
	D-14-M-621	215,30
	D-14-M-622	213,20
	D-14-M-623	211,40
	D-14-M-624	210,95
	D-14-M-625	216,25
	D-14-M-626	220,60
	D-14-M-627	219,50
	D-14-M-628	218,35
	D-14-M-629	217,45
D-14-M-630	220,45	

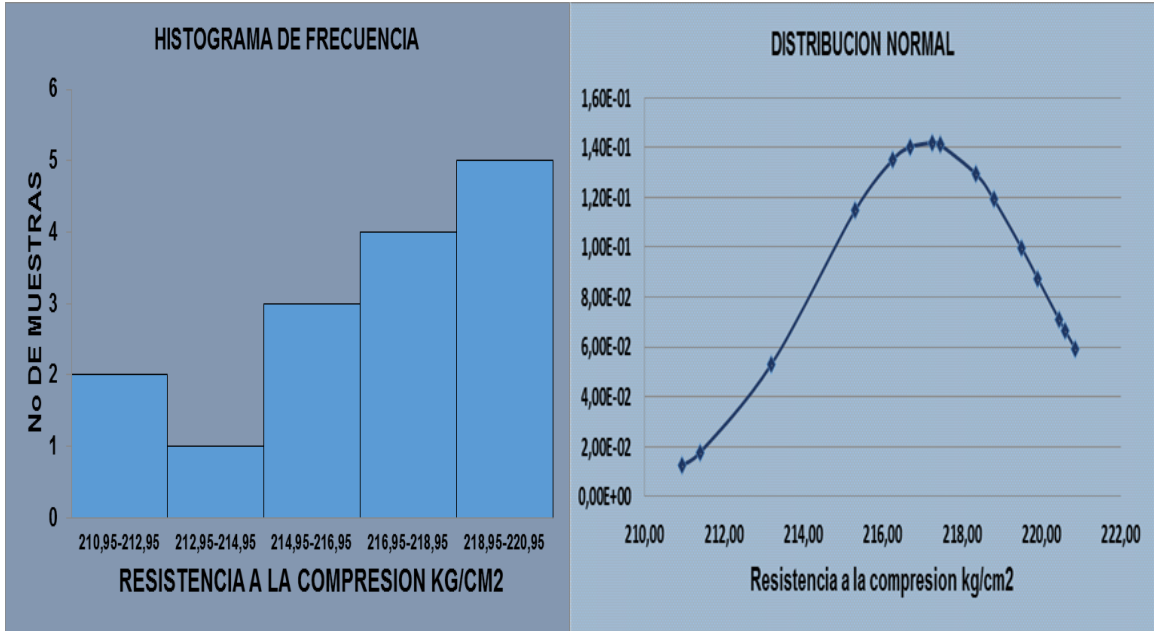
Fuente: Propia

Tabla 7.28 Análisis estadístico a 28 días diseño 14.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi*Xi	Xi-u	Xi-u ²	fi*(Xi-u) ²	
(210,95 212,95>	211,95	2	2	423,9	-5,19	26,94	53,87	
(212,95 214,95>	213,95	1	3	213,95	-3,19	10,18	10,18	
(214,95 216,95>	215,9	3	6	647,7	-1,24	1,54	4,61	
(216,95 218,95>	217,95	4	10	871,8	0,81	0,66	2,62	
(218,95 220,95>	219,95	5	15	1099,75	2,81	7,90	39,48	
		15		3257,1		47,20	110,77	
NUMERO DE MUESTRA N							15,00	
RANGO DE DATOS :RX		Xmax=220,85		Xmin=210,95		9,9	10,00	
NUMERO DE INTERVALOS DE CLASE :K							5,06	5,00
ANCHO O TAMAÑO DE INTERVALOS DE CLASE :C							1,74	2,00
MEDIA :U								217,14
MEDIANA :Um		U>Um>Xo-->Der;U<Um<Xo-->Izq.						217,95
MODA : Uo								219,28
VARIANZA :δ²								7,91
DESVIACION ESTANDAR :δ								2,81
COEFICIENTE DE VARIACION :CV								1,29
PERCENTIL :		P₁₀ >= 1,50						212,45
PERCENTIL :		P₂₅ >= 3,75						214,99
PERCENTIL :		P₅₀ >= 7,50						217,70
PERCENTIL :		P₇₅ >= 11,25						219,45
PERCENTIL :		P₉₀ >= 13,5						220,35
PRIMER COEFICIENTE PEARSON : AS			AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.					-0,76
SEGUNDO COEFICIENTE DE PEARSON : AS			AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.					-0,33
COEFICIENTE DE CURTOSIS : K			k<0,263-->Lepto; k=0,263-->Meso; k>0,263-->Plati					0,28

Fuente: Propia

Figura 7. 14 Histograma de frecuencias y distribución normal diseño 14.



Fuente: Propia

7.1.2 ANALISIS ESTADISTICO: RESISTENCIA A LA FLEXION

Tabla 7.29 datos de resistencia a la flexión a 28 días diseño No 1.

RESISTENCIA A LA FLEXION (F _c) OBTENIDA A LOS 28 DIAS CON A/C=0,32, V=18%, C=430KG	MUESTRAS	F'c (Xi)
	D-1-M-31	25,43
	D-1-M-32	24,28
	D-1-M-33	25,23
	D-1-M-34	26,44
	D-1-M-35	24,96
	D-1-M-36	26,20
	D-1-M-37	22,70
	D-1-M-38	20,00
	D-1-M-39	16,65
	D-1-M-40	19,80
	D-1-M-41	17,55
	D-1-M-42	23,35
	D-1-M-43	22,65
	D-1-M-44	23,75
	D-1-M-45	21,80

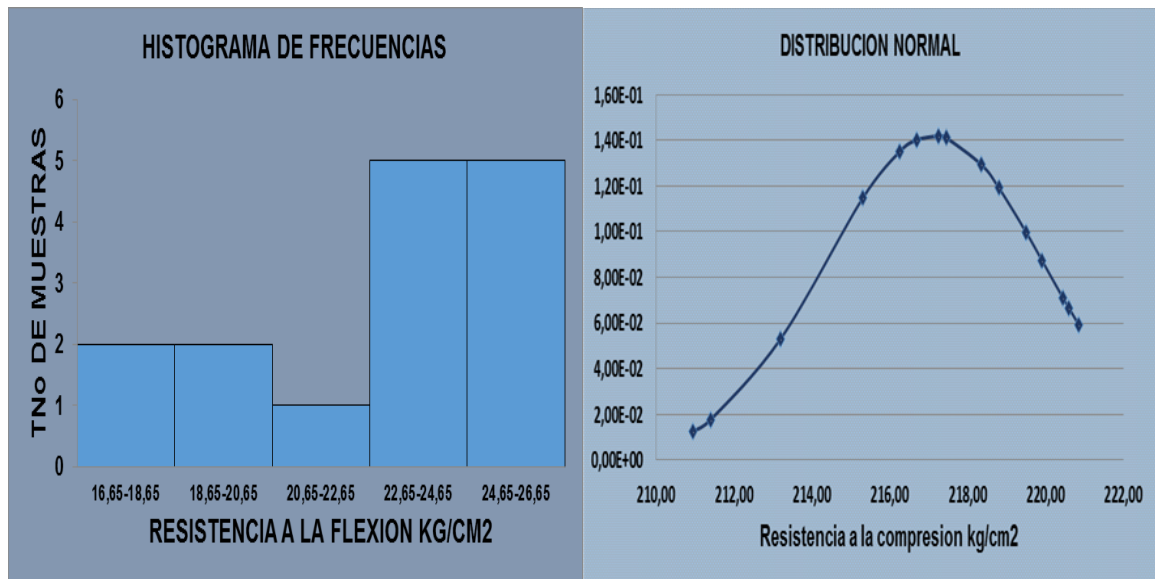
Fuente: Propia

Tabla 7.30 Análisis estadístico a 28 días diseño 1.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi*Xi	Xi-u	Xi-u^2	fi*(Xi-u)^2	
(16,65 18,65>	17,65	2	2	35,3	-5,15	26,52	53,05	
(18,65 20,65>	19,65	2	4	39,3	-3,15	9,92	19,85	
(20,65 22,65>	21,65	1	5	21,65	-1,15	1,32	1,32	
(22,65 24,65>	23,65	5	10	118,25	0,85	0,72	3,61	
(24,65 26,65>	25,65	5	15	128,25	2,85	8,12	40,61	
		15		342,75		46,61	118,44	
NUMERO DE MUESTRA N							15,00	
RANGO DE DATOS :RX		Xmax=26,45		Xmin=16,65		9,8	10	
NUMERO DE INTERVALOS DE CLASE :K						5,06	5	
ANCHO O TAMAÑO DE INTERVALOS DE CLASE :C							2	
MEDIA :U							22,80	
MEDIANA :Um		U>Um>Xo-->Der;U<Um<Xo-->Izq.						23,85
MODA : Uo							24,65	
VARIANZA :δ²							8,46	
DESVIACION ESTANDAR :δ							2,91	
COEFICIENTE DE VARIACION :CV							12,76	
PERCENTIL :		P₁₀ >= 1,50					18,15	
PERCENTIL :		P₂₅ >= 3,75					20,40	
PERCENTIL :		P₅₀ >= 7,50					23,65	
PERCENTIL :		P₇₅ >= 11,25					25,15	
PERCENTIL :		P₉₀ >= 13,5					26,05	
PRIMER COEFICIENTE PEARSON : AS			AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.				-0,64	
SEGUNDO COEFICIENTE DE PEARSON : AS			AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.				-0,45	
COEFICIENTE DE CURTOSIS : K			k<0,263-->Lepto; k=0,263-->Meso; k>0,263-->Plati				0,30	

Fuente: Propia

Figura 7. 15 Histograma de frecuencias y distribución normal diseño 1.



Fuente: Propia

Tabla 7.31 datos de resistencia a la flexión a 28 días diseño No 2.

RESISTENCIA A LA FLEXION (Fc) OBTENIDA A LOS 28 DIAS CON A/C=0,32, V=20%, C=430KG	MUESTRAS	F'c (Xi)
	D-2-M-76	22,60
	D-2-M-77	21,79
	D-2-M-78	23,35
	D-2-M-79	22,13
	D-2-M-80	23,00
	D-2-M-81	17,25
	D-2-M-82	20,40
	D-2-M-83	18,30
	D-2-M-84	21,45
	D-2-M-85	19,20
	D-2-M-86	20,75
	D-2-M-87	18,10
D-2-M-88	16,80	
D-2-M-89	23,50	
D-2-M-90	15,25	

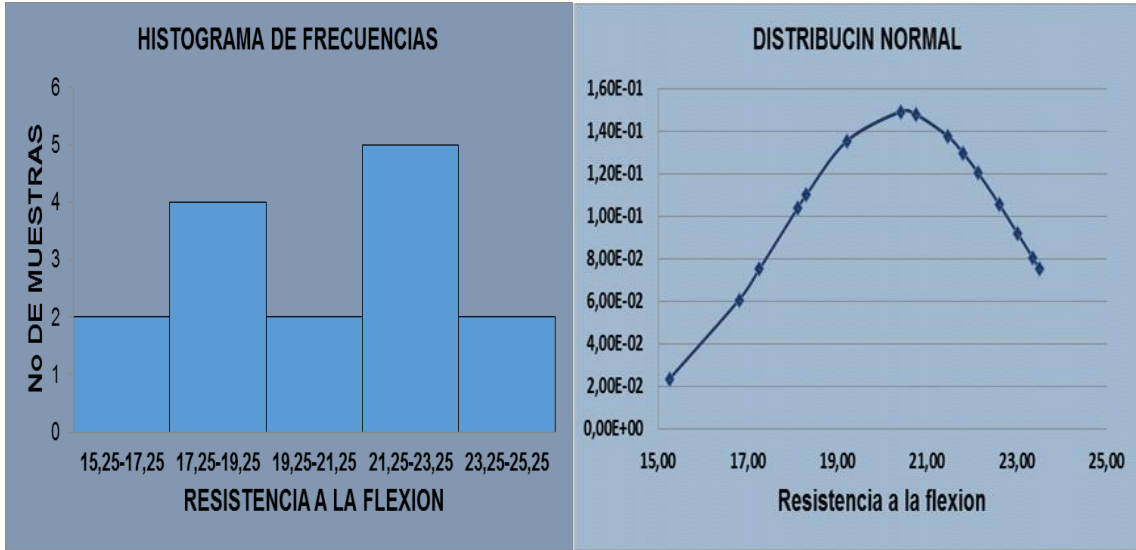
Fuente: Propia

Tabla 7.32 Análisis estadístico a 28 días diseño 2.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi*Xi	Xi-u	Xi-u^2	fi*(Xi-u)^2	
(15,25 17,25>	16,25	2	2	32,5	-4,13	17,06	34,11	
(17,25 19,25>	18,25	4	6	73	-2,13	4,54	18,15	
(19,25 21,25>	20,25	2	8	40,5	-0,13	0,02	0,03	
(21,25 23,25>	22,25	5	13	111,25	1,87	3,50	17,48	
(23,25 25,25>	24,25	2	15	48,5	3,87	14,98	29,95	
		15		305,75		40,08	99,73	
NUMERO DE MUESTRA N							15,00	
RANGO DE DATOS :RX		Xmax=23,50		Xmin=15,25		8,25	8	
NUMERO DE INTERVALOS DE CLASE :K							5,06	5
ANCHO O TAMAÑO DE INTERVALOS DE CLASE :C							1,63	2
MEDIA :U							20,38	
MEDIANA :Um		U>Um>Xo-->Der; U<Um<Xo-->Izq.						21,25
MODA : Uo							22,25	
VARIANZA : σ^2							7,12	
DESVIACION ESTANDAR : σ							2,67	
COEFICIENTE DE VARIACION :CV							13,10	
PERCENTIL :		P ₁₀ >= 1,50					16,75	
PERCENTIL :		P ₂₅ >= 3,75					18,13	
PERCENTIL :		P ₅₀ >= 7,50					20,75	
PERCENTIL :		P ₇₅ >= 11,25					22,55	
PERCENTIL :		P ₉₀ >= 13,5					23,75	
PRIMER COEFICIENTE PEARSON : AS			AS=0,AS>0-->DER; AS=0,AS<0-->IZQ.				-0,70	
SEGUNDO COEFICIENTE DE PEARSON : AS			AS=0,AS>0-->DER; AS=0,AS<0-->IZQ.				-0,41	
COEFICIENTE DE CURTOSIS : K			k<0,263-->Lepto; k=0,263-->Meso; k>0,263-->Plati				0,32	

Fuente: Propia

Figura 7. 16 Histograma de frecuencias y distribución normal diseño 2.



Fuente: Propia

Tabla 7.33 datos de resistencia a la flexión a 28 días diseño No 3.

	MUESTRAS	F'c (Xi)
	D-3-M-121	29,87
	D-3-M-122	30,95
	D-3-M-123	30,62
	D-3-M-124	31,15
	D-3-M-125	30,35
	D-3-M-126	26,30
	D-3-M-127	28,65
	D-3-M-128	27,50
	D-3-M-129	29,45
	D-3-M-130	30,15
	D-3-M-131	31,25
	D-3-M-132	28,85
	D-3-M-133	27,75
	D-3-M-134	26,30
	D-3-M-135	30,95

**RESISTENCIA A LA FLXION (Fc') OBTENIDA A LOS 28 DIAS CON A/C=0,35,
V=18%, C=430KG**

Fuente: Propia

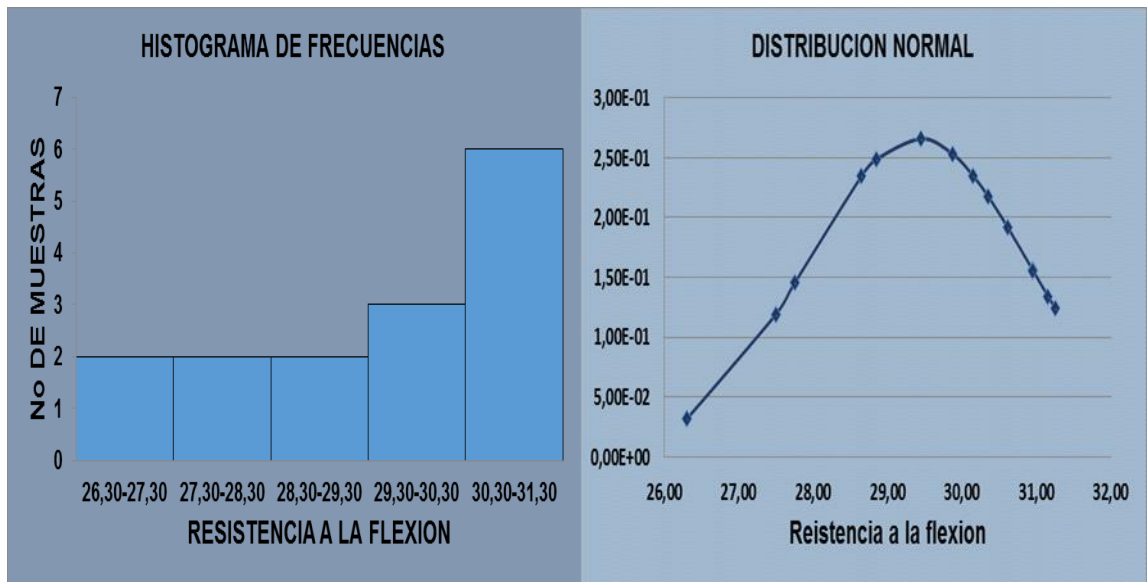
Tabla 7.34 Análisis estadístico a 28 días diseño 3.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi*Xi	Xi-u	Xi-u^2	fi*(Xi-u)^2
(26,30 27,30>	26,8	2	2	53,6	-2,6	6,76	13,52
(27,30 28,30>	27,8	2	4	55,6	-1,60	2,56	5,12
(28,30 29,30>	28,8	2	6	57,6	-0,60	0,36	0,72
(29,30 30,30>	29,8	3	9	89,4	0,40	0,16	0,48
(30,30 31,30>	30,8	6	15	184,8	1,40	1,96	11,76
		15		441		11,80	31,60

NUMERO DE MUESTRA N			15,00
RANGO DE DATOS :RX	Xmax=31,25	Xmin=26,30	4,95
NUMERO DE INTERVALOS DE CLASE :K			5
ANCHO O TAMAÑO DE INTERVALOS DE CLASE :C			0,98
MEDIA :U			29,4
MEDIANA :Um	U>Um>Xo-->Der;U<Um<Xo-->Izq.		29,97
MODA : Uo			30,97
VARIANZA : δ^2			2,26
DESVIACION ESTANDAR : δ			1,50
COEFICIENTE DE VARIACION :CV			5,10
PERCENTIL :	P ₁₀ >= 1,50		27,05
PERCENTIL :	P ₂₅ >= 3,75		28,18
PERCENTIL :	P ₅₀ >= 7,50		29,80
PERCENTIL :	P ₇₅ >= 11,25		30,68
PERCENTIL :	P ₉₀ >= 13,5		31,05
PRIMER COEFICIENTE PEARSON : AS	AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.		-1,05
SEGUNDO COEFICIENTE DE PEARSON : AS	AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.		-0,96
COEFICIENTE DE CURTOSIS : K	k<0,263-->Lepto; k=0,263-->Meso; k>0,263-->Plati		0,31

Fuente: Propia

Figura 7. 17 Histograma de frecuencias y distribución normal diseño 3.



Fuente: Propia

Tabla 7.35 datos de resistencia a la flexión a 28 días diseño No 4.

RESISTENCIA A LA FLEXION (F _c) OBTENIDA A LOS 28 DIAS CON A/C=0,35, V=20%, C=430KG	MUESTRAS	F _c (Xi)
	D-4-M-166	27,18
	D-4-M-167	27,79
	D-4-M-168	27,04
	D-4-M-169	26,51
	D-4-M-170	27,65
	D-4-M-171	22,95
	D-4-M-172	25,40
	D-4-M-173	23,60
	D-4-M-174	24,50
	D-4-M-175	22,90
	D-4-M-176	23,65
	D-4-M-177	24,10
	D-4-M-178	22,90
	D-4-M-179	24,70
D-4-M-180	23,20	

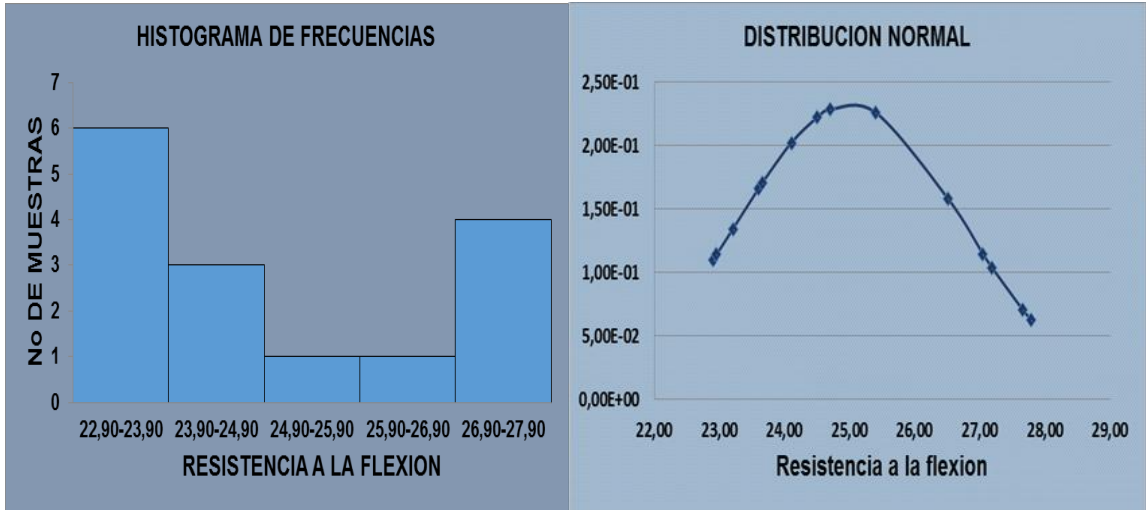
Fuente: Propia

Tabla 7.36 Análisis estadístico a 28 días diseño 4.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi*Xi	Xi-u	Xi-u ²	fi*(Xi-u) ²	
(22,90 23,90>	23,4	6	6	140,4	-1,6	2,56	15,36	
(23,90 24,90>	24,4	3	9	73,2	-0,60	0,36	1,08	
(24,90 25,90>	25,4	1	10	25,4	0,40	0,16	0,16	
(25,90 26,90>	26,4	1	11	26,4	1,40	1,96	1,96	
(26,90 27,90>	27,4	4	15	109,6	2,40	5,76	23,04	
		15		375		10,80	41,60	
NUMERO DE MUESTRA N							15,00	
RANGO DE DATOS :RX		Xmax=27,79		Xmin=22,90		4,89	5	
NUMERO DE INTERVALOS DE CLASE :K							5,06	5
ANCHO O TAMAÑO DE INTERVALOS DE CLASE :C							0,97	1
MEDIA :U							25	
MEDIANA :Um		U>Um>Xo-->Der; U<Um<Xo-->Izq.					24,57	
MODA : Uo							22,96	
VARIANZA :σ ²							2,97	
DESVIACION ESTANDAR :σ							1,72	
COEFICIENTE DE VARIACION :CV							6,88	
PERCENTIL :		P ₁₀ >= 1,50					23,15	
PERCENTIL :		P ₂₅ >= 3,75					23,53	
PERCENTIL :		P ₅₀ >= 7,50					24,40	
PERCENTIL :		P ₇₅ >= 11,25					26,96	
PERCENTIL :		P ₉₀ >= 13,5					27,53	
PRIMER COEFICIENTE PEARSON : AS			AS=0,AS>0-->DER; AS=0,AS<0-->IZQ.				1,19	
SEGUNDO COEFICIENTE DE PEARSON : AS			AS=0,AS>0-->DER; AS=0,AS<0-->IZQ.				0,39	
COEFICIENTE DE CURTOSIS : K			k<0,263-->Lepto; k=0,263-->Meso; k>0,263-->Plati				0,39	

Fuente: Propia

Figura 7. 18 Histograma de frecuencias y distribución normal diseño 4.



Fuente: Propia

Tabla 7.37 datos de resistencia a la compresión a 28 días diseño No 5.

MUESTRAS	F'c (Xi)
D-5-M-211	36,07
D-5-M-212	35,13
D-5-M-213	35,26
D-5-M-214	35,67
D-5-M-215	36,61
D-5-M-216	34,10
D-5-M-217	31,80
D-5-M-218	33,40
D-5-M-219	32,35
D-5-M-220	34,25
D-5-M-221	33,30
D-5-M-222	32,45
D-5-M-223	31,65
D-5-M-224	36,15
D-5-M-225	34,60

RESISTENCIA A LA FLEXION (F_c) OBTENIDA A LOS 28 DIAS CON A/C=0,38, V=18%, C=430KG

Fuente: Propia

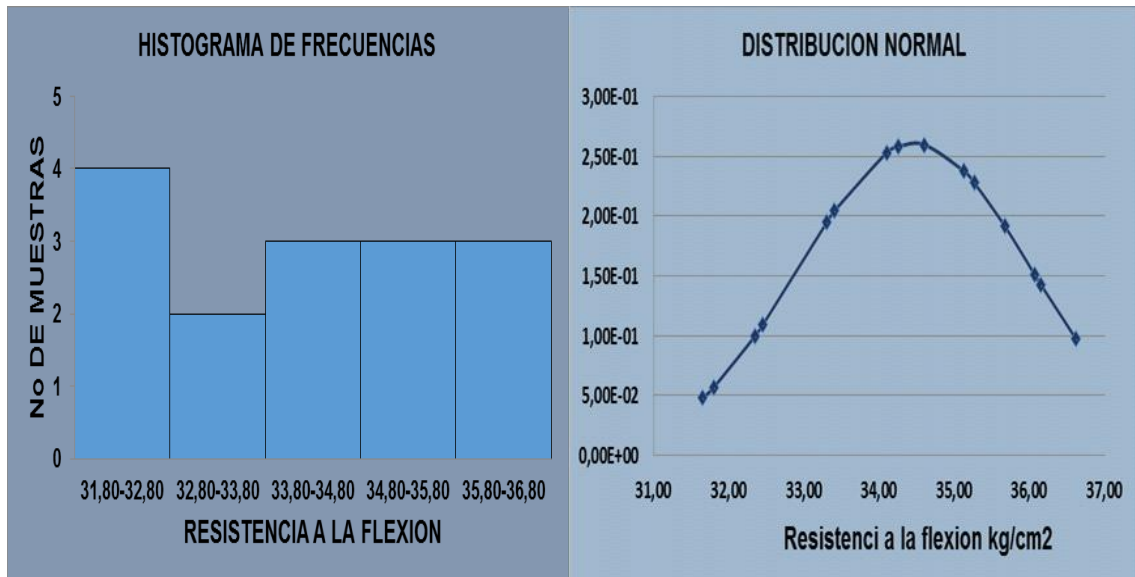
Tabla 7.38 Análisis estadístico a 28 días diseño 5.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi*Xi	Xi-u	Xi-u ²	fi*(Xi-u) ²
(31,80 32,80>	32,3	4	4	129,2	-1,93	3,72	14,90
(32,80 33,80>	33,3	2	6	66,6	-0,93	0,86	1,73
(33,80 34,80>	34,3	3	9	102,9	0,07	0,00	0,01
(34,80 35,80>	35,3	3	12	105,9	1,07	1,14	3,43
(35,80 36,80>	36,3	3	15	108,9	2,07	4,28	12,85
		15		513,5		10,02	32,93

NUMERO DE MUESTRA N			15,00
RANGO DE DATOS :RX	Xmax=36,61	31,8	4,81
NUMERO DE INTERVALOS DE CLASE :K			5,06
ANCHO O TAMAÑO DE INTERVALOS DE CLASE :C			0,95
MEDIA :U			34,23
MEDIANA :Um	U>Um>Xo-->Der;U<Um<Xo-->lzq.		34,47
MODA : Uo			32,47
VARIANZA : δ^2			2,35
DESVIACION ESTANDAR : δ			1,53
COEFICIENTE DE VARIACION :CV			4,47
PERCENTIL :	P ₁₀ >= 1,50		32,18
PERCENTIL :	P ₂₅ >= 3,75		32,74
PERCENTIL :	P ₅₀ >= 7,50		34,30
PERCENTIL :	P ₇₅ >= 11,25		35,55
PERCENTIL :	P ₉₀ >= 13,5		36,30
PRIMER COEFICIENTE PEARSON : AS	AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.		1,15
SEGUNDO COEFICIENTE DE PEARSON : AS	AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.		-0,23
COEFICIENTE DE CURTOSIS : K	k<0,263-->Lepto; k=0,263-->Meso; k>0,263-->Plati		0,34

Fuente: Propia

Figura 7. 19 Histograma de frecuencias y distribución normal diseño 5.



Fuente: Propia

Tabla 7.39 datos de resistencia a la flexión a 28 días diseño No 6.

RESISTENCIA A LA FLEXION (Fc') OBTENIDA A LOS 28 DIAS CON A/C=0,38, V=20%, C=430KG	MUESTRAS	F'c (Xi)
	D-6-M-256	31,90
	D-6-M-257	32,50
	D-6-M-258	31,36
	D-6-M-259	32,57
	D-6-M-260	32,23
	D-6-M-261	29,00
	D-6-M-262	27,65
	D-6-M-263	28,20
	D-6-M-264	29,30
	D-6-M-265	27,80
	D-6-M-266	31,50
	D-6-M-267	30,40
	D-6-M-268	30,75
	D-6-M-269	31,85
D-6-M-270	30,60	

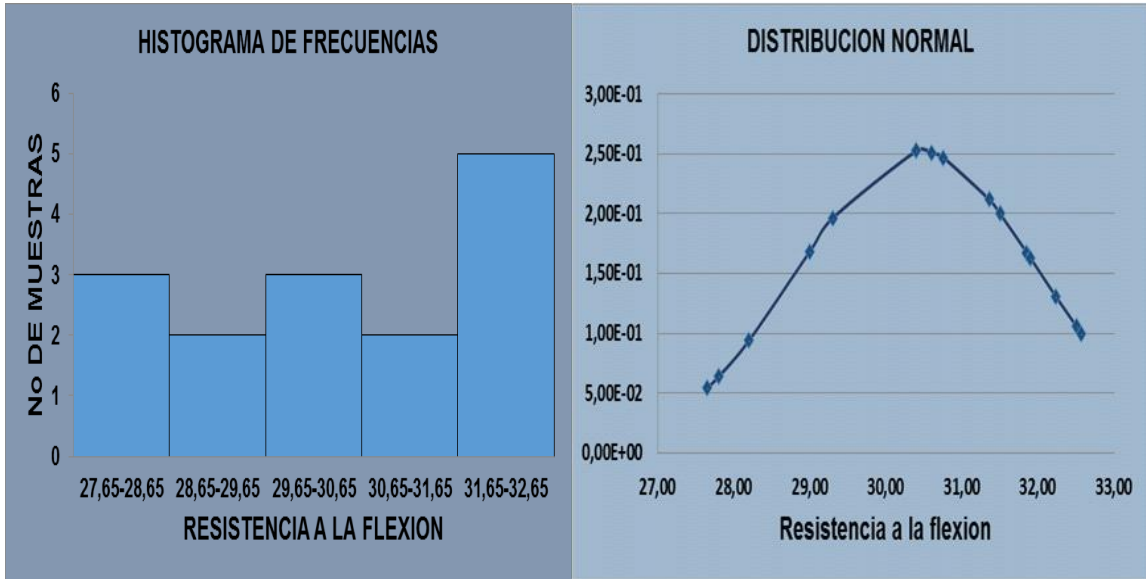
Fuente: Propia

Tabla 7.40 Análisis estadístico a 28 días diseño 6.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi*Xi	Xi-u	Xi-u^2	fi*(Xi-u)^2	
(27,65 28,65>	28,15	3	3	84,45	-2,27	5,15	15,46	
(28,65 29,65>	29,15	2	5	58,3	-1,27	1,61	3,23	
(29,65 30,65>	30,15	3	8	90,45	-0,27	0,07	0,22	
(30,65 31,65>	31,15	2	10	62,3	0,73	0,53	1,07	
(31,65 32,65>	32,15	5	15	160,75	1,73	2,99	14,96	
		15		456,25		10,36	34,93	
NUMERO DE MUESTRA N							15,00	
RANGO DE DATOS :RX		Xmax=32,57		Xmin=27,65		4,92	5	
NUMERO DE INTERVALOS DE CLASE :K							5,06	
ANCHO O TAMAÑO DE INTERVALOS DE CLASE :C							0,97	
MEDIA :U							30,42	
MEDIANA :Um		U>Um>Xo-->Der; U<Um<Xo-->lzq.						30,65
MODA : Uo							32,03	
VARIANZA :δ²							2,50	
DESVIACION ESTANDAR :δ							1,58	
COEFICIENTE DE VARIACION :CV							5,19	
PERCENTIL :		P₁₀ >= 1,50						28,15
PERCENTIL :		P₂₅ >= 3,75						29,13
PERCENTIL :		P₅₀ >= 7,50						30,50
PERCENTIL :		P₇₅ >= 11,25						31,95
PERCENTIL :		P₉₀ >= 13,5						32,35
PRIMER COEFICIENTE PEARSON : AS			AS=0,AS>0-->DER; AS=0,AS<0-->IZQ.					-1,02
SEGUNDO COEFICIENTE DE PEARSON : AS			AS=0,AS>0-->DER; AS=0,AS<0-->IZQ.					-0,08
COEFICIENTE DE CURTOSIS : K			k<0,263-->Lepto; k=0,263-->Meso; k>0,263-->Plati					0,34

Fuente: Propia

Figura 7. 20 Histograma de frecuencias y distribución normal diseño 6.



Fuente: Propia

Tabla 7.41 datos de resistencia a la flexión a 28 días diseño No 7.

MUESTRAS	F _c (Xi)
D-7-M-301	43,35
D-1-M-302	44,70
D-7-M-303	43,62
D-7-M-304	43,21
D-7-M-305	42,41
D-7-M-306	41,45
D-7-M-307	40,35
D-7-M-308	39,75
D-7-M-309	41,25
D-7-M-310	42,45
D-7-M-311	44,15
D-7-M-312	39,20
D-7-M-313	44,50
D-7-M-314	40,75
D-7-M-315	39,90

RESISTENCIA A LA FLEXION (F_c) OBTENIDA A LOS 28 DIAS CON A/C=0,38, V=18%, C=510KG

Fuente: Propia

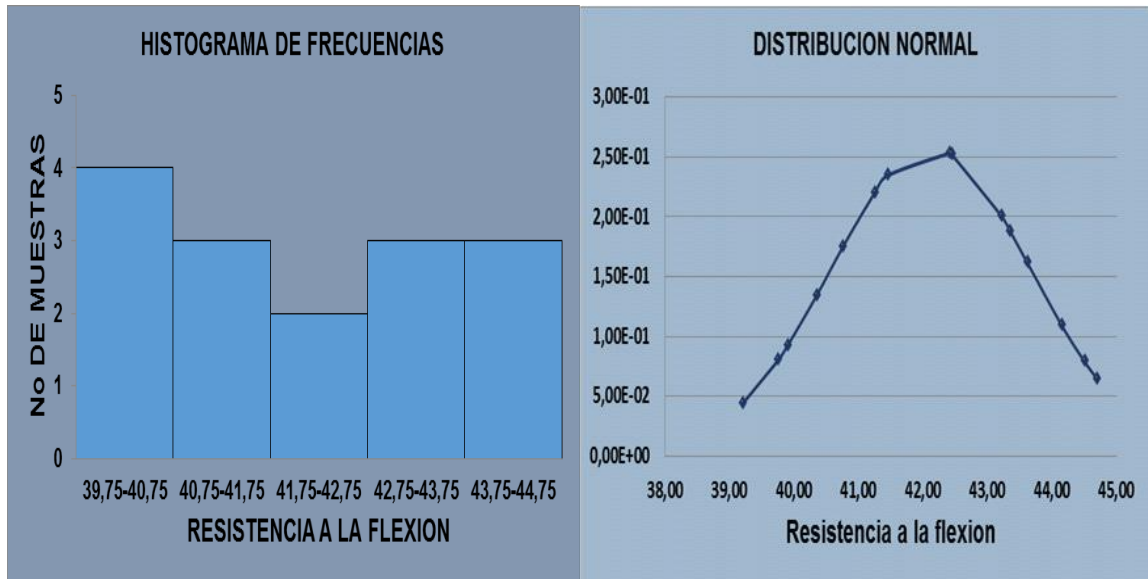
Tabla 7.42 Análisis estadístico a 28 días diseño 7.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi*Xi	Xi-u	Xi-u ²	fi*(Xi-u) ²
(39,75 40,75>	40,25	4	4	161	-1,87	3,50	13,99
(40,75 41,75>	41,25	3	7	123,75	-0,87	0,76	2,27
(41,75 42,75>	42,25	2	9	84,5	0,13	0,02	0,03
(42,75 43,75>	43,25	3	12	129,75	1,13	1,28	3,83
(43,75 44,75>	44,25	3	15	132,75	2,13	4,54	13,61
		15		631,75		10,08	33,73

NUMERO DE MUESTRA N			15,00
RANGO DE DATOS :RX	Xmax=44,70	Xmin=39,75	4,95
NUMERO DE INTERVALOS DE CLASE :K			5,06
ANCHO O TAMAÑO DE INTERVALOS DE CLASE :C			0,98
MEDIA :U			42,12
MEDIANA :Um	U>Um>Xo-->Der;U<Um<Xo-->Izq.		42,25
MODA : Uo			40,55
VARIANZA : δ^2			2,41
DESVIACION ESTANDAR : δ			1,55
COEFICIENTE DE VARIACION :CV			3,68
PERCENTIL :	P ₁₀ >= 1,50		40,13
PERCENTIL :	P ₂₅ >= 3,75		40,69
PERCENTIL :	P ₅₀ >= 7,50		42,00
PERCENTIL :	P ₇₅ >= 11,25		43,50
PERCENTIL :	P ₉₀ >= 13,5		44,50
PRIMER COEFICIENTE PEARSON : AS	AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.		1,01
SEGUNDO COEFICIENTE DE PEARSON : AS	AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.		-0,11
COEFICIENTE DE CURTOSIS : K	k<0,263-->Lepto; k=0,263-->Meso; k>0,263-->Plati		0,32

Fuente: Propia

Figura 7. 21 Histograma de frecuencias y distribución normal diseño 7.



Fuente: Propia

Tabla 7.43 datos de resistencia a la flexión a 28 días diseño No8.

RESISTENCIA A LA FLEXION (Fc) OBTENIDA A LOS 28 DIAS CON A/C=0,38, V=18%, C=510KG,0,075% DE TIRAS DE 2MM X 10MM	MUESTRAS	F'c (Xi)
	D-8-M-346	43,82
	D-8-M-347	44,43
	D-8-M-348	44,29
	D-8-M-349	44,16
	D-8-M-350	44,70
	D-8-M-351	43,60
	D-8-M-352	40,45
	D-8-M-353	42,75
	D-8-M-354	43,30
	D-8-M-355	41,55
	D-8-M-356	42,40
	D-8-M-357	40,75
	D-8-M-358	41,65
D-8-M-359	39,95	
D-8-M-360	39,80	

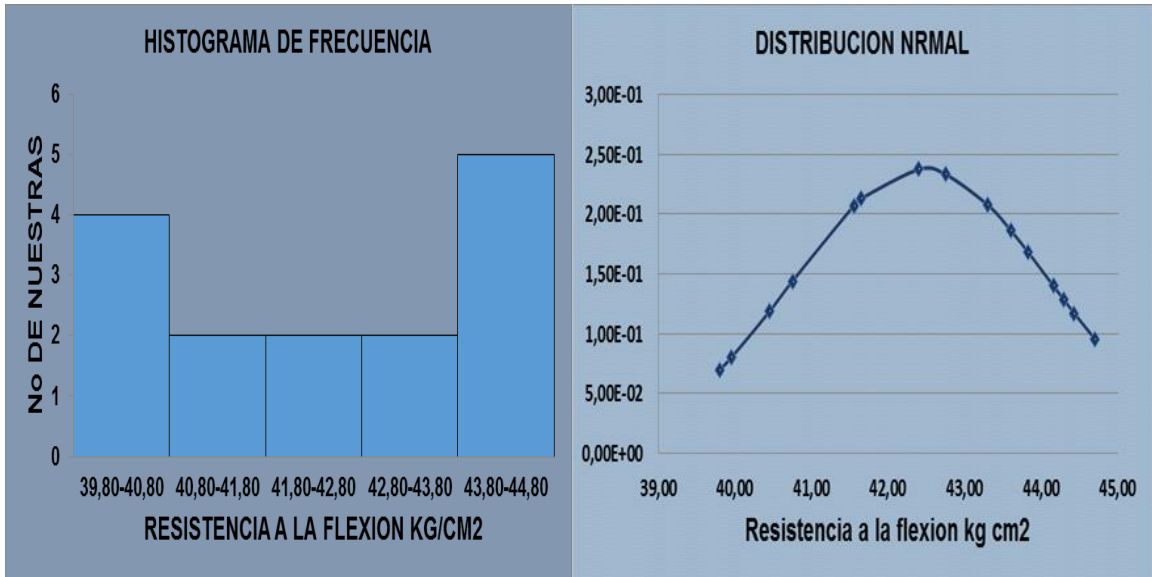
Fuente: Propia

Tabla 7.44 Análisis estadístico a 28 días diseño 8.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi*Xi	Xi-u	Xi-u^2	fi*(Xi-u)^2	
(39,80 40,80>	40,3	4	4	161,2	-2,13	4,54	18,15	
(40,80 41,80>	41,3	2	6	82,6	-1,13	1,28	2,55	
(41,80 42,80>	42,3	2	8	84,6	-0,13	0,02	0,03	
(42,80 43,80>	43,3	2	10	86,6	0,87	0,76	1,51	
(43,80 44,80>	44,3	5	15	221,5	1,87	3,50	17,48	
		15		636,5		10,08	39,73	
NUMERO DE MUESTRA N							15,00	
RANGO DE DATOS :RX		Xmax=44,70		Xmin=39,80		4,9	5	
NUMERO DE INTERVALOS DE CLASE :K							5,06	5
ANCHO O TAMAÑO DE INTERVALOS DE CLASE :C							0,97	1
MEDIA :U							42,43	
MEDIANA :Um		U>Um>Xo-->Der; U<Um<Xo-->Izq.					42,80	
MODA : Uo							44,18	
VARIANZA :δ ²							2,84	
DESVIACION ESTANDAR :δ							1,68	
COEFICIENTE DE VARIACION :CV							3,96	
PERCENTIL :		P ₁₀ >= 1,50					40,18	
PERCENTIL :		P ₂₅ >= 3,75					40,68	
PERCENTIL :		P ₅₀ >= 7,50					42,55	
PERCENTIL :		P ₇₅ >= 11,25					44,05	
PERCENTIL :		P ₉₀ >= 13,5					44,50	
PRIMER COEFICIENTE PEARSON : AS			AS=0,AS>0-->DER; AS=0,AS<0-->IZQ.				-1,04	
SEGUNDO COEFICIENTE DE PEARSON : AS			AS=0,AS>0-->DER; AS=0,AS<0-->IZQ.				-0,26	
COEFICIENTE DE CURTOSIS : K			k<0,263-->Lepto; k=0,263-->Meso; k>0,263-->Plati				0,39	

Fuente: Propia

Figura 7. 22 Histograma de frecuencias y distribución normal diseño 8.



Fuente: Propia

Tabla 7.45 datos de resistencia a la flexión a 28 días diseño No 9.

MUESTRAS	F'c (Xi)
D-9-M-391	42,00
D-9-M-392	43,35
D-9-M-393	41,46
D-9-M-394	42,27
D-9-M-395	42,95
D-9-M-396	39,60
D-9-M-397	38,55
D-9-M-398	40,25
D-9-M-399	41,35
D-9-M-400	43,15
D-9-M-401	41,80
D-9-M-402	40,45
D-9-M-403	38,90
D-9-M-404	39,50
D-9-M-405	43,00

RESISTENCIA A LA FLEXION (F'c) OBTENIDA A LOS 28 DIAS CON A/C=0,38, V=18%, C=510KG, 0,1% DE TIRAS DE 2MM X 10MM

Fuente: Propia

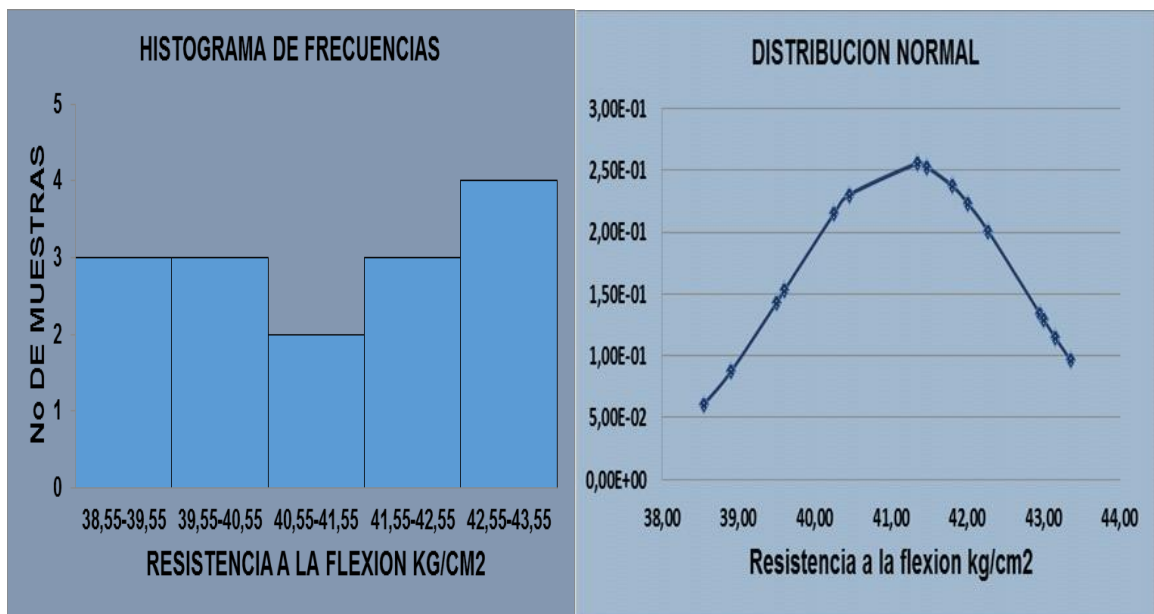
Tabla 7.46 Análisis estadístico a 28 días diseño 9.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi*Xi	Xi-u	Xi-u^2	fi*(Xi-u)^2
(38,55 39,55>	39,05	3	4	117,15	-2,13	4,54	13,61
(39,55 40,55>	40,05	3	6	120,15	-1,13	1,28	3,83
(40,55 41,55>	41,05	2	8	82,1	-0,13	0,02	0,03
(41,55 42,55>	42,05	3	11	126,15	0,87	0,76	2,27
(42,55 43,55>	43,05	4	15	172,2	1,87	3,50	13,99
		15		617,75		10,08	33,73

NUMERO DE MUESTRA N			15,00
RANGO DE DATOS :RX	Xmax=43,35	Xmin=38,55	4,8
NUMERO DE INTERVALOS DE CLASE :K			5,06
ANCHO O TAMAÑO DE INTERVALOS DE CLASE :C			0,95
MEDIA :U			41,18
MEDIANA :Um	U>Um>Xo-->Der;U<Um<Xo-->lzq.		41,55
MODA : Uo			42,75
VARIANZA : δ^2			2,41
DESVIACION ESTANDAR : δ			1,55
COEFICIENTE DE VARIACION :CV			3,76
PERCENTIL :	P ₁₀ >= 1,50		38,93
PERCENTIL :	P ₂₅ >= 3,75		39,69
PERCENTIL :	P ₅₀ >= 7,50		41,30
PERCENTIL :	P ₇₅ >= 11,25		42,56
PERCENTIL :	P ₉₀ >= 13,5		43,18
PRIMER COEFICIENTE PEARSON : AS	AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.		-1,01
SEGUNDO COEFICIENTE DE PEARSON : AS	AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.		-0,30
COEFICIENTE DE CURTOSIS : K	k<0,263-->Lepto; k=0,263-->Meso; k>0,263-->Plati		0,34

Fuente: Propia

Figura 7. 23 Histograma de frecuencias y distribución normal diseño 9.



Fuente: Propia

Tabla 7.47 datos de resistencia a la flexión a 28 días diseño No 10.

	MUESTRAS	F'c (Xi)
RESISTENCIA A LA FLEXION (F_c) OBTENIDA A LOS 28 DIAS CON A/C=0,38, V=18%, C=510KG, 0,2% DE TIRAS DE 2MM X 10MM	D-10-M-436	39,04
	D-10-M-437	38,09
	D-10-M-438	37,69
	D-10-M-439	38,63
	D-10-M-440	39,17
	D-10-M-441	36,30
	D_10-M-442	35,80
	D-10-M-443	34,25
	D-10-M-444	39,55
	D-10-M-445	34,70
	D-10-M-446	37,45
	D-10-M-447	35,65
	D-10-M-448	36,75
	D-10-M-449	38,80
	D-10-M-450	39,10

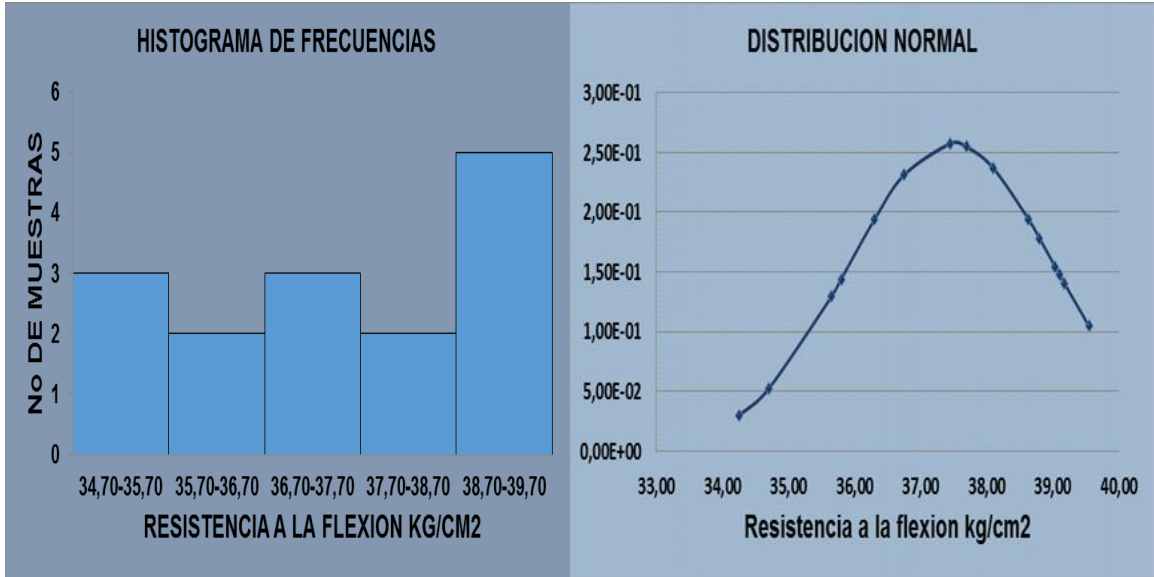
Fuente: Propia

Tabla 7.48 Análisis estadístico a 28 días diseño 10.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi*Xi	Xi-u	Xi-u ²	fi*(Xi-u) ²	
(34,70 35,70>	35,2	3	4	105,6	-2,27	5,15	15,46	
(35,70 36,70>	36,2	2	5	72,4	-1,27	1,61	3,23	
(36,70 37,70>	37,2	3	8	111,6	-0,27	0,07	0,22	
(37,70 38,70>	38,2	2	10	76,4	0,73	0,53	1,07	
(38,70 39,70>	39,2	5	15	196	1,73	2,99	14,96	
		15		562		10,36	34,93	
NUMERO DE MUESTRA N							15,00	
RANGO DE DATOS :RX		Xmax=39,55		Xmin=34,70		4,85	5	
NUMERO DE INTERVALOS DE CLASE :K							5,06	5
ANCHO O TAMAÑO DE INTERVALOS DE CLASE :C							0,96	1
MEDIA :U							37,47	
MEDIANA :Um		U>Um>Xo-->Der; U<Um<Xo-->Izq.					37,70	
MODA : Uo							39,50	
VARIANZA :δ²							2,50	
DESVIACION ESTANDAR :δ							1,55	
COEFICIENTE DE VARIACION :CV							4,14	
PERCENTIL :		P ₁₀ >= 1,50					35,08	
PERCENTIL :		P ₂₅ >= 3,75					35,64	
PERCENTIL :		P ₅₀ >= 7,50					37,53	
PERCENTIL :		P ₇₅ >= 11,25					38,95	
PERCENTIL :		P ₉₀ >= 13,5					39,40	
PRIMER COEFICIENTE PEARSON : AS			AS=0,AS>0-->DER; AS=0,AS<0-->IZQ.				-1,31	
SEGUNDO COEFICIENTE DE PEARSON : AS			AS=0,AS>0-->DER; AS=0,AS<0-->IZQ.				-0,24	
COEFICIENTE DE CURTOSIS : K			k<0,263-->Lepto; k=0,263-->Meso; k>0,263-->Plati				0,38	

Fuente: Propia

Figura 7. 24 Histograma de frecuencias y distribución normal diseño 10.



Fuente: Propia

Tabla 7.49 datos de resistencia a la flexión a 28 días diseño No 11.

MUESTRAS	F _c (Xi)
D-11-M-481	55,34
D-11-M-482	54,13
D-11-M-483	53,72
D-11-M-484	54,06
D-11-M-485	54,40
D-11-M-486	51,75
D-11-M-487	51,25
D-11-M-488	50,65
D-11-M-489	52,85
D-11-M-490	51,65
D-11-M-491	50,35
D-11-M-492	52,15
D-11-M-493	54,50
D-11-M-494	53,25
D-11-M-495	53,40

RESISTENCIA A LA FLEXION (F_c) OBTENIDA A LOS 28 DIAS CON A/C=0,38, V=18%, C=510KG, 0,075% DE TIRAS DE 4MM X 20MM

Fuente: Propia

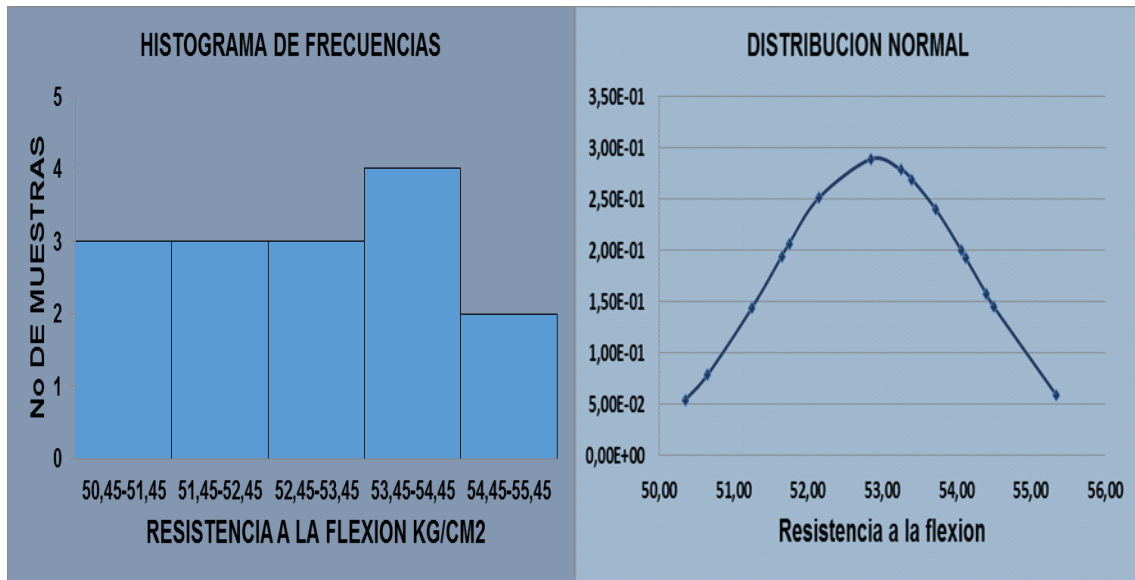
Tabla 7.50 Análisis estadístico a 28 días diseño 11.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi*Xi	Xi-u	Xi-u ²	fi*(Xi-u) ²
(50,45 51,45>	50,95	3	3	152,85	-1,93	3,72	11,17
(51,45 52,45>	51,95	3	6	155,85	-0,93	0,86	2,59
(52,45 53,45>	52,95	3	9	158,85	0,07	0,005	0,01
(53,45 54,45>	53,95	4	13	215,8	1,07	1,14	4,58
(54,45 55,45>	54,95	2	15	109,9	2,07	4,28	8,57
		15		793,25		10,02	26,93

NUMERO DE MUESTRA N			15,00
RANGO DE DATOS :RX	Xmax=55,34	Xmin=50,45	4,89
NUMERO DE INTERVALOS DE CLASE :K			5,06
ANCHO O TAMAÑO DE INTERVALOS DE CLASE :C			0,96
MEDIA :U			52,88
MEDIANA :Um	U>Um>Xo-->Der;U<Um<Xo-->Izq.		53,12
MODA : Uo			53,78
VARIANZA : δ^2			1,92
DESVIACION ESTANDAR : δ			1,38
COEFICIENTE DE VARIACION :CV			2,61
PERCENTIL :	P ₁₀ >= 1,50		50,95
PERCENTIL :	P ₂₅ >= 3,75		51,70
PERCENTIL :	P ₅₀ >= 7,50		52,95
PERCENTIL :	P ₇₅ >= 11,25		54,01
PERCENTIL :	P ₉₀ >= 13,5		54,70
PRIMER COEFICIENTE PEARSON : AS	AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.		-0,65
SEGUNDO COEFICIENTE DE PEARSON : AS	AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.		-0,23
COEFICIENTE DE CURTOSIS : K	k<0,263-->Lepto; k=0,263-->Meso; k>0,263-->Plati		0,31

Fuente: Propia

Figura 7. 25 Histograma de frecuencias y distribución normal diseño 11.



Fuente: Propia

Tabla 7.51 datos de resistencia a la flexión a 28 días diseño No 12.

	MUESTRAS	F _c (Xi)
RESISTENCIA A LA FLEXION (F_c) OBTENIDA A LOS 28 DIAS CON A/C=0,38, V=18%, C=510KG, 0,1% DE TIRAS DE 4MM X 20MM	D-12-M-526	56,35
	D-12-M-527	55,48
	D-12-M-528	54,94
	D-12-M-529	56,15
	D-12-M-530	55,41
	D-21-M-531	51,55
	D-12-M-532	53,35
	D-12-M-533	54,45
	D-12-M-534	52,25
	D-12-M-535	51,75
	D-12-M-536	53,15
	D-12-M-537	56,50
	D-12-M-538	55,60
	D-12-M-539	54,40
	D-12-M-540	55,90

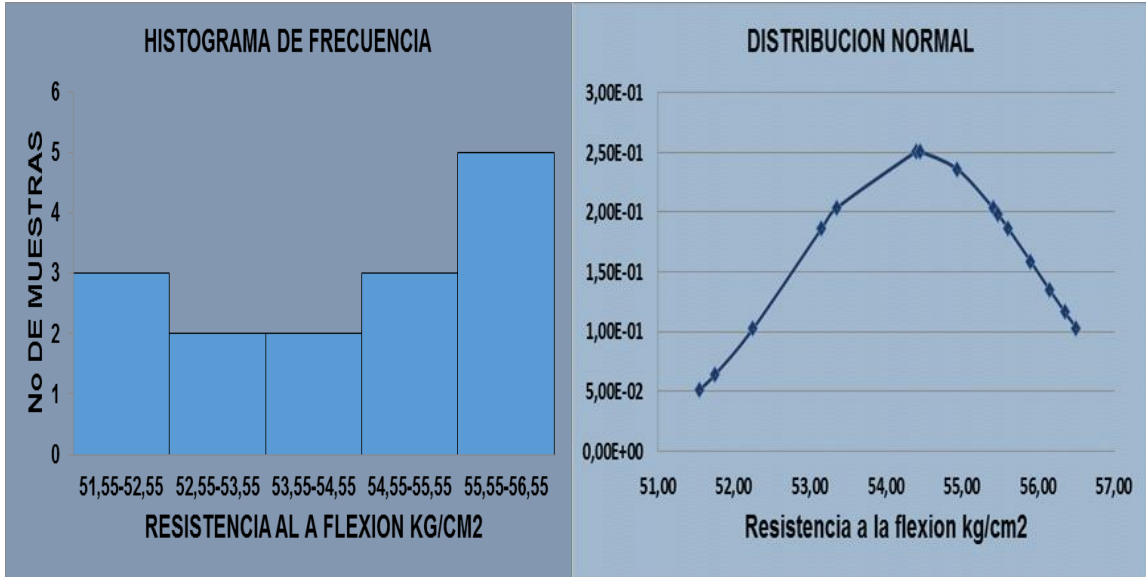
Fuente: Propia

Tabla 7.52 Análisis estadístico a 28 días diseño 12.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi*Xi	Xi-u	Xi-u ²	fi*(Xi-u) ²
(51,55 52,55>	52,05	3	3	156,15	-2,33	5,43	16,29
(52,55 53,55>	53,05	2	5	106,1	-1,33	1,77	3,54
(53,55 54,55>	54,05	2	7	108,1	-0,33	0,109	0,22
(54,55 55,55>	55,05	3	10	165,15	0,67	0,45	1,35
(55,55 56,55>	56,05	5	15	280,25	1,67	2,79	13,94
		15		815,75		10,54	35,33
NUMERO DE MUESTRA N							15,00
RANGO DE DATOS :RX		Xmax=56,35		Xmin=51,55		4,8	5
NUMERO DE INTERVALOS DE CLASE :K							5,06
ANCHO O TAMAÑO DE INTERVALOS DE CLASE :C							0,97
MEDIA :U							54,38
MEDIANA :Um		U>Um>Xo-->Der; U<Um<Xo-->Izq.					54,88
MODA : Uo							55,84
VARIANZA :δ²							2,52
DESVIACION ESTANDAR :δ							1,59
COEFICIENTE DE VARIACION :CV							2,92
PERCENTIL :		P₁₀ >= 1,50					52,05
PERCENTIL :		P₂₅ >= 3,75					52,93
PERCENTIL :		P₅₀ >= 7,50					54,72
PERCENTIL :		P₇₅ >= 11,25					55,80
PERCENTIL :		P₉₀ >= 13,5					56,25
PRIMER COEFICIENTE PEARSON : AS			AS=0,AS>0-->DER; AS=0,AS<0-->IZQ.				-0,92
SEGUNDO COEFICIENTE DE PEARSON : AS			AS=0,AS>0-->DER; AS=0,AS<0-->IZQ.				-0,36
COEFICIENTE DE CURTOSIS : K			k<0,263-->Lepto; k=0,263-->Meso; k>0,263-->Plati				0,34

Fuente: Propia

Figura 7. 26 Histograma de frecuencias y distribución normal diseño 12.



Fuente: Propia

Tabla 7.53 datos de resistencia a la flexión a 28 días diseño No 13.

	MUESTRAS	F'c (Xi)
RESISTENCIA A LA FLEXION (F_c) OBTENIDA A LOS 28 DIAS CON A/C=0,38, V=18%, C=510KG, 0,2% DE TIRAS DE 4MM X 20MM	D-13-M-571	44,70
	D-13-M-572	44,43
	D-13-M-573	44,16
	D-13-M-574	45,30
	D-13-M-575	44,63
	D-13-M-576	42,20
	D-13-M-577	40,50
	D-13-M-578	43,45
	D-13-M-579	45,10
	D-13-M-580	42,30
	D-13-M-581	40,70
	D-13-M-582	41,25
	D-13-M-583	43,40
	D-13-M-584	41,70
	D-13-M-585	44,30

Fuente: Propia

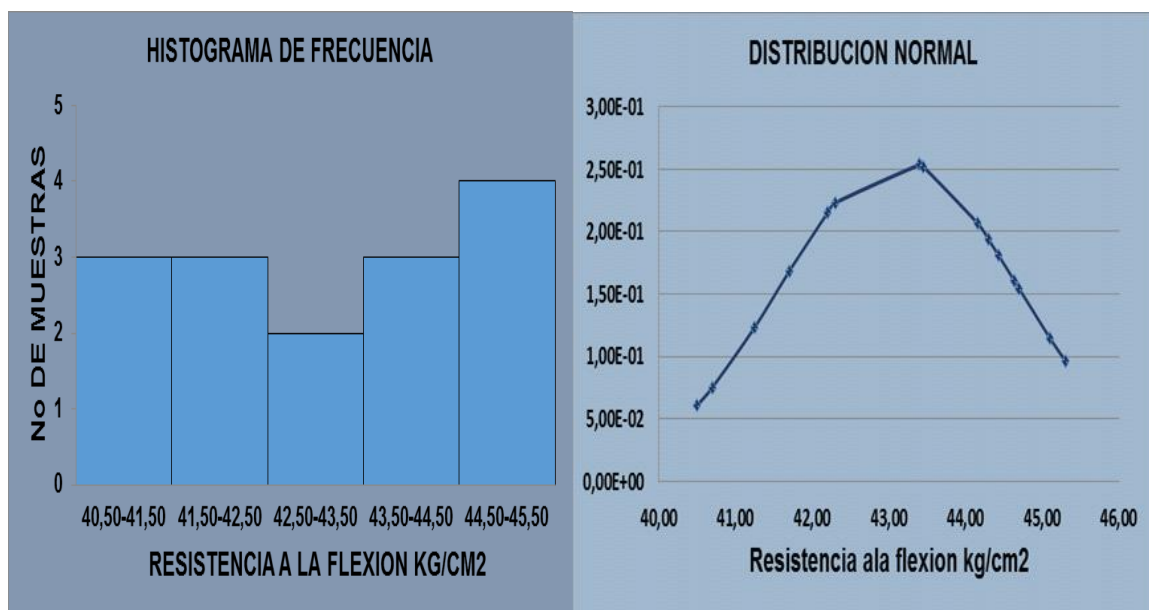
Tabla 7.54 Análisis estadístico a 28 días diseño 13.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi*Xi	Xi-u	Xi-u^2	fi*(Xi-u)^2
(40,50 41,50>	41	3	3	123	-2,13	4,54	13,61
(41,50 42,50>	42	3	6	126	-1,13	1,28	3,83
(42,50 43,50>	43	2	8	86	-0,13	0,017	0,03
(43,50 44,50>	44	3	11	132	0,87	0,76	2,27
(44,50 45,50>	45	4	15	180	1,87	3,50	13,99
		15		647		10,08	33,73

NUMERO DE MUESTRA N			15,00
RANGO DE DATOS :RX	Xmax=45,30	Xmin=40,50	4,8
NUMERO DE INTERVALOS DE CLASE :K			5,06
ANCHO O TAMAÑO DE INTERVALOS DE CLASE :C			0,95
MEDIA :U			43,13
MEDIANA :Um	U>Um>Xo-->Der;U<Um<Xo-->Izq.		43,50
MODA : Uo			44,70
VARIANZA : δ^2			2,41
DESVIACION ESTANDAR : δ			1,55
COEFICIENTE DE VARIACION :CV			3,59
PERCENTIL :	P ₁₀ >= 1,50		41,00
PERCENTIL :	P ₂₅ >= 3,75		42,08
PERCENTIL :	P ₅₀ >= 7,50		43,25
PERCENTIL :	P ₇₅ >= 11,25		44,56
PERCENTIL :	P ₉₀ >= 13,5		45,13
PRIMER COEFICIENTE PEARSON : AS	AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.		-1,01
SEGUNDO COEFICIENTE DE PEARSON : AS	AS=0,AS>0-->DER;AS=0,AS<0-->IZQ.		-0,14
COEFICIENTE DE CURTOSIS : K	k<0,263-->Lepto; k=0,263-->Meso; k>0,263-->Plati		0,30

Fuente: Propia

Figura 7. 27 Histograma de frecuencias y distribución normal diseño 13.



Fuente: Propia

Tabla 7.55 datos de resistencia a la flexión a 28 días diseño No 14.

	MUESTRAS	F _c (Xi)
RESISTENCIA A LA FLEXION (F_c) OBTENIDA A LOS 28 DIAS CON A/C=0,38, V=18%, C=510KG, 0,1% DE TIRAS DE 4MM X 20MM Y 4,25ML/KG DE CEM. DE GLENIUM 7500	D-14-M-516	55,61
	D-14-M-517	56,28
	D-14-M-518	56,82
	D-14-M-519	56,55
	D-14-M-520	57,09
	D-14-M-521	53,45
	D_14-M-522	52,15
	D-14-M-523	54,25
	D-14-M-524	56,95
	D-14-M-525	57,00
	D-14-M-526	52,40
	D-14-M-527	53,60
	D-14-M-528	54,55
	D-14-M-529	55,20
	D-14-M-530	53,00

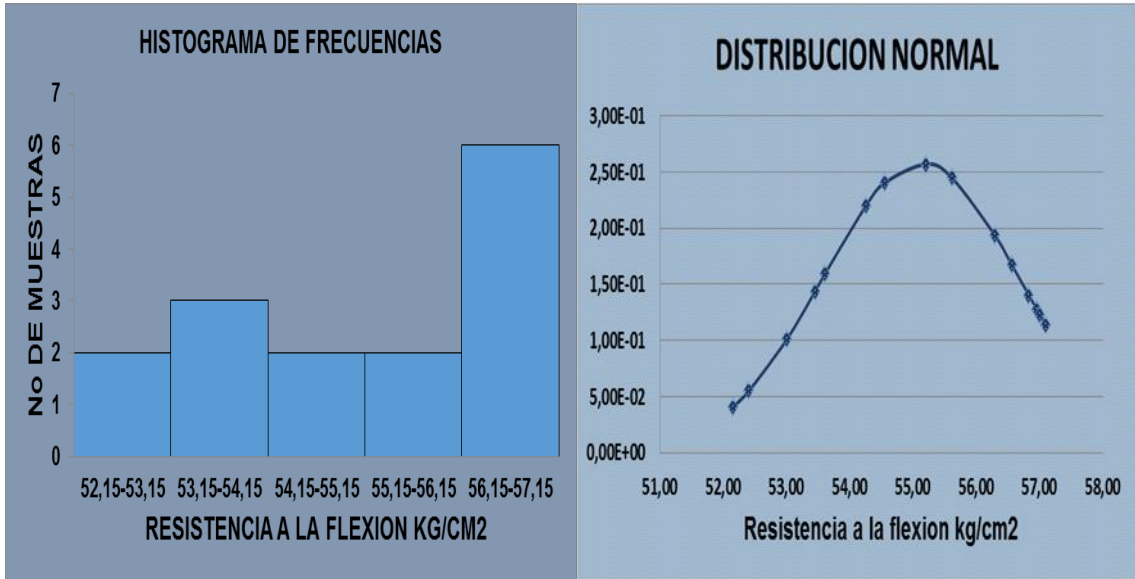
Fuente: Propia

Tabla 7.56 Análisis estadístico a 28 días diseño 14.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi*Xi	Xi-u	Xi-u ²	fi*(Xi-u) ²	
(52,15 53,15>	52,65	2	2	105,3	-2,47	6,10	12,20	
(53,15 54,15>	53,65	3	5	160,95	-1,47	2,16	6,48	
(54,15 55,15>	54,65	2	7	109,3	-0,47	0,221	0,44	
(55,15 56,15>	55,65	2	9	111,3	0,53	0,28	0,56	
(56,15 57,15>	56,65	6	15	339,9	1,53	2,34	14,05	
		15		826,75		11,10	33,73	
NUMERO DE MUESTRA N							15,00	
RANGO DE DATOS :RX		Xmax=57,09		Xmin=52,15		4,94	5	
NUMERO DE INTERVALOS DE CLASE :K							5,06	
ANCHO O TAMAÑO DE INTERVALOS DE CLASE :C							0,98	
MEDIA :U							55,12	
MEDIANA :Um		U>Um>Xo-->Der; U<Um<Xo-->Izq.						55,65
MODA : Uo							56,55	
VARIANZA :δ²							2,41	
DESVIACION ESTANDAR :δ							1,55	
COEFICIENTE DE VARIACION :CV							2,81	
PERCENTIL :		P₁₀ >= 1,50						52,90
PERCENTIL :		P₂₅ >= 3,75						53,73
PERCENTIL :		P₅₀ >= 7,50						55,40
PERCENTIL :		P₇₅ >= 11,25						56,53
PERCENTIL :		P₉₀ >= 13,5						56,90
PRIMER COEFICIENTE PEARSON : AS			AS=0,AS>0-->DER; AS=0,AS<0-->IZQ.					-0,94
SEGUNDO COEFICIENTE DE PEARSON : AS			AS=0,AS>0-->DER; AS=0,AS<0-->IZQ.					-0,37
COEFICIENTE DE CURTOSIS : K			k<0,263-->Lepto; k=0,263-->Meso; k>0,263-->Plati					0,35

Fuente: Propia

Figura 7. 28 Histograma de frecuencias y distribución normal diseño 14.



Fuente: Propia

7.1.3 ANALISIS ESTADISTICO: CONTENIDO DE VACIOS

Tabla 7. 57 Análisis estadístico: diseño No 1– % Vacíos en estado fresco.

NUMERO DE ESPECIMENES	3	% DE VACIOS (Xi)	(Xi-U)	(Xi-U)^2
% DE VACIOS EN ESTADO FRESCO A/C=0,32,C=430 KG	MUESTRAS			
	D-1-A	18,61	-0,06	0,0032
	D-1-B	18,74	0,07	0,0054
	D-1-C	18,65	-0,02	0,0003
Media: (U)	18,67			
$\Sigma(Xi-U)^2$	0,0089			
Varianza: (δ^2)	0,0044			
Desviacion estandar: (δ)	0,0665			
Coefficiente de variacion: (v_t)	0,3566			

Fuente: Propia

Tabla 7. 58 Análisis estadístico: diseño No 2– % Vacíos en estado fresco.

NUMERO DE ESPECIMENES	3	% DE VACIOS (Xi)	(Xi-U)	(Xi-U)^2
	MUESTRAS			
% DE VACIOS EN ESTADO FRESCO A/C=0,32,C=430 KG	D-2-A	20,12	0,01	0,0001
	D-2-B	20,18	0,07	0,0049
	D-2-C	20,03	-0,08	0,0064
Media: (U)	20,11			
$\Sigma(Xi-U)^2$	0,0114			
Varianza: (δ^2)	0,0057			
Desviacion estandar: (δ)	0,0754			
Coefficiente de variacion: (vt)	0,3754			

Fuente: Propia

Tabla 7. 59 Análisis estadístico: diseño No 3– % Vacíos en estado fresco.

NUMERO DE ESPECIMENES	3	% DE VACIOS (Xi)	(Xi-U)	(Xi-U)^2
	MUESTRAS			
% DE VACIOS EN ESTADO FRESCO A/C=0,35 C=430 KG	D-3-A	18,17	0,17	0,0278
	D-3-B	18,05	0,05	0,0022
	D-3-C	17,79	-0,21	0,0455
Media: (U)	18,00			
$\Sigma(Xi-U)^2$	0,0755			
Varianza: (δ^2)	0,0377			
Desviacion estandar: (δ)	0,1942			
Coefficiente de variacion: (vt)	1,0797			

Fuente: Propia

Tabla 7. 60 Análisis estadístico: diseño No 4– % Vacíos en estado fresco.

NUMERO DE ESPECIMENES	3	% DE VACIOS (Xi)	(Xi-U)	(Xi-U)^2
	MUESTRAS			
% DE VACIOS EN ESTADO FRESCO A/C=0,35 C=430 KG	D-4-A	20,2	0,08	0,0059
	D-4-B	19,93	-0,19	0,0374
	D-4-C	20,24	0,12	0,0136
Media: (U)	20,12			
$\Sigma(Xi-U)^2$	0,0569			
Varianza: (δ^2)	0,0284			
Desviacion estandar: (δ)	0,1686			
Coefficiente de variacion: (vt)	0,8379			

Fuente: Propia

Tabla 7. 61 Análisis estadístico: diseño No 5– % Vacíos en estado fresco.

NUMERO DE ESPECIMENES	3	% DE VACIOS (Xi)	(Xi-U)	(Xi-U)^2
	MUESTRAS			
% DE VACIOS EN ESTADO FRESCO A/C=0,38 C=430 KG	D-5-A	18,30	-0,07	0,0044
	D-5-B	18,68	0,31	0,0982
	D-5-C	18,12	-0,25	0,0608
Media: (U)	18,37			
$\Sigma(Xi-U)^2$	0,1635			
Varianza: (δ^2)	0,0817			
Desviacion estandar: (δ)	0,2858			
Coefficiente de variacion: (vt)	1,5565			

Fuente: Propia

Tabla 7. 62 Análisis estadístico: diseño No 6 – % Vacíos en estado fresco.

NUMERO DE ESPECIMENES	3	% DE VACIOS (Xi)	(Xi-U)	(Xi-U)^2
	MUESTRAS			
% DE VACIOS EN ESTADO FRESCO A/C=0,38 C=430 KG	D-6-A	20,01	0,00	0,0000
	D-6-B	20,16	0,15	0,0225
	D-6-C	19,86	-0,15	0,0225
Media: (U)	20,01			
$\Sigma(Xi-U)^2$	0,0450			
Varianza: (δ^2)	0,0225			
Desviacion estandar: (δ)	0,1500			
Coefficiente de variacion: (vt)	0,7490			

Fuente: Propia

Tabla 7. 63 Análisis estadístico: diseño No 7 – % Vacíos en estado fresco.

NUMERO DE ESPECIMENES	3	% DE VACIOS (Xi)	(Xi-U)	(Xi-U)^2
	MUESTRAS			
% DE VACIOS EN ESTADO FRESCO A/C=0,38 C=510 KG	D-7-A	17,79	-0,16	0,0267
	D-7-B	18,23	0,28	0,0765
	D-7-C	17,84	-0,11	0,0128
Media: (U)	17,95			
$\Sigma(Xi-U)^2$	0,1161			
Varianza: (δ^2)	0,0580			
Desviacion estandar: (δ)	0,2409			
Coefficiente de variacion: (vt)	1,3418			

Fuente: Propia

Tabla 7. 64 Análisis estadístico: diseño No 8 – % Vacíos en estado fresco.

NUMERO DE ESPECIMENES	3	% DE VACIOS (Xi)	(Xi-U)	(Xi-U)^2
% DE VACIOS EN ESTADO FRESCO A/C=0,38 C=510 KG 0,075% DE TIRAS DE 10MM X 2MM	MUESTRAS			
	D-8-A	18,53	0,11	0,0114
	D-8-B	18,41	-0,01	0,0002
	D-8-C	18,33	-0,09	0,0087
Media: (U)	18,42			
$\Sigma(Xi-U)^2$	0,0203			
Varianza: (δ^2)	0,0101			
Desviacion estandar: (δ)	0,1007			
Coefficiente de variacion: (vt)	0,5464			

Fuente: Propia

Tabla 7. 65 Análisis estadístico: diseño No 9 – % Vacíos en estado fresco.

NUMERO DE ESPECIMENES	3	% DE VACIOS (Xi)	(Xi-U)	(Xi-U)^2
% DE VACIOS EN ESTADO FRESCO A/C=0,38 C=510 KG 0,1% DE TIRAS DE 2MM X 10MM	MUESTRAS			
	D-9-A	18,49	0,02	0,0003
	D-9-C	18,56	0,09	0,0075
	D-9-C	18,37	-0,10	0,0107
Media: (U)	18,47			
$\Sigma(Xi-U)^2$	0,0185			
Varianza: (δ^2)	0,0092			
Desviacion estandar: (δ)	0,0961			
Coefficiente de variacion: (vt)	0,5201			

Fuente: Propia

Tabla 7. 66 Análisis estadístico: diseño No 10– % Vacíos en estado fresco.

NUMERO DE ESPECIMENES	3	% DE VACIOS (Xi)	(Xi-U)	(Xi-U)^2
% DE VACIOS EN ESTADO FRESCO A/C=0,38 C=510 KG 0,2% DE TIRAS DE 2MM X 10MM	MUESTRAS			
	D-10-A	18,66	0,06	0,0040
	D-10-B	18,61	0,01	0,0002
	D-10-C	18,52	-0,08	0,0059
Media: (U)	18,60			
$\Sigma(Xi-U)^2$	0,0101			
Varianza: (δ^2)	0,0050			
Desviacion estandar: (δ)	0,0709			
Coefficiente de variacion: (vt)	0,3815			

Fuente: Propia

Tabla 7. 67 Análisis estadístico: diseño No 11 – % Vacíos en estado fresco.

NUMERO DE ESPECIMENES	3	% DE VACIOS (Xi)	(Xi-U)	(Xi-U)^2
% DE VACIOS EN ESTADO FRESCO A/C=0,38 C=510 KG 0,075% DE TIRAS DE 4MM X20MM	MUESTRAS			
	D-11-A	18,06	-0,03	0,0007
	D-11-B	18,18	0,09	0,0087
	D-11-C	18,02	-0,07	0,0044
Media: (U)	18,09			
$\Sigma(Xi-U)^2$	0,0139			
Varianza: (δ^2)	0,0069			
Desviacion estandar: (δ)	0,0833			
Coeficiente de variacion: (vt)	0,4603			

Fuente: Propia

Tabla 7. 68 Análisis estadístico: diseño No 12 – % Vacíos en estado fresco.

NUMERO DE ESPECIMENES	3	% DE VACIOS (Xi)	(Xi-U)	(Xi-U)^2
% DE VACIOS EN ESTADO FRESCO A/C=0,38 C=510 KG 0,1% DE TIRAS DE 4MM X 20MM	MUESTRAS			
	D-12-A	18,11	-0,01	0,00004
	D-12-B	18,04	-0,08	0,0059
	D-12-C	18,20	0,08	0,0069
Media: (U)	18,12			
$\Sigma(Xi-U)^2$	0,0129			
Varianza: (δ^2)	0,0064			
Desviacion estandar: (δ)	0,0802			
Coeficiente de variacion: (vt)	0,4427			

Fuente: Propia

Tabla 7. 69 Análisis estadístico: diseño No 13 – % Vacíos en estado fresco.

NUMERO DE ESPECIMENES	3	% DE VACIOS (Xi)	(Xi-U)	(Xi-U)^2
% DE VACIOS EN ESTADO FRESCO A/C=0,38 C=510 KG 0,2% DE TIRAS DE 4MM X 20MM	MUESTRAS			
	D-13-A	18,41	0,01	0,0000
	D-13-B	18,30	-0,10	0,0107
	D-13-C	18,50	0,10	0,0093
Media: (U)	18,40			
$\Sigma(Xi-U)^2$	0,0201			
Varianza: (δ^2)	0,0100			
Desviacion estandar: (δ)	0,1002			
Coeficiente de variacion: (vt)	0,5442			

Fuente: Propia

Tabla 7.70 Análisis estadístico: diseño No 14 – % Vacíos en estado fresco.

NUMERO DE ESPECIMENES	3	% DE VACIOS (Xi)	(Xi-U)	(Xi-U)^2
% DE VACIOS EN ESTADO FRESCO A/C=0,38 C=510 KG 0,2% DE TIRAS DE 4MM X 20MM 4,25ML/KG DE CEM. DE GLENIUM 7500	MUESTRAS			
	D-14-A	18,08	-0,01	0,0002
	D-14-B	18,18	0,09	0,0075
	D-14-C	18,02	-0,07	0,0054
Media: (U)	18,09			
$\Sigma(Xi-U)^2$	0,0131			
Varianza: (δ^2)	0,0065			
Desviacion estandar: (δ)	0,0808			
Coefficiente de variacion: (vt)	0,4467			

Fuente: Propia

7.1.4 ANALISIS ESTADISTICO: COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD

Tabla 7.71 Análisis estadístico: diseño No 1 – coeficiente de permeabilidad.

NUMERO DE ESPECIMENES	3	% DE VACIOS (Xi)	(Xi-U)	(Xi-U)^2
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD K A/C=0,332 C=430 KG	MUESTRAS			
	D-1-A	6,39	-0,16	0,0245
	D-1-B	6,97	0,42	0,1792
	D-1-C	6,28	-0,27	0,0711
Media: (U)	6,55			
$\Sigma(Xi-U)^2$	0,2749			
Varianza: (δ^2)	0,1374			
Desviacion estandar: (δ)	0,3707			
Coefficiente de variacion: (vt)	5,6662			

Fuente: Propia

Tabla 7.72 Análisis estadístico: diseño No 2 – coeficiente de permeabilidad.

NUMERO DE ESPECIMENES	3	% DE VACIOS (Xi)	(Xi-U)	(Xi-U)^2
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD K A/C=0,32 C=430 KG	MUESTRAS			
	D-2-A	8,52	-0,46	0,2116
	D-2-B	9,45	0,47	0,2209
	D-2-C	8,97	-0,01	0,0001
Media: (U)	8,98			
$\Sigma(Xi-U)^2$	0,4326			
Varianza: (δ^2)	0,2163			
Desviacion estandar: (δ)	0,4651			
Coefficiente de variacion: (vt)	5,1790			

Fuente: Propia

Tabla 7.73 Análisis estadístico: diseño No 3 – coeficiente de permeabilidad.

NUMERO DE ESPECIMENES	3	% DE VACIOS (Xi)	(Xi-U)	(Xi-U)^2
	MUESTRAS			
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD K A/C=0,35 C=430 KG	D-3-A	6,03	0,13	0,0160
	D-3-B	5,93	0,03	0,0007
	D-3-C	5,75	-0,15	0,0235
Media: (U)	5,90			
$\Sigma(Xi-U)^2$	0,0403			
Varianza: (δ^{\wedge})	0,0201			
Desviacion estandar: (δ)	0,1419			
Coeficiente de variacion: (vt)	2,4035			

Fuente: Propia

Tabla 7.74 Análisis estadístico: diseño No 4 – coeficiente de permeabilidad.

NUMERO DE ESPECIMENES	3	% DE VACIOS (Xi)	(Xi-U)	(Xi-U)^2
	MUESTRAS			
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD K A/C=35 C=430	D-4-A	8,14	-0,01	0,0001
	D-4-B	7,88	-0,27	0,0729
	D-4-C	8,43	0,28	0,0784
Media: (U)	8,15			
$\Sigma(Xi-U)^2$	0,1514			
Varianza: (δ^{\wedge})	0,0756			
Desviacion estandar: (δ)	0,2751			
Coeficiente de variacion: (vt)	3,7590			

Fuente: Propia

Tabla 7.75 Análisis estadístico: diseño No 5 – coeficiente de permeabilidad.

NUMERO DE ESPECIMENES	3	% DE VACIOS (Xi)	(Xi-U)	(Xi-U)^2
	MUESTRAS			
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD K A/C=0,38 C=430 KG	D-5-A	5,22	0,06	0,0040
	D-5-B	4,93	-0,23	0,0514
	D-5-C	5,32	0,16	0,0267
Media: (U)	5,16			
$\Sigma(Xi-U)^2$	0,0821			
Varianza: (δ^{\wedge})	0,0410			
Desviacion estandar: (δ)	0,2026			
Coeficiente de variacion: (vt)	3,9282			

Fuente: Propia

Tabla 7.76 Análisis estadístico: diseño No 6 – coeficiente de permeabilidad.

NUMERO DE ESPECIMENES	3	% DE	(Xi-U)	(Xi-U)^2
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD K A/C=0,38 C=430 KG	MUESTRAS	VACIOS (Xi)		
	D-6-A	7,34	0,17	0,0278
	D-6-B	7,03	-0,14	0,0205
	D-6-C	7,15	-0,02	0,0005
Media: (U)	7,17			
$\Sigma(Xi-U)^2$				0,0489
Varianza: (δ^2)				0,0244
Desviacion estandar: (δ)				0,1563
Coeficiente de variacion: (vt)				2,1790

Fuente: Propia

Tabla 7.77 Análisis estadístico: diseño No 7 – coeficiente de permeabilidad.

NUMERO DE ESPECIMENES	3	% DE	(Xi-U)	(Xi-U)^2
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD K A/C=0,38 C=510 KG	MUESTRAS	VACIOS (Xi)		
	D-7-A	4,64	-0,04	0,0019
	D-7-B	4,72	0,04	0,0013
	D-7-C	4,69	0,01	0,0000
Media: (U)	4,68			
$\Sigma(Xi-U)^2$				0,0033
Varianza: (δ^2)				0,0016
Desviacion estandar: (δ)				0,0404
Coeficiente de variacion: (vt)				0,8629

Fuente: Propia

Tabla 7.78 Análisis estadístico: diseño No 8 – coeficiente de permeabilidad.

NUMERO DE ESPECIMENES	3	% DE	(Xi-U)	(Xi-U)^2
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD K A/C=0,38 C=510 KG 0,075% DE TIRAS DE 2MM X 10MM	MUESTRAS	VACIOS (Xi)		
	D-8-A	5,90	-0,02	0,0005
	D-8-B	5,85	-0,07	0,0054
	D-8-C	6,02	0,10	0,0093
Media: (U)	5,92			
$\Sigma(Xi-U)^2$				0,0153
Varianza: (δ^2)				0,0076
Desviacion estandar: (δ)				0,0874
Coeficiente de variacion: (vt)				1,4749

Fuente: Propia

Tabla 7.79 Análisis estadístico: diseño No 9 – coeficiente de permeabilidad.

NUMERO DE ESPECIMENES	3	% DE VACIOS (Xi)	(Xi-U)	(Xi-U)^2
	MUESTRAS			
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD K A/C=0,38 C=510 KG 0,1% DE TIRA DE 2MM X 10MM	D-9-A	5,96	0,10	0,0100
	D-9-B	5,75	-0,11	0,0121
	D-9-C	5,87	0,01	0,0001
Media: (U)	5,86			
$\Sigma(Xi-U)^2$				0,0222
Varianza: (δ^2)				0,0111
Desviacion estandar: (δ)				0,1053
Coeficiente de variacion: (vt)				1,7978

Fuente: Propia

Tabla 7.80 Análisis estadístico: diseño No 10 – coeficiente de permeabilidad.

NUMERO DE ESPECIMENES	3	% DE VACIOS (Xi)	(Xi-U)	(Xi-U)^2
	MUESTRAS			
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD K A/C=0,38 C=510 KG 0,2% DE TIRAS DE 2MM X 10MM	D-10-A	6,36	0,08	0,0069
	D-10-B	6,15	-0,13	0,0160
	D-10-C	6,32	0,04	0,0019
Media: (U)	6,28			
$\Sigma(Xi-U)^2$				0,0249
Varianza: (δ^2)				0,0124
Desviacion estandar: (δ)				0,1115
Coeficiente de variacion: (vt)				1,7764

Fuente: Propia

Tabla 7.81 Análisis estadístico: diseño No 11 – coeficiente de permeabilidad.

NUMERO DE ESPECIMENES	3	% DE VACIOS (Xi)	(Xi-U)	(Xi-U)^2
	MUESTRAS			
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD K A/C=0,38 C=510 KG 0,075% DE TIRAS DE 4MM X 20MM	D-11-A	4,64	-0,07	0,0049
	D-11-B	4,74	0,03	0,0009
	D-11-C	4,75	0,04	0,0016
Media: (U)	4,71			
$\Sigma(Xi-U)^2$				0,0074
Varianza: (δ^2)				0,0037
Desviacion estandar: (δ)				0,0608
Coeficiente de variacion: (vt)				1,2914

Fuente: Propia

Tabla 7.82 Análisis estadístico: diseño No 12 – coeficiente de permeabilidad.

NUMERO DE ESPECIMENES	3	% DE	(Xi-U)	(Xi-U)^2
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD K A/C=0,38 C=510 KG 0,1% DE TIRAS DE 4MM X 20MM	MUESTRAS	VACIOS (Xi)		
	D-12-A	4,52	-0,01	0,0000
	D-12-B	4,56	0,03	0,0011
	D-12-C	4,50	-0,03	0,0007
Media: (U)	4,53			
$\Sigma(Xi-U)^2$				0,0019
Varianza: (δ^{\wedge})				0,0009
Desviacion estandar: (δ)				0,0306
Coeficiente de variacion: (vt)				0,6749

Fuente: Propia

Tabla 7.83 Análisis estadístico: diseño No 13 – coeficiente de permeabilidad.

NUMERO DE ESPECIMENES	3	% DE	(Xi-U)	(Xi-U)^2
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD K A/C=0,38 C=510 KG 0,2% DE TIRAS DE 4MM X 20MM	MUESTRAS	VACIOS (Xi)		
	D-13-A	4,93	0,05	0,0022
	D-13-B	4,86	-0,02	0,0005
	D-13-C	4,86	-0,02	0,0005
Media: (U)	4,88			
$\Sigma(Xi-U)^2$				0,0033
Varianza: (δ^{\wedge})				0,0016
Desviacion estandar: (δ)				0,0404
Coeficiente de variacion: (vt)				0,8276

Fuente: Propia

Tabla 7.84 Análisis estadístico: diseño No 14 – coeficiente de permeabilidad.

NUMERO DE ESPECIMENES	3	% DE	(Xi-U)	(Xi-U)^2
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD K A/C=0,38 C=510 KG 0,1% DE TIRAS DE 4MM X 20MM 4,25MM/KG DE CEM. DE GLENIUM 7500	MUESTRAS	VACIOS (Xi)		
	D-14-A	4,47	0,04	0,0016
	D-14-B	4,39	-0,04	0,0016
	D-14-C	4,43	0,00	0,0000
Media: (U)	4,43			
$\Sigma(Xi-U)^2$				0,0032
Varianza: (δ^{\wedge})				0,0016
Desviacion estandar: (δ)				0,0400
Coeficiente de variacion: (vt)				0,9029

Fuente: Propia

7.2 PRUEBA DE HIPOTESIS

7.2.1 RESISTENCIA A LA COMPRESION

1) Prueba de hipótesis: Resistencia a la compresión a los 28 días (diseño No1 – diseño No 2)

Muestra patrón: Diseño No 1 (A/C=0,32; C=430kg)

Muestra comparada: Diseño No 2 (A/C=0,32; C=430kg)

Parámetros de interés:

Porcentaje de vacíos: diseño No 1 = 18%	diseño No 2 = 20%
No de muestras: diseño No 1 = 15	diseño No 2 = 15
Mediana (U): diseño No 1 = 121,22	diseño No 2 = 84,83
Varianza (δ): diseño No 1 = 7,70	diseño No 2 = 6,21

Hipótesis:

U1: F'c promedio del diseño 1 **U2:** F'c promedio del diseño 2

Hipótesis nula **Ho:**

$U1 \geq U2$; se rechaza la hipótesis nula, si $Z_0 < -Z$

El aumento del porcentaje de vacíos en el diseño **NO INCREMENTA** la resistencia a la compresión a los 28 días.

Hipótesis alternativa **Ha:** $U1 < U2$

El aumento del porcentaje de vacíos en el diseño **INCREMENTA** la resistencia a la compresión a los 28 días.

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$ $Z = 1,645$

Estadístico de prueba:

El estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con medias y varianzas conocidas se denota por:

$$Z_0 = \frac{U_1 - U_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2}{N_1} + \frac{\delta_2^2}{N_2}}}$$

Ecuación 17

Z_0 : estadístico de prueba

U_1, U_2 : resistencia promedio de los diseños

δ_1, δ_2 : desviación estándar de los diseños.

N_1, N_2 : cantidad de espécimen de los diseños.

Prueba Z: $Z_0 = 37,79$

Estadístico de prueba:

Del anexo de distribución normal se tiene que para un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z = 1,645$.

Rechazar H_0 si $Z_0 < -1,645$

Conclusión:

Se acepta H_0 .

Puesto que $Z_0 = 37,79$ es $> -1,645$, se **acepta $H_0 U_1 \geq U_2$ y se rechaza $H_a: U_1 < U_2$** ; con un nivel de significancia de 0,05 y se concluye que el aumento del porcentaje de vacíos **NO INCREMENTA** la resistencia a la compresión que el concreto permeable desarrolla a los 28 días.

2) Prueba de hipótesis: Resistencia a la compresión a los 28 días (diseño No 1 – diseño No 3)

Muestra patrón: Diseño No 1(C=430kg, V=18%)

Muestra comparada: Diseño No 3 (C=430kg, V=18%)

Parámetros de interés:

Relación agua/cemento: diseño No 1 = 0,32 diseño No 3 = 0,35

No de muestras: diseño No 1 = 15 diseño No 3 = 15

Mediana (U): diseño No 1 = 121,22 diseño No 3 = 131,05

Varianza (δ): diseño No 1 = 7,70 diseño No 3 = 7,54

Hipótesis:

U1: F'c promedio del diseño No 1 **U2:** F'c promedio del diseño No 3

Hipótesis nula **Ho:**

$U_1 \geq U_2$; se rechaza la hipótesis nula, si $Z_0 < -Z$

El aumento en la relación agua/cemento **NO INCREMENTA** la resistencia a la compresión del diseño.

Hipótesis alternativa **Ha:** $U_1 < U_2$

El aumento en la relación agua/cemento **INCREMENTA** la resistencia a la compresión del diseño.

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$ $Z = 1,645$

Estadístico de prueba:

El estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con medias y varianzas conocidas se denota por:

$$Z_0 = \frac{U_1 - U_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2}{N_1} + \frac{\delta_2^2}{N_2}}}$$

Ecuación 17

Z_0 : estadístico de prueba

U_1, U_2 : resistencia promedio de los diseños

δ_1, δ_2 : desviación estándar de los diseños.

N_1, N_2 : cantidad de espécimen de los diseños.

Prueba Z: $Z_0 = -10,20$

Estadístico de prueba:

Del anexo de distribución normal se tiene que para un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z = 1,645$.

Rechazar H_0 si $Z_0 < -1,645$

Conclusión:

Se rechaza H_0 .

Puesto que $Z_0 = -10,20$ es $< -1,645$, se **rechaza H_0 $U_1 \geq U_2$ y se acepta H_a : $U_1 < U_2$** ; con un nivel de significancia de 0,05 y se concluye que el aumento de la relación agua/cemento **INCREMENTA** la resistencia a la compresión en el concreto permeable desarrolla a los 28 días.

3) Prueba de hipótesis: Resistencia a la compresión a los 28 días (diseño No 3 – diseño No 4)

Muestra patrón: Diseño No 3 (A/C=0,35; C=430kg)

Muestra comparada: Diseño No 4 (A/C=0,35; C=430kg)

Parámetros de interés:

Porcentaje de vacíos: diseño No 3 = 18% diseño No 4 = 20%

No de muestras: diseño No 3 = 15 diseño No 4 = 15

Mediana (U): diseño No 3 = 131,05

diseño No 4 = 121,17

Varianza (δ): diseño No 3 = 7,54

diseño No 4 = 5,41

Hipótesis:

U1: F'c promedio del diseño No 3

U2: F'c promedio del diseño No 4

Hipótesis nula **Ho:**

$U_1 \geq U_2$; se rechaza la hipótesis nula, si $Z_0 < -Z$

El aumento en el porcentaje de vacíos **NO INCREMENTA** la resistencia a la compresión del diseño.

Hipótesis alternativa **Ha:** $U_1 < U_2$

El aumento en el porcentaje de vacíos **INCREMENTA** la resistencia a la compresión del diseño.

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$ $Z = 1,645$

Estadístico de prueba:

El estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con medias y varianzas conocidas se denota por:

$$Z_0 = \frac{U_1 - U_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2}{N_1} + \frac{\delta_2^2}{N_2}}}$$

Ecuación 17

Z_0 : estadístico de prueba

U_1, U_2 : resistencia promedio de los diseños

δ_1, δ_2 : desviación estándar de los diseños.

N_1, N_2 : cantidad de espécimen de los diseños.

Prueba Z: $Z_0 = 11,12$

Estadístico de prueba:

Del anexo de distribución normal se tiene que para un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z = 1,645$.

Rechazar H_0 si $Z_0 < -1,645$

Conclusión:

Se acepta H_0 .

Puesto que $Z_0 = 11,20$ es $> -1,645$, se **acepta H_0 $U_1 \geq U_2$ y se rechaza H_a : $U_1 < U_2$** ; con un nivel de significancia de 0,05 y se concluye que el aumento del porcentaje de vacíos **NO INCREMENTA** la resistencia a la compresión que el concreto permeable desarrolla a los 28 días.

4) Prueba de hipótesis: Resistencia a la compresión a los 28 días (diseño No 3 – diseño No 5)

Muestra patrón: Diseño No 3 ($C=430\text{kg}$, $V = 18\%$)

Muestra comparada: Diseño No 5 ($C = 430\text{kg}$, $V= 18\%$)

Parámetros de interés:

Relación agua/cemento: diseño No 3 = 0,35	diseño No 5 = 0,38
No de muestras: diseño No 3 = 15	diseño No 5 = 15
Mediana (U): diseño No 3 = 131,05	diseño No 5 = 141,38
Varianza (δ): diseño No 3 = 7,54	diseño No 5 = 5,98

Hipótesis:

U_1 : $F'c$ promedio del diseño No 3 **U_2** : $F'c$ promedio del diseño No 5

Hipótesis nula **H_0** :

$U_1 \geq U_2$; se rechaza la hipótesis nula, si $Z_0 < -Z$

El aumento en la relación agua/cemento **NO INCREMENTA** la resistencia a la compresión del diseño.

Hipótesis alternativa **H_a**: $U_1 < U_2$

El aumento en la relación agua/cemento **INCREMENTA** la resistencia a la compresión del diseño.

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$ $Z = 1,645$

Estadístico de prueba:

El estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con medias y varianzas conocidas se denota por:

$$Z_0 = \frac{U_1 - U_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2}{N_1} + \frac{\delta_2^2}{N_2}}}$$

Ecuación 17

Z_0 : estadístico de prueba

U_1, U_2 : resistencia promedio de los diseños

δ_1, δ_2 : desviación estándar de los diseños.

N_1, N_2 : cantidad de espécimen de los diseños.

Prueba Z: $Z_0 = -10,88$

Estadístico de prueba:

Del anexo de distribución normal se tiene que para un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z = 1,645$.

Rechazar H_0 si $Z_0 < -1,645$

Conclusión:

Se rechaza H_0 .

Puesto que $Z_0 = -10,88$ es $< -1,645$, se **rechaza H_0 $U_1 \geq U_2$ y se acepta H_a : $U_1 < U_2$** ; con un nivel de significancia de 0,05 y se concluye que el aumento de la relación agua/cemento **INCREMENTA** la resistencia a la compresión que el concreto permeable desarrolla a los 28 días.

5) Prueba de hipótesis: Resistencia a la compresión a los 28 días (diseño No 5 – diseño No 6)

Muestra patrón: Diseño No 5 (A/C=0,38; C=430kg)

Muestra comparada: Diseño No 6 (A/C=0,38; C=430kg)

Parámetros de interés:

Porcentaje de vacíos: diseño No 5= 18% diseño No 6=20%

No de muestras: diseño No 5=15 diseño No 6=15

Mediana (U): diseño No 5=141,38 diseño No 6=124,72

Varianza (δ): diseño No 5= 5,98 diseño No 6= 6,72

Hipótesis:

U_1 : F'c promedio del diseño No 5 U_2 : F'c promedio del diseño No 6

Hipótesis nula **H_0** :

$U_1 \geq U_2$; se rechaza la hipótesis nula, si $Z_0 < -Z$

El aumento en el porcentaje de vacíos **NO INCREMENTA** la resistencia a la compresión del diseño.

Hipótesis alternativa **H_a** : $U_1 < U_2$

El aumento en el porcentaje de vacíos **INCREMENTA** la resistencia a la compresión del diseño.

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$ $Z = 1,645$

Estadístico de prueba:

El estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con medias y varianzas conocidas se denota por:

$$Z_0 = \frac{U_1 - U_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2}{N_1} + \frac{\delta_2^2}{N_2}}}$$

Ecuación 17

Z_0 : estadístico de prueba

U_1, U_2 : resistencia promedio de los diseños

δ_1, δ_2 : desviación estándar de los diseños.

N_1, N_2 : cantidad de espécimen de los diseños.

Prueba Z: $Z_0 = 18,11$

Estadístico de prueba:

Del anexo de distribución normal se tiene que para un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z = 1,645$.

Rechazar H_0 si $Z_0 < -1,645$

Conclusión:

Se acepta H_0 .

Puesto que $Z_0 = 18,11$ es $> -1,645$, se **acepta H_0 $U_1 \geq U_2$ y se rechaza H_a : $U_1 < U_2$** ; con un nivel de significancia de 0,05 y se concluye que el aumento del porcentaje de vacíos **NO INCREMENTA** la resistencia a la compresión que el concreto permeable desarrolla a los 28 días.

6) Prueba de hipótesis: Resistencia a la compresión a los 28 días (diseño No 5 – diseño No 7)

Muestra patrón: Diseño No 5 (A/C=0,38; V=18%)

Muestra comparada: Diseño No 7 (A/C=0,38; V=18%)

Parámetros de interés:

Cantidad de cemento: diseño No 5= 430 kg	diseño No 7=510 kg
No de muestras: diseño No 5 =15	diseño No 7 =15
Mediana (U): diseño No 5 =141,38	diseño No 7 =194,63
Varianza (δ): diseño No 5 = 5,98	diseño No 7 = 5,52

Hipótesis:

U1: F'c promedio del diseño No 5 **U2:** F'c promedio del diseño No 7

Hipótesis nula **Ho:**

$U1 \geq U2$; se rechaza la hipótesis nula, si $Z_0 < -Z$

El aumento de la cantidad de cemento **NO INCREMENTA** la resistencia a la compresión del diseño.

Hipótesis alternativa **Ha:** $U1 < U2$

El aumento de la cantidad de cemento **INCREMENTA** la resistencia a la compresión del diseño.

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$ $Z = 1,645$

Estadístico de prueba:

El estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con medias y varianzas conocidas se denota por:

$$Z_0 = \frac{U_1 - U_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2}{N_1} + \frac{\delta_2^2}{N_2}}}$$

Ecuación 17

Z₀: estadístico de prueba

U₁, U₂: resistencia promedio de los diseños

δ₁, δ₂: desviación estándar de los diseños.

N₁, N₂: cantidad de espécimen de los diseños.

Prueba Z: Z₀= -60,90

Estadístico de prueba:

Del anexo de distribución normal se tiene que para un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de Z= 1,645.

Rechazar H₀ si Z₀ < -1,645

Conclusión:

Se rechaza H₀.

Puesto que Z₀ = -60,90 es < -1,645, se **rechaza H₀ U₁ ≥ U₂ y se acepta H_a: U₁ < U₂**; con un nivel de significancia de 0,05 y se concluye que el aumento de la cantidad de cemento **INCREMENTA** la resistencia a la compresión que el concreto permeable desarrolla a los 28 días.

7) Prueba de hipótesis: Resistencia a la compresión a los 28 días (diseño No 7 – diseño No 8

Muestra patrón: Diseño No 7 (A/C=0,38; C=510kg, V=18%)

Muestra comparada: Diseño No 8 (A/C=0,38; C=510kg, V=18%)

Parámetros de interés:

Incorporación de tiras: diseño No 7= 0,00%	diseño No 8=0,075%
No de muestras: diseño No 7=15	diseño No 8=15
Mediana (U): diseño No 7=194,63	diseño No 8=186,27
Varianza (δ): diseño No 7= 5,52	diseño No 8= 8,84

Hipótesis:

U1: F'c promedio del diseño No 7 **U2:** F'c promedio del diseño No 8

Hipótesis nula **Ho:**

$U1 \geq U2$; se rechaza la hipótesis nula, si $Z_0 < -Z$

La incorporación de las tiras de polipropileno en un 0,075% del peso de los materiales del diseño **NO INCREMENTA** la resistencia a la compresión a los 28 días.

Hipótesis alternativa **Ha:** $U1 < U2$

La incorporación de tiras de polipropileno (2mm x 10mm) en un 0,075% del peso de los materiales del diseño **INCREMENTA** la resistencia a la compresión a los 28 días.

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$ $Z = 1,645$

Estadístico de prueba:

El estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con medias y varianzas conocidas se denota por:

$$Z_0 = \frac{U_1 - U_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2}{N_1} + \frac{\delta_2^2}{N_2}}}$$

Ecuación 17

Z_0 : estadístico de prueba

U_1, U_2 : resistencia promedio de los diseños

δ_1, δ_2 : desviación estándar de los diseños.

N_1, N_2 : cantidad de espécimen de los diseños.

Prueba Z: $Z_0 = 8,54$

Estadístico de prueba:

Del anexo de distribución normal se tiene que para un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z = 1,645$.

Rechazar H_0 si $Z_0 < -1,645$

Conclusión:

Se acepta H_0 .

Puesto que $Z_0 = 8,54$ es $> -1,645$, se **acepta H_0 $U_1 \geq U_2$ y se rechaza H_a : $U_1 < U_2$** ; con un nivel de significancia de 0,05 y se concluye que la incorporación de tiras de polipropileno (2mm x 10mm) en un 0,075% del peso de los materiales del diseño **NO INCREMENTA** la resistencia a la compresión que el concreto permeable desarrolla a los 28 días.

8) Prueba de hipótesis: Resistencia a la compresión a los 28 días (diseño No7 – diseño no 9)

Muestra patrón: Diseño No 7 (A/C=0,38; C=510kg, V=18%)

Muestra comparada: Diseño No 9 (A/C=0,38; C=510kg, V=18%)

Parámetros de interés:

Incorporación de tiras: diseño No 7 = 0,00% diseño No 9 = 0,1%

No de muestras: diseño No 7=15
Mediana (U): diseño No 7 =194,63
Varianza (δ): diseño No 7 = 5,52

diseño No 9 = 15
diseño No 9 = 182,27
diseño No 9 = 8,27

Hipótesis:

U1: F'c promedio del diseño No 7 **U2:** F'c promedio del diseño No 9

Hipótesis nula **Ho:**

$U_1 \geq U_2$; se rechaza la hipótesis nula, si $Z_o < -Z$

La incorporación de tiras de polipropileno (2mm x 10mm) en 0,1% del peso de los materiales del diseño **NO INCREMENTA** la resistencia a la compresión a los 28 días.

Hipótesis alternativa **Ha:** $U_1 < U_2$

La incorporación de tiras de polipropileno (2mm x 10mm) en 0,1% del peso de los materiales del diseño **INCREMENTA** la resistencia a la compresión a los 28 días.

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$ $Z = 1,645$

Estadístico de prueba:

El estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con medias y varianzas conocidas se denota por:

$$Z_o = \frac{U_1 - U_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2}{N_1} + \frac{\delta_2^2}{N_2}}}$$

Ecuación 17

Z_o : estadístico de prueba

U_1, U_2 : resistencia promedio de los diseños

δ_1, δ_2 : desviación estándar de los diseños.

N_1, N_2 : cantidad de espécimen de los diseños.

Prueba Z: $Z_o = 12,89$

Estadístico de prueba:

Del anexo de distribución normal se tiene que para un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z = 1,645$.

Rechazar H_o si $Z_o < -1,645$

Conclusión:

Se acepta H_o .

Puesto que $Z_o = 12,89$ es $> -1,645$, se **acepta H_o $U_1 \geq U_2$ y se rechaza $H_a: U_1 < U_2$** ; con un nivel de significancia de 0,05 y se concluye que la incorporación de tiras de polipropileno (2mm x 10mm) en 0,1% del peso de los materiales del diseño **NO INCREMENTA** la resistencia a la compresión que el concreto permeable desarrolla a los 28 días.

9) Prueba de hipótesis: Resistencia a la compresión a los 28 días (diseño No 7 – Diseño No 10)

Muestra patrón: Diseño No 7 (A/C=0,38; C=510kg, V=18%)

Muestra comparada: Diseño No 10 (A/C=0,38; C=510kg, V=18%)

Parámetros de interés:

Incorporación de tiras: diseño No 7 = 0,00% diseño No 10 = 0,2%

No de muestras: diseño No 7=15 diseño No 10 =15

Mediana (U): diseño No 7=194,63 diseño No 10 =175,02

Varianza (δ): diseño No 7= 5,52 diseño No 10 = 8,50

Hipótesis:

U1: F'c promedio del diseño No 1 **U2:** F'c promedio del diseño No 2

Hipótesis nula **Ho:**

$U_1 \geq U_2$; se rechaza la hipótesis nula, si $Z_0 < -Z$

El aumento en el porcentaje de vacíos **NO INCREMENTA** la resistencia a la compresión del diseño.

Hipótesis alternativa **Ha:** $U_1 < U_2$

El aumento en el porcentaje de vacíos **INCREMENTA** la resistencia a la compresión del diseño.

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$ $Z = 1,645$

Estadístico de prueba:

El estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con medias y varianzas conocidas se denota por:

$$Z_0 = \frac{U_1 - U_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2}{N_1} + \frac{\delta_2^2}{N_2}}}$$

Ecuación 17

Z_0 : estadístico de prueba

U_1, U_2 : resistencia promedio de los diseños

δ_1, δ_2 : desviación estándar de los diseños.

N_1, N_2 : cantidad de espécimen de los diseños.

Prueba Z: $Z_0 = 20,28$

Estadístico de prueba:

Del anexo de distribución normal se tiene que para un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z = 1,645$.

Rechazar H_0 si $Z_0 < -1,645$

Conclusión:

Se acepta H_0 .

Puesto que $Z_0 = 20,28$ es $> -1,645$, se **acepta H_0 $U_1 \geq U_2$ y se rechaza H_a : $U_1 < U_2$** ; con un nivel de significancia de 0,05 y se concluye que la incorporación de tiras de polipropileno (2mm x 10mm) en 0,20% del peso de los materiales del diseño **NO INCREMENTA** la resistencia a la compresión que el concreto permeable desarrolla a los 28 días.

10) Prueba de hipótesis: Resistencia a la compresión a los 28 días (diseño No 7 – diseño No 11).

Muestra patrón: Diseño No 7 (A/C=0,38; C=510kg, V=18%)

Muestra comparada: Diseño No 11 (A/C=0,38; C=510kg, V=18%)

Parámetros de interés:

Incorporación de tiras: diseño No 7 = 0,00%	diseño No 11= 0,075%
No de muestras: diseño No 7=15	diseño No 11=15
Mediana (U): diseño No 7=194,63	diseño No 11=205,88
Varianza (δ): diseño No 7= 5,52	diseño No 11= 7,92

Hipótesis:

U1: F'c promedio del diseño No 1 **U2:** F'c promedio del diseño No 2

Hipótesis nula **Ho:**

$U_1 \geq U_2$; se rechaza la hipótesis nula, si $Z_o < -Z$

El aumento en el porcentaje de vacíos **NO INCREMENTA** la resistencia a la compresión del diseño.

Hipótesis alternativa **Ha:** $U_1 < U_2$

El aumento en el porcentaje de vacíos **INCREMENTA** la resistencia a la compresión del diseño.

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$ $Z = 1,645$

Estadístico de prueba:

El estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con medias y varianzas conocidas se denota por:

$$Z_o = \frac{U_1 - U_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2}{N_1} + \frac{\delta_2^2}{N_2}}}$$

Ecuación 17

Z_o : estadístico de prueba

U_1, U_2 : resistencia promedio de los diseños

δ_1, δ_2 : desviación estándar de los diseños.

N_1, N_2 : cantidad de espécimen de los diseños.

Prueba Z: $Z_o = -11,88$

Estadístico de prueba:

Del anexo de distribución normal se tiene que para un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z = 1,645$.

Rechazar H_0 si $Z_0 < -1,645$

Conclusión:

Se rechaza H_0 .

Puesto que $Z_0 = -11,88$ es $< -1,645$, se **rechaza H_0 $U_1 \geq U_2$ y se acepta H_a : $U_1 < U_2$** ; con un nivel de significancia de 0,05 y se concluye que la incorporación de tiras de polipropileno (4mm x 20mm) en 0,075% del peso de los materiales del diseño **INCREMENTA** la resistencia a la compresión que el concreto permeable desarrolla a los 28 días.

11) Prueba de hipótesis: Resistencia a la compresión a los 28 días (diseño No 7 – diseño No 12)

Muestra patrón: Diseño No 1 (A/C=0,38; C=510kg, V = 18%)

Muestra comparada: Diseño No 2 (A/C=0,38; C=510kg, V = 18%)

Parámetros de interés:

Incorporación de tiras: diseño No 7 = 0,00%	diseño No 12=0,10%
No de muestras: diseño No 7 = 15	diseño No 12=15
Mediana (U): diseño No 7 = 194,63	diseño No 12=206,65
Varianza (δ): diseño No 7 = 5,52	diseño No 12= 10,29

Hipótesis:

U1: F'c promedio del diseño No 7 **U2:** F'c promedio del diseño No 12

Hipótesis nula **Ho:**

$U_1 \geq U_2$; se rechaza la hipótesis nula, si $Z_o < -Z$

El aumento en el porcentaje de vacíos **NO INCREMENTA** la resistencia a la compresión del diseño.

Hipótesis alternativa **Ha:** $U_1 < U_2$

El aumento en el porcentaje de vacíos **INCREMENTA** la resistencia a la compresión del diseño.

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$ $Z = 1,645$

Estadístico de prueba:

El estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con medias y varianzas conocidas se denota por:

$$Z_o = \frac{U_1 - U_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2}{N_1} + \frac{\delta_2^2}{N_2}}}$$

Ecuación 17

Z_o : estadístico de prueba

U_1, U_2 : resistencia promedio de los diseños

δ_1, δ_2 : desviación estándar de los diseños.

N_1, N_2 : cantidad de espécimen de los diseños.

Prueba Z: $Z_o = -11,71$

Estadístico de prueba:

Del anexo de distribución normal se tiene que para un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z = 1,645$.

Rechazar H_0 si $Z_0 < -1,645$

Conclusión:

Se rechaza H_0 .

Puesto que $Z_0 = -11,71$ es $< -1,645$, se **rechaza H_0 $U_1 \geq U_2$ y se acepta H_a : $U_1 < U_2$** ; con un nivel de significancia de 0,05 y se concluye que la incorporación de tiras de polipropileno (4mm x 20mm) en 0,10% del peso de los materiales del diseño **INCREMENTA** la resistencia a la compresión que el concreto permeable desarrolla a los 28 días.

12) Prueba de hipótesis: Resistencia a la compresión a los 28 días (diseño no 7 – diseño No 13)

Muestra patrón: Diseño No 7 (A/C=0,38; C=510kg, V = 18%)

Muestra comparada: Diseño No 2 (A/C=0,38; C=510kg, V= 18%)

Parámetros de interés:

Incorporación de tiras: diseño No 7 = 0,00%	diseño No 13 =0,20%
No de muestras: diseño No 7=15	diseño No 13=15
Mediana (U): diseño No 7=194,63	diseño No 13=193,40
Varianza (δ): diseño No 7= 5,52	diseño No 13= 10,74

Hipótesis:

U1: F'c promedio del diseño No 7 **U2:** F'c promedio del diseño No 13

Hipótesis nula **Ho:**

$U1 \geq U2$; se rechaza la hipótesis nula, si $Z_0 < -Z$

El aumento en el porcentaje de vacíos **NO INCREMENTA** la resistencia a la compresión del diseño.

Hipótesis alternativa **Ha:** $U1 < U2$

El aumento en el porcentaje de vacíos **INCREMENTA** la resistencia a la compresión del diseño.

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$ $Z = 1,645$

Estadístico de prueba:

El estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con medias y varianzas conocidas se denota por:

$$Z_0 = \frac{U_1 - U_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2}{N_1} + \frac{\delta_2^2}{N_2}}}$$

Ecuación 17

Z_0 : estadístico de prueba

U_1, U_2 : resistencia promedio de los diseños

δ_1, δ_2 : desviación estándar de los diseños.

N_1, N_2 : cantidad de espécimen de los diseños.

Prueba Z: $Z_0 = 1,18$

Estadístico de prueba:

Del anexo de distribución normal se tiene que para un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z = 1,645$.

Rechazar H_0 si $Z_0 < -1,645$

Conclusión:

Se acepta H_0 .

Puesto que $Z_0 = 1,18$ es $> -1,645$, se **acepta H_0 $U_1 \geq U_2$ y se rechaza H_a : $U_1 < U_2$** ; con un nivel de significancia de 0,05 se concluye que la incorporación de tiras de polipropileno (4mm x 20mm) en 0,20% del peso de los materiales del diseño **NO INCREMENTA** la resistencia a la compresión que el concreto permeable desarrolla a los 28 días.

13) Prueba de hipótesis: Resistencia a la compresión a los 28 días (diseño No7 – diseño No 14)

Muestra patrón: Diseño No 1 (A/C=0,38; C=510kg, V=18%)

Muestra comparada: Diseño No 2 (A/C=0,38; C=510kg, V=18%)

Parámetros de interés:

Incorporación de tiras: diseño No 7 = 0,00%	diseño No 14 = 0,10%
Aditivo Glenium 7500: diseño No 7 = 0,00ml	diseño No 14 = 4,25ml/kg de cem
No de muestras: diseño No 1 = 15	diseño No 2 = 15
Mediana (U): diseño No 1 = 194,64	diseño No 2 = 217,14
Varianza (δ): diseño No 1 = 5,52	diseño No 2 = 7,91

Hipótesis:

U1: F'c promedio del diseño 7 **U2:** F'c promedio del diseño 14

Hipótesis nula **Ho:**

$U_1 \geq U_2$; se rechaza la hipótesis nula, si $Z_0 < -Z$

El aumento del porcentaje de vacíos en el diseño **NO INCREMENTA** la resistencia a la compresión a los 28 días.

Hipótesis alternativa **Ha:** $U_1 < U_2$

El aumento del porcentaje de vacíos en el diseño **INCREMENTA** la resistencia a la compresión a los 28 días.

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$ $Z = 1,645$

Estadístico de prueba:

El estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con medias y varianzas conocidas se denota por:

$$Z_0 = \frac{U_1 - U_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2}{N_1} + \frac{\delta_2^2}{N_2}}}$$

Ecuación 17

Z_0 : estadístico de prueba

U_1, U_2 : resistencia promedio de los diseños

δ_1, δ_2 : desviación estándar de los diseños.

N_1, N_2 : cantidad de espécimen de los diseños.

Prueba Z: $Z_0 = -23,78$

Estadístico de prueba:

Del anexo de distribución normal se tiene que para un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z = 1,645$.

Rechazar H_0 si $Z_0 < -1,645$

Conclusión:

Se rechaza H_0 .

Puesto que $Z_0 = -23,78$ es $> -1,645$, se **rechaza H_0 $U1 \geq U2$ y se rechaza H_a : $U1 < U2$** ; con un nivel de significancia de 0,05 y se concluye que la incorporación de tiras de polipropileno en 0,10% del peso de los materiales del diseño y 4,25 ml de Glenium 7500 por kg de cemento INCREMENTA la resistencia a la compresión que el concreto permeable desarrolla a los 28 días.

7.2.2 RESISTENCIA A LA FLEXION

1) Prueba de hipótesis: Resistencia a la flexión a los 28 días (diseño No1 – diseño No 2)

Muestra patrón: Diseño No 1 (A/C=0,32; C=430kg)

Muestra comparada: Diseño No 2 (A/C=0,32; C=430kg)

Parámetros de interés:

Porcentaje de vacíos: diseño No 1 = 18% diseño No 2 = 20%

No de muestras: diseño No 1 = 15 diseño No 2 = 15

Mediana (U): diseño No 1 = 22,80 diseño No 2 = 20,38

Varianza (δ): diseño No 1 = 8,46 diseño No 2 = 7,12

Hipótesis:

U1: F'c promedio del diseño No 1 **U2:** F'c promedio del diseño No 2

Hipótesis nula **Ho:**

$U_1 \geq U_2$; se rechaza la hipótesis nula, si $Z_0 < -Z$

El aumento del porcentaje de vacíos en el diseño **NO INCREMENTA** la resistencia a la flexión a los 28 días.

Hipótesis alternativa **Ha:** $U_1 < U_2$

El aumento del porcentaje de vacíos en el diseño **INCREMENTA** la resistencia a la flexión a los 28 días.

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$ $Z = 1,645$

Estadístico de prueba:

El estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con medias y varianzas conocidas se denota por:

$$Z_0 = \frac{U_1 - U_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2}{N_1} + \frac{\delta_2^2}{N_2}}}$$

Ecuación 17

Z_0 : estadístico de prueba

U_1, U_2 : resistencia promedio de los diseños

δ_1, δ_2 : desviación estándar de los diseños.

N_1, N_2 : cantidad de espécimen de los diseños.

Prueba Z: $Z_0 = 2,37$

Estadístico de prueba:

Del anexo de distribución normal se tiene que para un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z = 1,645$.

Rechazar H_0 si $Z_0 < -1,645$

Conclusión:

Se acepta H_0 .

Puesto que $Z_0 = 2,37$ es $> -1,645$, se **acepta H_0 $U_1 \geq U_2$ y se rechaza H_a : $U_1 < U_2$** ; con un nivel de significancia de 0,05 y se concluye que el aumento del porcentaje de vacíos **NO INCREMENTA** la resistencia a la flexión que el concreto permeable desarrolla a los 28 días.

2) Prueba de hipótesis: Resistencia a la compresión a los 28 días (diseño No1 – diseño No 3)

Muestra patrón: Diseño No 1 ($V=18\%$; $C=430\text{kg}$)

Muestra comparada: Diseño No 3 ($V=18\%$; $C=430\text{kg}$)

Parámetros de interés:

Relación agua/cemento: diseño No 1 = 0,32	diseño No 3 = 0,35
No de muestras: diseño No 1 = 15	diseño No 3 = 15
Mediana (U): diseño No 1 = 22,80	diseño No 3 = 29,40
Varianza (δ): diseño No 1 = 8,46	diseño No 3 = 2,26

Hipótesis:

U_1 : F'_c promedio del diseño 1 U_2 : F'_c promedio del diseño 3

Hipótesis nula **Ho**:

$U_1 \geq U_2$; se rechaza la hipótesis nula, si $Z_0 < -Z$

El aumento de la relación agua/cemento en el diseño **NO INCREMENTA** la resistencia a la flexión a los 28 días.

Hipótesis alternativa **Ha**: $U_1 < U_2$

El aumento de la relación agua/cemento en el diseño **INCREMENTA** la resistencia a la flexión a los 28 días.

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$ $Z = 1,645$

Estadístico de prueba:

El estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con medias y varianzas conocidas se denota por:

$$Z_0 = \frac{U_1 - U_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2}{N_1} + \frac{\delta_2^2}{N_2}}}$$

Ecuación 17

Z_0 : estadístico de prueba

U_1, U_2 : resistencia promedio de los diseños

δ_1, δ_2 : desviación estándar de los diseños.

N_1, N_2 : cantidad de espécimen de los diseños.

Prueba Z: $Z_0 = -7,91$

Estadístico de prueba:

Del anexo de distribución normal se tiene que para un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z = 1,645$.

Rechazar H_0 si $Z_0 < -1,645$

Conclusión:

Se rechaza H_0 .

Puesto que $Z_0 = -7,91$ es $< -1,645$, se **rechaza H_0 $U_1 \geq U_2$ y se acepta H_a : $U_1 < U_2$** ; con un nivel de significancia de 0,05 y se concluye que el aumento de la relación agua/cemento INCREMENTA la resistencia a la flexión que el concreto permeable desarrolla a los 28 días.

3) Prueba de hipótesis: Resistencia a la flexión a los 28 días (diseño No3 – diseño No 4

Muestra patrón: Diseño No 3 (A/C=0,35; C=430kg)

Muestra comparada: Diseño No 4 (A/C=0,35; C=430kg)

Parámetros de interés:

Porcentaje de vacíos: diseño No 3 = 18%	diseño No 4 = 20%
No de muestras: diseño No 3 = 15	diseño No 4 = 15
Mediana (U): diseño No 3 = 29,40	diseño No 4 = 25,00
Varianza (δ): diseño No 3 = 2,26	diseño No 4 = 2,97

Hipótesis:

U1: F'c promedio del diseño 3 **U2:** F'c promedio del diseño 4

Hipótesis nula **H₀:**

$U_1 \geq U_2$; se rechaza la hipótesis nula, si $Z_0 < -Z$

El aumento del porcentaje de vacíos en el diseño **NO INCREMENTA** la resistencia a la flexión a los 28 días.

Hipótesis alternativa **H_a:** $U_1 < U_2$

El aumento del porcentaje de vacíos en el diseño **INCREMENTA** la resistencia a la flexión a los 28 días.

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$ $Z = 1,645$

Estadístico de prueba:

El estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con medias y varianzas conocidas se denota por:

$$Z_0 = \frac{U_1 - U_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2}{N_1} + \frac{\delta_2^2}{N_2}}}$$

Ecuación 17

Z_0 : estadístico de prueba

U_1, U_2 : resistencia promedio de los diseños

δ_1, δ_2 : desviación estándar de los diseños.

N_1, N_2 : cantidad de espécimen de los diseños.

Prueba Z: $Z_0 = 7,45$

Estadístico de prueba:

Del anexo de distribución normal se tiene que para un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z = 1,645$.

Rechazar H_0 si $Z_0 < -1,645$

Conclusión:

Se acepta H_0 .

Puesto que $Z_0 = 7,45$ es $> -1,645$, se **acepta H_0 $U_1 \geq U_2$ y se rechaza H_a : $U_1 < U_2$** ; con un nivel de significancia de 0,05 y se concluye que el aumento del porcentaje de vacíos **NO INCREMENTA** la resistencia a la flexión que el concreto permeable desarrolla a los 28 días.

4) Prueba de hipótesis: Resistencia a la compresión a los 28 días (diseño No3 – diseño No 5)

Muestra patrón: Diseño No 3 (V=18%; C=430kg)

Muestra comparada: Diseño No 5 (V=18%; C=430kg)

Parámetros de interés:

Relación agua/cemento: diseño No 3 = 18%	diseño No 5 = 20%
No de muestras: diseño No 3 = 15	diseño No 5 = 15
Mediana (U): diseño No 3 = 29,40	diseño No 5 = 34,23
Varianza (δ): diseño No 3 = 2,26	diseño No 5 = 2,35

Hipótesis:

U1: F'c promedio del diseño 3 **U2:** F'c promedio del diseño 5

Hipótesis nula **Ho:**

$U1 \geq U2$; se rechaza la hipótesis nula, si $Z_0 < -Z$

El aumento del porcentaje de vacíos en el diseño **NO INCREMENTA** la resistencia a la flexión a los 28 días.

Hipótesis alternativa **Ha:** $U1 < U2$

El aumento del porcentaje de vacíos en el diseño **INCREMENTA** la resistencia a la flexión a los 28 días.

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$ $Z = 1,645$

Estadístico de prueba:

El estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con medias y varianzas conocidas se denota por:

$$Z_0 = \frac{U_1 - U_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2}{N_1} + \frac{\delta_2^2}{N_2}}}$$

Ecuación 17

Z₀: estadístico de prueba

U₁, U₂: resistencia promedio de los diseños

δ₁, δ₂: desviación estándar de los diseños.

N₁, N₂: cantidad de espécimen de los diseños.

Prueba Z: Z₀= -8,71

Estadístico de prueba:

Del anexo de distribución normal se tiene que para un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de Z= 1,645.

Rechazar H₀ si Z₀ < -1,645

Conclusión:

Se rechaza H₀.

Puesto que Z₀ = -8,71 es < -1,645, se **rechaza H₀ U₁ ≥ U₂ y se acepta H_a: U₁ < U₂**; con un nivel de significancia de 0,05 y se concluye que el aumento de la relación agua/cemento **INCREMENTA** la resistencia a la flexión que el concreto permeable desarrolla a los 28 días.

5) Prueba de hipótesis: Resistencia a la compresión a los 28 días (diseño No5 – diseño No 6)

Muestra patrón: Diseño No 5 (A/C=0,38; C=430kg)

Muestra comparada: Diseño No 6 (A/C=0,38; C=430kg)

Parámetros de interés:

Porcentaje de vacíos: diseño No 5 = 18%	diseño No 6 = 20%
No de muestras: diseño No 5 = 15	diseño No 6 = 15
Mediana (U): diseño No 5 = 34,23	diseño No 6 = 30,42
Varianza (δ): diseño No 5 = 2,35	diseño No 6 = 2,50

Hipótesis:

U1: F'c promedio del diseño 5 **U2:** F'c promedio del diseño 6

Hipótesis nula **Ho:**

$U_1 \geq U_2$; se rechaza la hipótesis nula, si $Z_0 < -Z$

El aumento del porcentaje de vacíos en el diseño **NO INCREMENTA** la resistencia a la flexión a los 28 días.

Hipótesis alternativa **Ha:** $U_1 < U_2$

El aumento del porcentaje de vacíos en el diseño **INCREMENTA** la resistencia a la flexión a los 28 días.

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$ $Z = 1,645$

Estadístico de prueba:

El estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con medias y varianzas conocidas se denota por:

$$Z_0 = \frac{U_1 - U_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2}{N_1} + \frac{\delta_2^2}{N_2}}}$$

Ecuación 17

Z_0 : estadístico de prueba

U_1, U_2 : resistencia promedio de los diseños

δ_1, δ_2 : desviación estándar de los diseños.

N_1, N_2 : cantidad de espécimen de los diseños.

Prueba Z: $Z_0 = 6,76$

Estadístico de prueba:

Del anexo de distribución normal se tiene que para un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z = 1,645$.

Rechazar H_0 si $Z_0 < -1,645$

Conclusión:

Se acepta H_0 .

Puesto que $Z_0 = 6,76$ es $> -1,645$, se **acepta H_0 $U_1 \geq U_2$ y se rechaza H_a : $U_1 < U_2$** ; con un nivel de significancia de 0,05 y se concluye que el aumento del porcentaje de vacíos **NO INCREMENTA** la resistencia a la flexión que el concreto permeable desarrolla a los 28 días.

6) Prueba de hipótesis: Resistencia a la compresión a los 28 días (diseño No5 – diseño No 7)

Muestra patrón: Diseño No 1 ($V=18\%$; $A/C=0,38$)

Muestra comparada: Diseño No 2 ($V=18\%$; $A/C=0,38$)

Parámetros de interés:

Cantidad de cemento: diseño No 5 = 430 kg diseño No 7 = 510 kg

No de muestras: diseño No 5 = 15 diseño No 7 = 15

Mediana (U): diseño No 5 = 34,23 diseño No 7 = 42,12

Varianza (δ): diseño No 5 = 2,35

diseño No 7 = 2,41

Hipótesis:

U1: F'c promedio del diseño 5 **U2:** F'c promedio del diseño 7

Hipótesis nula **Ho:**

$U_1 \geq U_2$; se rechaza la hipótesis nula, si $Z_0 < -Z$

El aumento del porcentaje de vacíos en el diseño **NO INCREMENTA** la resistencia a la flexión a los 28 días.

Hipótesis alternativa **Ha:** $U_1 < U_2$

El aumento del porcentaje de vacíos en el diseño **INCREMENTA** la resistencia a la flexión a los 28 días.

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$ $Z = 1,645$

Estadístico de prueba:

El estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con medias y varianzas conocidas se denota por:

$$Z_0 = \frac{U_1 - U_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2}{N_1} + \frac{\delta_2^2}{N_2}}}$$

Ecuación 17

Z_0 : estadístico de prueba

U_1, U_2 : resistencia promedio de los diseños

δ_1, δ_2 : desviación estándar de los diseños.

N_1, N_2 : cantidad de espécimen de los diseños.

Prueba Z: $Z_0 = -14,01$

Estadístico de prueba:

Del anexo de distribución normal se tiene que para un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z = 1,645$.

Rechazar H_0 si $Z_0 < -1,645$

Conclusión:

Se rechaza H_0 .

Puesto que $Z_0 = -14,01$ es $< -1,645$, se **rechaza H_0 $U_1 \geq U_2$ y se acepta H_a : $U_1 < U_2$** ; con un nivel de significancia de 0,05 y se concluye que el aumento en la cantidad de cemento **INCREMENTA** la resistencia a la flexión que el concreto permeable desarrolla a los 28 días.

7) Prueba de hipótesis: Resistencia a la compresión a los 28 días (diseño no 7 – diseño No 8)

Muestra patrón: Diseño No 7 (A/C=0,38; C=510kg, V = 18%)

Muestra comparada: Diseño No 8 (A/C=0,38; C=510kg, V= 18%)

Parámetros de interés:

Incorporación de tiras: diseño No 7 = 0,00%	diseño No 8 = 0,075%
No de muestras: diseño No 7 = 15	diseño No 8 = 15
Mediana (U): diseño No 7 = 42,12	diseño No 8 = 42,43
Varianza (δ): diseño No 7 = 2,41	diseño No 8 = 2,84

Hipótesis:

U1: F'c promedio del diseño No 7 **U2:** F'c promedio del diseño No 8

Hipótesis nula **Ho:**

$U1 \geq U2$; se rechaza la hipótesis nula, si $Z_0 < -Z$

El aumento en el porcentaje de vacíos **NO INCREMENTA** la resistencia a la flexión del diseño.

Hipótesis alternativa **Ha:** $U1 < U2$

El aumento en el porcentaje de vacíos **INCREMENTA** la resistencia a la flexión del diseño.

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$ $Z = 1,645$

Estadístico de prueba:

El estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con medias y varianzas conocidas se denota por:

$$Z_0 = \frac{U_1 - U_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2}{N_1} + \frac{\delta_2^2}{N_2}}}$$

Ecuación 17

Z_0 : estadístico de prueba

U_1, U_2 : resistencia promedio de los diseños

δ_1, δ_2 : desviación estándar de los diseños.

N_1, N_2 : cantidad de espécimen de los diseños.

Prueba Z: $Z_0 = -1,22$

Estadístico de prueba:

Del anexo de distribución normal se tiene que para un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z = 1,645$.

Rechazar H_0 si $Z_0 < -1,645$

Conclusión:

Se rechaza H_0 .

Puesto que $Z_0 = -1,22$ es $< -1,645$, se **rechaza H_0 $U_1 \geq U_2$ y se acepta H_a : $U_1 < U_2$** ; con un nivel de significancia de 0,05 se concluye que la incorporación de tiras de polipropileno (2mm x 10mm) en 0,075% del peso de los materiales del diseño **INCREMENTA** la resistencia a la flexión que el concreto permeable desarrolla a los 28 días.

8) Prueba de hipótesis: Resistencia a la compresión a los 28 días (diseño no 7 – diseño No 9)

Muestra patrón: Diseño No 7 (A/C=0,38; C=510kg, V = 18%)

Muestra comparada: Diseño No 2 (A/C=0,38; C=510kg, V= 18%)

Parámetros de interés:

Incorporación de tiras: diseño No 7 = 0,00%	diseño No 9 = 0,10%
No de muestras: diseño No 7 = 15	diseño No 9 = 15
Mediana (U): diseño No 7 = 42,12	diseño No 9 = 41,18
Varianza (δ): diseño No 7 = 2,41	diseño No 9 = 2,41

Hipótesis:

U_1 : F'c promedio del diseño No 7 **U_2** : F'c promedio del diseño No 9

Hipótesis nula **Ho**:

$U_1 \geq U_2$; se rechaza la hipótesis nula, si $Z_0 < -Z$

El aumento en el porcentaje de vacíos **NO INCREMENTA** la resistencia a la flexión del diseño.

Hipótesis alternativa **Ha**: $U_1 < U_2$

El aumento en el porcentaje de vacíos **INCREMENTA** la resistencia a la flexión del diseño.

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$ $Z = 1,645$

Estadístico de prueba:

El estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con medias y varianzas conocidas se denota por:

$$Z_0 = \frac{U_1 - U_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2}{N_1} + \frac{\delta_2^2}{N_2}}}$$

Ecuación 17

Z_0 : estadístico de prueba

U_1, U_2 : resistencia promedio de los diseños

δ_1, δ_2 : desviación estándar de los diseños.

N_1, N_2 : cantidad de espécimen de los diseños.

Prueba Z: $Z_0 = 1,66$

Estadístico de prueba:

Del anexo de distribución normal se tiene que para un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z = 1,645$.

Rechazar H_0 si $Z_0 < -1,645$

Conclusión:

Se acepta H_0 .

Puesto que $Z_0 = 1,66$ es $> -1,645$, se **acepta H_0 $U_1 \geq U_2$ y se rechaza H_a : $U_1 < U_2$** ; con un nivel de significancia de 0,05 se concluye que la incorporación de tiras de polipropileno (2mm x 10mm) en 0,10% del peso de los materiales del diseño **NO INCREMENTA** la resistencia a la flexión que el concreto permeable desarrolla a los 28 días.

9) Prueba de hipótesis: Resistencia a la compresión a los 28 días (diseño no 7 – diseño No 10)

Muestra patrón: Diseño No 7 (A/C=0,38; C=510kg, V = 18%)

Muestra comparada: Diseño No 2 (A/C=0,38; C=510kg, V= 18%)

Parámetros de interés:

Incorporación de tiras: diseño No 7 = 0,00%	diseño No 10 =0,20%
No de muestras: diseño No 7=15	diseño No 10 =15
Mediana (U): diseño No 7= 42,12	diseño No 10 =37,47
Varianza (δ): diseño No 7= 2,41	diseño No 10 = 2,50

Hipótesis:

U1: F'c promedio del diseño No 7 **U2:** F'c promedio del diseño No 10

Hipótesis nula **H_0 :**

$U_1 \geq U_2$; se rechaza la hipótesis nula, si $Z_0 < -Z$

El aumento en el porcentaje de vacíos **NO INCREMENTA** la resistencia a la flexión del diseño.

Hipótesis alternativa **H_a**: U₁ < U₂

El aumento en el porcentaje de vacíos **INCREMENTA** la resistencia a la flexión del diseño.

Nivel de significancia: α = 0,05 Z = 1,645

Estadístico de prueba:

El estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con medias y varianzas conocidas se denota por:

$$Z_0 = \frac{U_1 - U_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2}{N_1} + \frac{\delta_2^2}{N_2}}}$$

Ecuación 17

Z₀: estadístico de prueba

U₁, U₂: resistencia promedio de los diseños

δ₁, δ₂: desviación estándar de los diseños.

N₁, N₂: cantidad de espécimen de los diseños.

Prueba Z: Z₀ = 8,13

Estadístico de prueba:

Del anexo de distribución normal se tiene que para un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de Z = 1,645.

Rechazar H₀ si Z₀ < -1,645

Conclusión:

Se acepta Ho.

Puesto que $Z_o = 8,13$ es $> -1,645$, se **acepta Ho** $U1 \geq U2$ y se **rechaza Ha**: $U1 < U2$; con un nivel de significancia de 0,05 se concluye que la incorporación de tiras de polipropileno (2mm x 10mm) en 0,20% del peso de los materiales del diseño **NO INCREMENTA** la resistencia a la flexión que el concreto permeable desarrolla a los 28 días.

10) Prueba de hipótesis: Resistencia a la compresión a los 28 días (diseño no 7 – diseño No 11)

Muestra patrón: Diseño No 7 (A/C=0,38; C=510kg, V = 18%)

Muestra comparada: Diseño No 2 (A/C=0,38; C=510kg, V= 18%)

Parámetros de interés:

Incorporación de tiras: diseño No 7 = 0,00%	diseño No 11 =0,075%
No de muestras: diseño No 7 =15	diseño No 11 =15
Mediana (U): diseño No 7 =42,12	diseño No 11 =52,88
Varianza (δ): diseño No 7 = 2,41	diseño No 11 = 1,92

Hipótesis:

U1: F'c promedio del diseño No 7 **U2**: F'c promedio del diseño No 11

Hipótesis nula **Ho**:

$U1 \geq U2$; se rechaza la hipótesis nula, si $Z_o < -Z$

El aumento en el porcentaje de vacíos **NO INCREMENTA** la resistencia a la flexión del diseño.

Hipótesis alternativa **Ha**: $U1 < U2$

El aumento en el porcentaje de vacíos **INCREMENTA** la resistencia a la flexión del diseño.

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$ $Z = 1,645$

Estadístico de prueba:

El estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con medias y varianzas conocidas se denota por:

$$Z_0 = \frac{U_1 - U_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2}{N_1} + \frac{\delta_2^2}{N_2}}}$$

Ecuación 17

Z_0 : estadístico de prueba

U_1, U_2 : resistencia promedio de los diseños

δ_1, δ_2 : desviación estándar de los diseños.

N_1, N_2 : cantidad de espécimen de los diseños.

Prueba Z: $Z_0 = -20,03$

Estadístico de prueba:

Del anexo de distribución normal se tiene que para un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z = 1,645$.

Rechazar H_0 si $Z_0 < -1,645$

Conclusión:

Se rechaza H_0 .

Puesto que $Z_0 = -20,03$ es $> -1,645$, se **rechaza H_0 $U_1 \geq U_2$ y se acepta H_a : $U_1 < U_2$** ; con un nivel de significancia de 0,05 se concluye que la incorporación de tiras de polipropileno (4mm x 20mm) en 0,075% del peso de los materiales del diseño **INCREMENTA** la resistencia a la flexión que el concreto permeable desarrolla a los 28 días.

11) Prueba de hipótesis: Resistencia a la compresión a los 28 días (diseño no 7 – diseño No 12)

Muestra patrón: Diseño No 7 (A/C=0,38; C=510kg, V = 18%)

Muestra comparada: Diseño No 2 (A/C=0,38; C=510kg, V= 18%)

Parámetros de interés:

Incorporación de tiras: diseño No 7 = 0,00%	diseño No 12 =0,10%
No de muestras: diseño No 7=15	diseño No 12=15
Mediana (U): diseño No 7= 42,12	diseño No 12=54,38
Varianza (δ): diseño No 7= 2,41	diseño No 12= 2,52

Hipótesis:

U1: F'c promedio del diseño No 7 **U2:** F'c promedio del diseño No 12

Hipótesis nula **Ho:**

$U1 \geq U2$; se rechaza la hipótesis nula, si $Z_0 < -Z$

El aumento en el porcentaje de vacíos **NO INCREMENTA** la resistencia a la flexión del diseño.

Hipótesis alternativa **Ha:** $U1 < U2$

El aumento en el porcentaje de vacíos **INCREMENTA** la resistencia a la flexión del diseño.

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$ $Z = 1,645$

Estadístico de prueba:

El estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con medias y varianzas conocidas se denota por:

$$Z_0 = \frac{U_1 - U_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2}{N_1} + \frac{\delta_2^2}{N_2}}}$$

Ecuación 17

Z₀: estadístico de prueba

U₁, U₂: resistencia promedio de los diseños

δ₁, δ₂: desviación estándar de los diseños.

N₁, N₂: cantidad de espécimen de los diseños.

Prueba Z: Z₀ = -21,39

Estadístico de prueba:

Del anexo de distribución normal se tiene que para un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de Z= 1,645.

Rechazar H₀ si Z₀ < -1,645

Conclusión:

Se rechaza H₀.

Puesto que Z₀ = -21,39 es > -1,645, se **rechaza H₀ U₁ ≥ U₂ y se rechaza H_a: U₁ < U₂**; con un nivel de significancia de 0,05 se concluye que la incorporación de tiras de polipropileno (4mm x 20mm) en 0,10% del peso de los materiales del diseño **INCREMENTA** la resistencia a la compresión que el concreto permeable desarrolla a los 28 días.

12) Prueba de hipótesis: Resistencia a la compresión a los 28 días (diseño no 7 – diseño No 13)

Muestra patrón: Diseño No 7 (A/C=0,38; C=510kg, V = 18%)

Muestra comparada: Diseño No 2 (A/C=0,38; C=510kg, V= 18%)

Parámetros de interés:

Incorporación de tiras: diseño No 7 = 0,00%	diseño No 13 =0,20%
No de muestras: diseño No 7= 15	diseño No 13=15
Mediana (U): diseño No 7= 42,12	diseño No 13=43,13
Varianza (δ): diseño No 7= 2,41	diseño No 13= 2,41

Hipótesis:

U1: F'c promedio del diseño No 7 **U2:** F'c promedio del diseño No 13

Hipótesis nula **Ho:**

$U_1 \geq U_2$; se rechaza la hipótesis nula, si $Z_0 < -Z$

El aumento en el porcentaje de vacíos **NO INCREMENTA** la resistencia a la flexión del diseño.

Hipótesis alternativa **Ha:** $U_1 < U_2$

El aumento en el porcentaje de vacíos **INCREMENTA** la resistencia a la flexión del diseño.

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$ $Z = 1,645$

Estadístico de prueba:

El estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con medias y varianzas conocidas se denota por:

$$Z_0 = \frac{U_1 - U_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2}{N_1} + \frac{\delta_2^2}{N_2}}}$$

Ecuación 17

Z_0 : estadístico de prueba

U_1, U_2 : resistencia promedio de los diseños

δ_1, δ_2 : desviación estándar de los diseños.

N_1, N_2 : cantidad de espécimen de los diseños.

Prueba Z: $Z_o = -1,78$

Estadístico de prueba:

Del anexo de distribución normal se tiene que para un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z = 1,645$.

Rechazar H_o si $Z_o < -1,645$

Conclusión:

Se rechaza H_o .

Puesto que $Z_o = -1,78$ es $< -1,645$, se **rechaza H_o $U_1 \geq U_2$ y se acepta H_a : $U_1 < U_2$** ; con un nivel de significancia de 0,05 se concluye que la incorporación de tiras de polipropileno (4mm x 20mm) en 0,20% del peso de los materiales del diseño **NO INCREMENTA** la resistencia a la flexión que el concreto permeable desarrolla a los 28 días.

13) Prueba de hipótesis: Resistencia a la compresión a los 28 días (diseño no 7 – diseño No 14)

Muestra patrón: Diseño No 7 (A/C=0,38; C=510kg, V = 18%)

Muestra comparada: Diseño No 14 (A/C=0,38; C=510kg, V= 18%)

Parámetros de interés:

Incorporación de tiras: diseño No 7 = 0,00%

diseño No 14 = 0,10%

Adición de Glenium 7500: diseño No 7= 0,00ml

diseño No 14 = 4,25ml

No de muestras: diseño No 7=15

diseño No 14 = 15

Mediana (U): diseño No 7= 42,12

diseño No 14 = 55,12

Varianza (δ): diseño No 7= 2,41

diseño No 14 = 2,41

Hipótesis:

U1: F'c promedio del diseño No 7 **U2:** F'c promedio del diseño No 14

Hipótesis nula **Ho:**

$U1 \geq U2$; se rechaza la hipótesis nula, si $Z_0 < -Z$

El aumento en el porcentaje de vacíos **NO INCREMENTA** la resistencia a la flexión del diseño.

Hipótesis alternativa **Ha:** $U1 < U2$

El aumento en el porcentaje de vacíos **INCREMENTA** la resistencia a la flexión del diseño.

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$ $Z = 1,645$

Estadístico de prueba:

El estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con medias y varianzas conocidas se denota por:

$$Z_0 = \frac{U_1 - U_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2}{N_1} + \frac{\delta_2^2}{N_2}}}$$

Ecuación 17

Z_0 : estadístico de prueba

U_1, U_2 : resistencia promedio de los diseños

δ_1, δ_2 : desviación estándar de los diseños.

N_1, N_2 : cantidad de espécimen de los diseños.

Prueba Z: $Z_0 = -22,94$

Estadístico de prueba:

Del anexo de distribución normal se tiene que para un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z = 1,645$.

Rechazar H_0 si $Z_0 < -1,645$

Conclusión:

Se rechaza H_0 .

Puesto que $Z_0 = -22,94$ es $> -1,645$, se **rechaza H_0 $U_1 \geq U_2$ y se acepta H_a : $U_1 < U_2$** ; con un nivel de significancia de 0,05 se concluye que la incorporación de tiras de polipropileno (4mm x 20mm) en 0,10% del peso de los materiales del diseño y Glenium 7500 4,25ml/kg de cemento **INCREMENTA** la resistencia a la flexión que el concreto permeable desarrolla a los 28 días.

7.2.3 CONTENIDO DE VACIOS

1) Prueba de hipótesis: % DE VACIOS

Muestra patrón: Diseño No 1 (A/C=0,32; C=430kg, V = 18%)

Muestra comparada: Diseño No 2 (A/C=0,32; C=430kg, V= 20%)

Muestra patrón: diseño No 3 (A/C=0,35; C=430kg; V=18%)

Muestra comparada: diseño No 4 (A/C=0,35; C=430kg; V20%)

Muestra patrón: Diseño No 5 (A/C=0,38; C=430kg, V = 18%)

Muestra comparada: Diseño No 6 (A/C=0,38; C=430kg, V= 20%)

Parámetros de interés:

No de golpes con martillo proctor estándar (energía de compactación)

Diseño No 1: 20 golpes/4capas
No de muestras: diseño No 1= 3
Mediana (U): diseño No 1= 18,67
Varianza (δ): diseño No 1= 0,0044

Diseño No 2:18 golpes/4capas
diseño No 2=3
diseño No 2=20,11
diseño No 2= 0,0057

No de golpes con martillo proctor estándar (energía de compactación)

Diseño No 3:16 golpes/4capas
No de muestras: diseño No 3= 3
Mediana (U): diseño No 3= 18,00
Varianza (δ): diseño No 3= 0,0377

Diseño No 4:14 golpes/4capas
diseño No 4=3
diseño No 4=20,12
diseño No 4= 0,0284

No de golpes con martillo proctor estándar (energía de compactación)

Diseño No 5:12 golpes/4capas
No de muestras: diseño No 5= 3
Mediana (U): diseño No 5= 18,37
Varianza (δ): diseño No 5= 0,0817

Diseño No 6:10 golpes/4capas
diseño No 6 = 3
diseño No 6 = 20,01
diseño No 6 = 0,0225

Hipótesis:

U1: F'c promedio del diseño No 1 **U2:** F'c promedio del diseño No 2

U1: F'c promedio del diseño No 3 **U2:** F'c promedio del diseño No 4

U1: F'c promedio del diseño No 5 **U2:** F'c promedio del diseño No 6

Hipótesis nula **Ho:**

$U1 \geq U2$; se rechaza la hipótesis nula, si $Z_o < -Z$

Si se disminuye el número de golpes (energía de compactación) **NO INCREMENTA** el porcentaje de vacíos.

Hipótesis alternativa **Ha:** $U1 < U2$

Si se disminuye el número de golpes (energía de compactación) **INCREMENTA** el porcentaje de vacíos.

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$ $Z = 1,645$

Estadístico de prueba:

El estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con medias y varianzas conocidas se denota por:

$$Z_0 = \frac{U_1 - U_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2}{N_1} + \frac{\delta_2^2}{N_2}}}$$

Ecuación 17

Z_0 : estadístico de prueba

U_1, U_2 : resistencia promedio de los diseños

δ_1, δ_2 : desviación estándar de los diseños.

N_1, N_2 : cantidad de espécimen de los diseños.

Prueba Z: Z_0 diseños No 1 y diseño No2 = -64,40

Prueba Z: Z_0 diseños No 1 y diseño No2 = -31,96

Prueba Z: Z_0 diseños No 1 y diseño No2 = -21,35

Estadístico de prueba:

Del anexo de distribución normal se tiene que para un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z = 1,645$.

Rechazar H_0 si $Z_0 < -1,645$

Conclusión:

Se rechaza H_0 .

Puesto que $Z_0 = -64,40$ en diseños 1 y 2; $Z_0 = -31,96$ en diseños 3 y 4; $Z_0 = -21,35$ en diseños 4 y 5 es $< -1,645$, se **rechaza H_0 $U_1 \geq U_2$ y se acepta H_a : $U_1 < U_2$** ; con un nivel de significancia de 0,05 se concluye que al disminuir el No de golpes (energía de compactación) **INCREMENTA** el porcentaje de vacíos en los diseños antes mencionado de concreto permeable.

2) Prueba de hipótesis: % de vacíos (aumento de la relación agua/cemento)

Muestra patrón: Diseño No 1 ($A/C=0,32$; $C=430\text{kg}$, $V = 18\%$)

Muestra comparada: Diseño No 3 ($A/C=0,35$; $C=430\text{kg}$, $V= 18\%$)

Muestra patrón: diseño No 3 ($A/C=0,35$; $C=430\text{kg}$; $V=18\%$)

Muestra comparada: diseño No 5 ($A/C=0,38$; $C=430\text{kg}$; $V=18\%$)

Muestra patrón: Diseño No 5 ($A/C=0,38$; $C=430\text{kg}$, $V = 18\%$)

Muestra comparada: Diseño No 7 ($A/C=0,38$; $C=510\text{kg}$, $V= 18\%$)

Parámetros de interés:

No de golpes con martillo proctor estándar (energía de compactación)

Diseño No 1: 20 golpes/4capas

Diseño No 3: 16 golpes/4capas

No de muestras: diseño No 1 = 3

diseño No 3 = 3

Mediana (U): diseño No 1 = 18,67

diseño No 3 = 18,00

Varianza (δ): diseño No 1 = 0,0044

diseño No 3 = 0,0377

No de golpes con martillo proctor estándar (energía de compactación)

Diseño No 3: 16 golpes/4capas

Diseño No 5: 12 golpes/4capas

No de muestras: diseño No 3 = 3

diseño No 5 = 3

Mediana (U): diseño No 3 = 18,00

diseño No 5 = 18,37

Varianza (δ): diseño No 3 = 0,0377

diseño No 5 = 0,0817

No de golpes con martillo proctor estándar (energía de compactación)

Diseño No 5: 12 golpes/4 capas

Diseño No 7: 8 golpes/4 capas

No de muestras: diseño No 5 = 3

diseño No 7 = 3

Mediana (U): diseño No 5 = 18,37

diseño No 7 = 17,95

Varianza (δ): diseño No 5 = 0,0817

diseño No 7 = 0,0580

Hipótesis:

U1: F'c promedio del diseño No 1

U2: F'c promedio del diseño No 3

U1: F'c promedio del diseño No 3

U2: F'c promedio del diseño No 5

U1: F'c promedio del diseño No 5

U2: F'c promedio del diseño No 7

Hipótesis nula **H₀:**

$U_1 \geq U_2$; se rechaza la hipótesis nula, si $Z_0 < -Z$

Si se disminuye el número de golpes (energía de compactación) **NO INCREMENTA** el porcentaje de vacíos.

Hipótesis alternativa **H_a:** $U_1 < U_2$

Si se disminuye el número de golpes (energía de compactación) **INCREMENTA** el porcentaje de vacíos.

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$ $Z = 1,645$

Estadístico de prueba:

El estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con medias y varianzas conocidas se denota por:

$$Z_0 = \frac{U_1 - U_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2}{N_1} + \frac{\delta_2^2}{N_2}}}$$

Ecuación 17

Z₀: estadístico de prueba

U₁, U₂: resistencia promedio de los diseños

δ₁, δ₂: desviación estándar de los diseños.

N₁, N₂: cantidad de espécimen de los diseños.

Prueba Z: Zo diseños No 1 y diseño No3 = 5,66

Prueba Z: Zo diseños No 3 y diseño No5 = -1,87

Prueba Z: Zo diseños No 5 y diseño No 7 = 1,95

Estadístico de prueba:

Del anexo de distribución normal se tiene que para un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de Z= 1,645.

Rechazar Ho si Zo < -1,645

Conclusión:

Se acepta Ho.

Puesto que Zo = 5,66 en diseños 1 y 3; Zo= 1,95 en diseños 5 y 7 se **acepta Ho U1 ≥ U2** y se **rechaza Ha: U1 < U2**; con un nivel de significancia de 0,05 se concluye que al aumentar la relación A/C y al disminuir el No de golpes (energía de compactación) **INCREMENTA** el porcentaje de vacíos en los diseños antes mencionado de concreto permeable pero dicho aumento no es significativo.

Se rechaza Ho.

Puesto que $Z_0 = -1,85$ en diseños 3 y 5; $Z_0 = 1,95$ se **rechaza $H_0 U_1 \geq U_2$** y se **acepta $H_a: U_1 < U_2$** ; con un nivel de significancia de 0,05 se concluye que al aumentar la relación A/C y al disminuir el No de golpes (energía de compactación) **NO INCREMENTA** el porcentaje de vacíos en los diseños antes mencionado de concreto permeable.

3) Prueba de hipótesis: % de vacíos incorporando tiras de 2mm x 10mm

Muestra patrón: Diseño No 7 (A/C=0,38; C=510kg, V = 18%)

Muestra comparada: Diseño No 8 (A/C=0,38; C=510kg, V= 18%)

Muestra patrón: diseño No 7 (A/C=0,38; C=510kg; V=18%)

Muestra comparada: diseño No 9 (A/C=0,38; C=510kg; V=18%)

Muestra patrón: Diseño No 7 (A/C=0,38; C=510kg, V = 18%)

Muestra comparada: Diseño No 10 (A/C=0,38; C=510kg, V= 18%)

Parámetros de interés:

% de tiras 2mm x 10mm: diseño No 7: 0,00%	diseño No 8: 0,075%
No de muestras: diseño No 7 = 3	diseño No 8 = 3
Mediana (U): diseño No 7 = 17,95	diseño No 8 = 18,42
Varianza (δ): diseño No 7 = 0,0580	diseño No 8 = 0,0101

% de tiras 2mm x 10mm: diseño No 7: 0,00%	diseño No 9: 0,01%
No de muestras: diseño No 7 = 3	diseño No 9 = 3
Mediana (U): diseño No 7 = 17,95	diseño No 9 = 18,47
Varianza (δ): diseño No 7 = 0,0580	diseño No 9 = 0,0092
% de tiras 2mm x 10mm: diseño No 7:	diseño No 10:
No de muestras: diseño No 7 = 3	diseño No 10 = 3
Mediana (U): diseño No 7 = 17,95	diseño No 10 = 18,60

Varianza (δ): diseño No 7 = 0,0580

diseño No 10 = 0,0050

Hipótesis:

U1: F'c promedio del diseño No 7 **U2:** F'c promedio del diseño No 8

U1: F'c promedio del diseño No 7 **U2:** F'c promedio del diseño No 9

U1: F'c promedio del diseño No 7 **U2:** F'c promedio del diseño No 10

Hipótesis nula **H₀:**

$U_1 \geq U_2$; se rechaza la hipótesis nula, si $Z_0 < -Z$

Si se disminuye el número de golpes (energía de compactación) **NO INCREMENTA** el porcentaje de vacíos.

Hipótesis alternativa **H_a:** $U_1 < U_2$

Si se disminuye el número de golpes (energía de compactación) **INCREMENTA** el porcentaje de vacíos.

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$ $Z = 1,645$

Estadístico de prueba:

El estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con medias y varianzas conocidas se denota por:

$$Z_0 = \frac{U_1 - U_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2}{N_1} + \frac{\delta_2^2}{N_2}}}$$

Ecuación 17

Z_0 : estadístico de prueba

U_1, U_2 : resistencia promedio de los diseños

δ_1, δ_2 : desviación estándar de los diseños.

N_1, N_2 : cantidad de espécimen de los diseños.

Prueba Z: Zo diseños No 7 y diseño No 8 = -3,14

Prueba Z: Zo diseños No 7 y diseño No 9 = -3,48

Prueba Z: Zo diseños No 1 y diseño No 2 = -4,48

Estadístico de prueba:

Del anexo de distribución normal se tiene que para un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z = 1,645$.

Rechazar H_0 si $Z_0 < -1,645$

Conclusión:

Se rechaza H_0 .

Puesto que $Z_0 = -3,14$ en diseños 7 y 8; $Z_0 = -3,48$ en diseños 7 y 9; $Z_0 = -4,48$ en diseños 7 y 10 es $< -1,645$, se **rechaza H_0 $U_1 \geq U_2$ y se acepta H_a : $U_1 < U_2$** ; con un nivel de significancia de 0,05 se concluye que, al incorporar tiras de polipropileno en 0,0755,0,10%,0,20% respectivamente del peso de los materiales del diseño **INCREMENTA** levemente el porcentaje de vacíos obtenido en el concreto permeable.

4) Prueba de hipótesis: % de vacíos incorporando tiras de 4mm x 20mm

Muestra patrón: Diseño No 7 ($A/C=0,38$; $C=510\text{kg}$, $V = 18\%$)

Muestra comparada: Diseño No 11 ($A/C=0,38$; $C=510\text{kg}$, $V = 18\%$)

Muestra patrón: diseño No 7 ($A/C=0,38$; $C=510\text{kg}$; $V=18\%$)

Muestra comparada: diseño No 11 ($A/C=0,38$; $C=510\text{kg}$; $V=18\%$)

Muestra patrón: Diseño No 7 (A/C=0,38; C=510kg, V = 18%)

Muestra comparada: Diseño No 12 (A/C=0,38; C=510kg, V= 18%)

Muestra patrón: Diseño No 7 (A/C=0,38; C=430kg, V = 18%)

Muestra comparada: Diseño No 13 (A/C=0,38; C=510kg, V= 18%)

Parámetros de interés:

% de tiras 2mm x 10mm: diseño No7:0,00%	diseño No 11: 0,075%
No de muestras: diseño No 7 = 3	diseño No 11 = 3
Mediana (U): diseño No 7 = 17,95	diseño No 11 = 18,09
Varianza (δ): diseño No 7= 0,0580	diseño No 11 = 0,0069

% de tiras 2mm x 10mm: diseño No 7: 0,00%	diseño No 12:0,01%
No de muestras: diseño No 7 = 3	diseño No 12 = 3
Mediana (U): diseño No 7 = 17,95	diseño No 12 =18,12
Varianza (δ): diseño No 7 = 0,0580	diseño No 12 = 0,0069

% de tiras 2mm x 10mm: diseño No 7: 0,00%	diseño No 13: 0,20%
No de muestras: diseño No 7 = 3	diseño No 13 = 3
Mediana (U): diseño No 7 = 17,95	diseño No 13 = 18,40
Varianza (δ): diseño No 7 = 0,0580	diseño No 13 = 0,0100

% de tiras 2mm x 10mm: diseño No 7:0,00%	diseño No 14: 0,10%
Aditivo Glenium 7500: diseño No 7: 0,00ml	diseño No14: 4,25ml/kg
No de muestras: diseño No 7 = 3	diseño No 14 = 3
Mediana (U): diseño No 7 = 17,95	diseño No 14 = 18,09
Varianza (δ): diseño No 7 = 0,0580	diseño No 14 = 0,0065

Hipótesis:

U1: F'c promedio del diseño No 7 **U2:** F'c promedio del diseño No 11

U1: F'c promedio del diseño No 7 **U2:** F'c promedio del diseño No 12

U1: F'c promedio del diseño No 7 **U2:** F'c promedio del diseño No 13

U1: F'c promedio del diseño No 7 **U2:** F'c promedio del diseño No 14

Hipótesis nula **Ho:**

$U_1 \geq U_2$; se rechaza la hipótesis nula, si $Z_0 < -Z$

Si se disminuye el número de golpes (energía de compactación) **NO INCREMENTA** el porcentaje de vacíos.

Hipótesis alternativa **Ha:** $U_1 < U_2$

Si se disminuye el número de golpes (energía de compactación) **INCREMENTA** el porcentaje de vacíos.

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$ $Z = 1,645$

Estadístico de prueba:

El estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con medias y varianzas conocidas se denota por:

$$Z_0 = \frac{U_1 - U_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2}{N_1} + \frac{\delta_2^2}{N_2}}}$$

Ecuación 17

Z_0 : estadístico de prueba

U_1, U_2 : resistencia promedio de los diseños

δ_1, δ_2 : desviación estándar de los diseños.

N_1, N_2 : cantidad de espécimen de los diseños.

Prueba Z: Zo diseños No 7 y diseño No 11 = -0,86

Prueba Z: Zo diseños No 7 y diseño No 12 = -1,16

Prueba Z: Zo diseños No 1 y diseño No 13 = -2,99

Prueba Z: Zo diseños No 1 y diseño No 14 = -0,95

Estadístico de prueba:

Del anexo de distribución normal se tiene que para un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z = 1,645$.

Rechazar H_0 si $Z_0 < -1,645$

Conclusión:

Se acepta H_0 .

Puesto que $Z_0 = -0,86$ en diseños 7 y 11; $Z_0 = -1,16$ en diseños 7 y 12; $Z_0 = -0,95$ en diseños 7 y 14 es $> -1,645$, se **acepta H_0 $U_1 \geq U_2$ y se rechaza H_a : $U_1 < U_2$** ; con un nivel de significancia de 0,05 se concluye que, al incorporar tiras de polipropileno en 0,0755,0,10%,0,20% respectivamente del peso de los materiales del diseño **NO INCREMENTA** el porcentaje de vacíos obtenido en el concreto permeable.

Se rechaza H_0 .

Puesto que $Z_0 = -2,99$ en diseños 7 y 13; es $> -1,645$, se **rechaza $H_0: U_1 \geq U_2$** y **se acepta $H_a: U_1 < U_2$** ; con un nivel de significancia de 0,05 se concluye que al incorporar tiras de polipropileno en 0,075%,0,10%,0,20% respectivamente del peso de los materiales del diseño **INCREMENTA** levemente el porcentaje de vacíos obtenido en el concreto permeable.

7.2.4 COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD

1) Prueba de hipótesis: coeficiente de permeabilidad (variación de energía de compactación)

Muestra patrón: Diseño No 1 (A/C=0,32; C=430kg, V = 18%)

Muestra comparada: Diseño No 2 (A/C=0,32; C=430kg, V= 20%)

Muestra patrón: diseño No 3 (A/C=0,35; C=430kg; V=18%)

Muestra comparada: diseño No 4 (A/C=0,35; C=430kg; V20%)

Muestra patrón: Diseño No 5 (A/C=0,38; C=430kg, V = 18%)

Muestra comparada: Diseño No 6 (A/C=0,38; C=430kg, V= 20%)

Parámetros de interés:

No de golpes con martillo proctor estándar (energía de compactación)

Diseño No 1: 20golpes/4capas

Diseño No 2:18 golpes/4capas

No de muestras: diseño No 1= 3

diseño No 2=3

Mediana (U): diseño No 1= 6,55

diseño No 2=8,98

Varianza (δ): diseño No 1= 0,1354

diseño No 2= 0,2163

No de golpes con martillo proctor estándar (energía de compactación)

Diseño No 3:16 golpes/4capas

Diseño No 4:14 golpes/4capas

No de muestras: diseño No 3= 3	diseño No 4=3
Mediana (U): diseño No 3= 5,90	diseño No 4= 8,15
Varianza (δ): diseño No 3= 0,0201	diseño No 4= 0,0756
No de golpes con martillo proctor estándar (energía de compactación)	
Diseño No 5:12 golpes/4capas	Diseño No 6:10 golpes/4capas
No de muestras: diseño No 5= 3	diseño No 6 = 3
Mediana (U): diseño No 5= 5,16	diseño No 6 = 7,17
Varianza (δ): diseño No 5= 0,0410	diseño No 6 = 0,0244

Hipótesis:

U1: F'c promedio del diseño No 1 **U2:** F'c promedio del diseño No 2

U1: F'c promedio del diseño No 3 **U2:** F'c promedio del diseño No 4

U1: F'c promedio del diseño No 5 **U2:** F'c promedio del diseño No 6

Hipótesis nula **Ho:**

$U1 \geq U2$; se rechaza la hipótesis nula, si $Z_o < -Z$

Si se disminuye el número de golpes (energía de compactación) **NO INCREMENTA** el coeficiente de permeabilidad.

Hipótesis alternativa **Ha:** $U1 < U2$

Si se disminuye el número de golpes (energía de compactación) **INCREMENTA** el coeficiente de permeabilidad.

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$ $Z = 1,645$

Estadístico de prueba:

El estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con medias y varianzas conocidas se denota por:

$$Z_0 = \frac{U_1 - U_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2}{N_1} + \frac{\delta_2^2}{N_2}}}$$

Ecuación 17

Z₀: estadístico de prueba

U₁, U₂: resistencia promedio de los diseños

δ₁, δ₂: desviación estándar de los diseños.

N₁, N₂: cantidad de espécimen de los diseños.

Prueba Z: Zo diseños No 1 y diseño No2 = -7,10

Prueba Z: Zo diseños No 3 y diseño No 4 = -12,08

Prueba Z: Zo diseños No 5 y diseño No 6 = -13,62

Estadístico de prueba:

Del anexo de distribución normal se tiene que para un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de Z= 1,645.

Rechazar Ho si Zo < -1,645

Conclusión:

Se rechaza Ho.

Puesto que Zo = -7,10 en diseños 1 y 2; Zo= -12,08 en diseños 3 y 4; Zo= -13,62 en diseños 4 y 5 es < -1,645, se **rechaza Ho U1 ≥ U2 y se acepta Ha: U1 < U2**.

Con un nivel de significancia de 0,05 se concluye que al disminuir el No de golpes (energía de compactación) **INCREMENTA** el coeficiente de permeabilidad en los diseños antes mencionado de concreto permeable.

2) Prueba de hipótesis: coeficiente de permeabilidad (aumento de la relación agua/cemento)

Muestra patrón: Diseño No 1 ($A/C=0,32$; $C=430\text{kg}$, $V = 18\%$)

Muestra comparada: Diseño No 3 ($A/C=0,35$; $C=430\text{kg}$, $V= 18\%$)

Muestra patrón: diseño No 3 ($A/C=0,35$; $C=430\text{kg}$; $V=18\%$)

Muestra comparada: diseño No 5 ($A/C=0,38$; $C=430\text{kg}$; $V=18\%$)

Muestra patrón: Diseño No 5 ($A/C=0,38$; $C=430\text{kg}$, $V = 18\%$)

Muestra comparada: Diseño No 7 ($A/C=0,38$; $C=510\text{kg}$, $V= 18\%$)

Parámetros de interés:

No de golpes con martillo proctor estándar (energía de compactación)

Diseño No 1: 20golpes/4capas

Diseño No 3:16 golpes/4capas

No de muestras: diseño No 1= 3

diseño No 3 = 3

Mediana (U): diseño No 1 = 6,55

diseño No 3 = 5,90

Varianza (δ): diseño No 1 = 0,1354

diseño No 3 = 0,0201

No de golpes con martillo proctor estándar (energía de compactación)

Diseño No 3:16 golpes/4capas

Diseño No 5:12 golpes/4capas

No de muestras: diseño No 3 = 3

diseño No 5 =3

Mediana (U): diseño No 3 = 5,90

diseño No 5 =5,16

Varianza (δ): diseño No 3 = 0,0201

diseño No 5 = 0,0410

No de golpes con martillo proctor estándar (energía de compactación)

Diseño No 5:12 golpes/4capas

Diseño No 7:8 golpes/4capas

No de muestras: diseño No 5= 3

diseño No 7 = 3

Mediana (U): diseño No 5= 5,16

diseño No 7 = 4,68

Varianza (δ): diseño No 5= 0,0410

diseño No 7 = 0,0016

Hipótesis:

U1: F'c promedio del diseño No 1 **U2:** F'c promedio del diseño No 3

U1: F'c promedio del diseño No 3 **U2:** F'c promedio del diseño No 5

U1: F'c promedio del diseño No 5 **U2:** F'c promedio del diseño No 7

Hipótesis nula **Ho:**

$U_1 \geq U_2$; se rechaza la hipótesis nula, si $Z_0 < -Z$

Si se disminuye el número de golpes (energía de compactación) **NO INCREMENTA** el porcentaje de vacíos.

Hipótesis alternativa **Ha:** $U_1 < U_2$

Si se disminuye el número de golpes (energía de compactación) **INCREMENTA** el porcentaje de vacíos.

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$ $Z = 1,645$

Estadístico de prueba:

El estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con medias y varianzas conocidas se denota por:

$$Z_0 = \frac{U_1 - U_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2}{N_1} + \frac{\delta_2^2}{N_2}}}$$

Ecuación 17

Z_0 : estadístico de prueba

U_1, U_2 : resistencia promedio de los diseños

δ_1, δ_2 : desviación estándar de los diseños.

N_1, N_2 : cantidad de espécimen de los diseños.

Prueba Z: Z_0 diseños No 1 y diseño No3 = 5,31

Prueba Z: Z_0 diseños No 3 y diseño No5 = 5,20

Prueba Z: Z_0 diseños No 5 y diseño No 7 = 4,03

Estadístico de prueba:

Del anexo de distribución normal se tiene que para un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z = 1,645$.

Rechazar H_0 si $Z_0 < -1,645$

Conclusión:

Se acepta H_0 .

Puesto que $Z_0 = 5,31$ en diseños 1 y 3; $Z_0 = 5,20$ en diseños 5 y 7; $Z_0 = 4,03$ se **acepta H_0 $U_1 \geq U_2$** y se **rechaza H_a : $U_1 < U_2$** ; con un nivel de significancia de 0,05 se concluye que al aumentar la relación A/C y al disminuir el No de golpes (energía de compactación) **NO INCREMENTA** el coeficiente de permeabilidad en los diseños antes mencionado de concreto permeable.

3) Prueba de hipótesis: coeficiente de permeabilidad incorporando tiras de 2mm x 10mm

Muestra patrón: Diseño No 7 (A/C=0,38; C=510kg, V = 18%)

Muestra comparada: Diseño No 8 (A/C=0,38; C=510kg, V= 18%)

Muestra patrón: diseño No 7 (A/C=0,38; C=510kg; V=18%)

Muestra comparada: diseño No 9 (A/C=0,38; C=510kg; V=18%)

Muestra patrón: Diseño No 7 (A/C=0,38; C=510kg, V = 18%)

Muestra comparada: Diseño No 10 (A/C=0,38; C=510kg, V= 18%)

Parámetros de interés:

% de tiras 2mm x 10mm: diseño No7:0,00%	diseño No 8: 0,075%
No de muestras: diseño No 7 = 3	diseño No 8 = 3
Mediana (U): diseño No 7 = 4,68	diseño No 8 = 5,92
Varianza (δ): diseño No 7= 0,0016	diseño No 8 = 0,0076

% de tiras 2mm x 10mm: diseño No 7: 0,00%	diseño No 9:0,01%
No de muestras: diseño No 7 = 3	diseño No 9 = 3
Mediana (U): diseño No 7 = 4,68	diseño No 9 =5,86
Varianza (δ): diseño No 7 = 0,0016	diseño No 9 = 0,0111

% de tiras 2mm x 10mm: diseño No 7:0,00%	diseño No 10: 0,20%
No de muestras: diseño No 7 = 3	diseño No 10 = 3
Mediana (U): diseño No 7 = 4,68	diseño No 10 = 6,28
Varianza (δ): diseño No 7 = 0,0016	diseño No 10 = 0,0124

Hipótesis:

U1: F'c promedio del diseño No 7 **U2:** F'c promedio del diseño No 8

U1: F'c promedio del diseño No 7 **U2:** F'c promedio del diseño No 9

U1: F'c promedio del diseño No 7 **U2:** F'c promedio del diseño No 10

Hipótesis nula **Ho:**

$U1 \geq U2$; se rechaza la hipótesis nula, si $Z_o < -Z$

Si se disminuye el número de golpes (energía de compactación) **NO INCREMENTA** el porcentaje de vacíos.

Hipótesis alternativa **Ha:** $U1 < U2$

Si se disminuye el número de golpes (energía de compactación) **INCREMENTA** el porcentaje de vacíos.

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$ $Z = 1,645$

Estadístico de prueba:

El estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con medias y varianzas conocidas se denota por:

$$Z_0 = \frac{U_1 - U_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2}{N_1} + \frac{\delta_2^2}{N_2}}}$$

Ecuación 17

Z_0 : estadístico de prueba

U_1, U_2 : resistencia promedio de los diseños

δ_1, δ_2 : desviación estándar de los diseños.

N_1, N_2 : cantidad de espécimen de los diseños.

Prueba Z: Z_0 diseños No 7 y diseño No 8 = -22,63

Prueba Z: Z_0 diseños No 7 y diseño No 9 = -18,21

Prueba Z: Z_0 diseños No 1 y diseño No 10 = -23,60

Estadístico de prueba:

Del anexo de distribución normal se tiene que para un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z = 1,645$.

Rechazar H_0 si $Z_0 < -1,645$

Conclusión:

Se rechaza H_0 .

Puesto que $Z_0 = -22,63$ en diseños 7 y 8; $Z_0 = -18,21$ en diseños 7 y 9; $Z_0 = -23,60$ en diseños 7 y 10 es $< -1,645$, se **rechaza H_0 $U_1 \geq U_2$ y se acepta H_a : $U_1 < U_2$** ; con un nivel de significancia de 0,05 se concluye que al incorporar tiras de polipropileno (2mm x 10mm) en 0,0755,0,10%,0,20% respectivamente del peso de los materiales del diseño **INCREMENTA** levemente el coeficiente de permeabilidad obtenido en el concreto permeable.

4) Prueba de hipótesis: % de vacíos incorporando tiras de 4mm x 20mm

Muestra patrón: Diseño No 7 (A/C=0,38; C=510kg, V = 18%)

Muestra comparada: Diseño No 11 (A/C=0,38; C=510kg, V= 18%)

Muestra patrón: diseño No 7 (A/C=0,38; C=510kg; V=18%)

Muestra comparada: diseño No 12 (A/C=0,38; C=510kg; V=18%)

Muestra patrón: Diseño No 7 (A/C=0,38; C=510kg, V = 18%)

Muestra comparada: Diseño No 13 (A/C=0,38; C=510kg, V= 18%)

Muestra patrón: Diseño No 7 (A/C=0,38; C=430kg, V = 18%)

Muestra comparada: Diseño No 14 (A/C=0,38; C=510kg, V= 18%)

Parámetros de interés:

% de tiras 2mm x 10mm: diseño No7:0,00%

diseño No 11: 0,075%

No de muestras: diseño No 7 = 3

diseño No 11 = 3

Mediana (U): diseño No 7 = 4,68

diseño No 11 = 4,71

Varianza (δ): diseño No 7= 0,0016

diseño No 11 = 0,0037

% de tiras 2mm x 10mm: diseño No 7: 0,00% diseño No 12:0,01%
No de muestras: diseño No 7 = 3 diseño No 12 = 3
Mediana (U): diseño No 7 = 4,68 diseño No 12 =4,53
Varianza (δ): diseño No 7 = 0,0016 diseño No 12 = 0,0009

% de tiras 2mm x 10mm: diseño No 7: 0,00% diseño No 10: 0,20%
No de muestras: diseño No 7 = 3 diseño No 10 = 3
Mediana (U): diseño No 7 = 4,68 diseño No 10 = 4,88
Varianza (δ): diseño No 7 = 0,0016 diseño No 10 = 0,0016

% de tiras 2mm x 10mm: diseño No 7:0,00% diseño No 10: 0,10%
Aditivo Glenium 7500: diseño No 7: 0,00ml diseño No14: 4,25ml/kg
No de muestras: diseño No 7 = 3 diseño No 10 = 3
Mediana (U): diseño No 7 = 4,68 diseño No 10 = 4,43
Varianza (δ): diseño No 7 = 0,0016 diseño No 10 = 0,0016

Hipótesis:

U1: F'c promedio del diseño No 7 **U2:** F'c promedio del diseño No 11

U1: F'c promedio del diseño No 7 **U2:** F'c promedio del diseño No 12

U1: F'c promedio del diseño No 7 **U2:** F'c promedio del diseño No 13

U1: F'c promedio del diseño No 7 **U2:** F'c promedio del diseño No 14

Hipótesis nula **Ho:**

$U1 \geq U2$; se rechaza la hipótesis nula, si $Z_0 < -Z$

Si se disminuye el número de golpes (energía de compactación) **NO INCREMENTA** el porcentaje de vacíos.

Hipótesis alternativa **Ha:** $U1 < U2$

Si se disminuye el número de golpes (energía de compactación) **INCREMENTA** el porcentaje de vacíos.

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$ $Z = 1,645$

Estadístico de prueba:

El estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con medias y varianzas conocidas se denota por:

$$Z_0 = \frac{U_1 - U_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2}{N_1} + \frac{\delta_2^2}{N_2}}}$$

Ecuación 17

Z_0 : estadístico de prueba

U_1, U_2 : resistencia promedio de los diseños $\bar{\delta}_1, \bar{\delta}_2$: desviación estándar de los diseños.

N_1, N_2 : cantidad de espécimen de los diseños.

Prueba Z: Z_0 diseños No 7 y diseño No 11 = -0,73

Prueba Z: Z_0 diseños No 7 y diseño No 12 = 5,30

Prueba Z: Z_0 diseños No 1 y diseño No 13 = -6,33

Prueba Z: Z_0 diseños No 1 y diseño No 14 = 7,91

Estadístico de prueba:

Del anexo de distribución normal se tiene que para un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z = 1,645$.

Rechazar H_0 si $Z_0 < -1,645$

Conclusión:

Se acepta Ho.

Puesto que $Z_o = 0,73$ en diseños 7 y 11; $Z_o = 5,30$ en diseños 7 y 12; $Z_o = 7,91$ en diseños 7 y 14 es $> -1,645$, se **acepta Ho $U1 \geq U2$ y se rechaza Ha: $U1 < U2$** ;

Con un nivel de significancia de 0,05 se concluye que, al incorporar tiras de polipropileno en 0,075, 0,10%,0,20% respectivamente del peso de los materiales del diseño **NO INCREMENTA** el coeficiente de permeabilidad obtenido en el concreto permeable.

Se rechaza Ho.

Puesto que $Z_o = -6,33$ en diseños 7 y 13; es $< -1,645$, se **rechaza Ho $U1 \geq U2$ y se acepta Ha: $U1 < U2$** ; con un nivel de significancia de 0,05 se concluye que al incorporar tiras de polipropileno en 0,075%, 0,10%,0,20% respectivamente del peso de los materiales del diseño **INCREMENTA** levemente el coeficiente de permeabilidad obtenido en el concreto permeable.

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSION GENERAL

Se logró diseñar y elaborar mezclas de concreto permeable con el agregado grueso Uso No 8 (3/8") del banco de préstamo Veracruz, cemento portland GU de la marca Holcim y agua potable de la ciudad de Managua obteniendo resistencias a la compresión de 8.5 Mpa (83.6 kg/cm²) a 19.23 Mpa (196.1 kg/cm²), y a la flexión de 1,5 Mpa (15.3 kg/cm²) a 3,91 Mpa (29.9 kg/cm²), al incorporarle tira de polipropileno se obtuvo un aumento en la resistencia a la compresión de 20.50 Mpa (209.10 kg/cm²), a la flexión de 5.48 Mpa (55.90 kg/cm²) y por ultimo al adicionarle el aditivo Gleniun 7500 obtuvimos una resistencia a la compresión de 21.61 Mpa (220.45 kg/cm²) y a la flexión 5.20 Mpa (53.00 kg/cm²). Y respecto a las otras propiedades estudiadas, como el contenido de vacíos y coeficiente de permeabilidad, se ha determinado que la adición de tiras de polipropileno produce una variación ligera en sus magnitudes, presentando una tendencia a la reducción de los mismos conforme se incrementa el porcentaje de adición de las Tiras.

8.2 CONCLUSIONES ESPECIFICAS

De acuerdo al primer objetivo específico Las características físico-mecánicas del agregado grueso de USO No 8 (3/8") producido por Agrenic y Proinco y que proviene del banco de préstamo Veracruz cumplen en granulometría (tamaño de partícula y distribución) según ASTM C-33, desgastes por máquina de los ángeles ASTM C-131, gravedad específica y absorción ASTM C-127, peso unitario y porcentaje de vacíos de los agregados ASTM C-29 y por tanto cumplen la normativa ACI 522R para su uso en diseños de concreto permeable.

Para el rango de mezclas y dosificaciones de estudio según el segundo objetivo específico, las resistencias a compresión y a flexión incrementan con el aumento de la relación a/c, con la disminución de la cantidad de agregados y con el aumento del contenido de pasta de cemento; pero también comprobamos que al aumentar el porcentaje de vacíos disminuye las resistencias a compresión y a flexión. Todos los valores obtenidos se encuentran dentro del rango de 2,8 a 28 MPa mencionada por la ACI (2010).

La incorporación de tiras de polipropileno de (2 mm x 10 mm) en el diseño de mezcla de un concreto permeable diseñado para pavimentos $f'c$ 196,10 kg/cm², no mejora las propiedades del mismo, específicamente su resistencia a la compresión y flexión. En lo que respecta a la incorporación de tiras de polipropileno de (4 mm x 20 mm) si mejora las propiedades de dicho diseño, se ha determinado que la adición de dichas tiras en dos porcentajes (de los tres estudiados), incrementa la resistencia a la compresión del concreto permeable.

Y respecto a las otras propiedades estudiadas, como el contenido de vacíos y coeficiente de permeabilidad, se ha determinado que la adición de tiras de polipropileno produce una variación ligera en sus magnitudes, presentando una tendencia a la reducción de los mismos conforme se incrementa el porcentaje de adición de las Tiras. La adición del aditivo reductor de agua plastificante Glenium 7500 incrementa las resistencias tanto a compresión como a flexión y no afecta negativamente los vacíos ni la permeabilidad del diseño del concreto permeable antes mencionado.

Según el tercer objetivo específico que es interpretar el análisis estadístico concluimos que la resistencia del concreto permeable variando los vacíos de 18% a 20% disminuye: a la compresión 16,13%, a la flexión 10,66%. El aumento de la relación a/c, volumen de pasta, y la disminución del volumen de agregado y la energía de compactación la resistencia aumenta: a compresión 12,13% y a flexión 16,06%.

La resistencia desarrollada a los 28 días aumenta a compresión 27,19% y a flexión 17,74% al aumentar la cantidad de cemento y por ende el volumen de pasta, con relación a/c constante y disminución de la energía de compactación logrando el porcentaje de vacíos del diseño óptimo concluyendo que el diseño base optimo es el No 7 con 510 kg de cemento con una relación a/c de 0,38 y un porcentaje de vacíos del 18% con resistencia a la compresión de 194,32 kg/cm² y a la flexión de 43,46 kg/cm².

La adición de tiras de polipropileno (2 mm x 10 mm) en 0,075%,0,10%,0,20% al diseño óptimo la resistencia a la compresión se disminuye en un 2,45%,4,94%,8,42%respectivamente; la resistencia a la flexión con la adición de 0,075%,0,10% de tiras aumenta en 1,85%,2,42% mientras que con 0,20% disminuye en un 11,34%.

La adición de tiras de polipropileno (4 mm x 20 mm) en 0,075%, 0,10% es diferente, la resistencia la compresión aumenta en 6,36% y 7,66% respectivamente, mientras que con 0,20% disminuye en 11,34%; la resistencia a la flexión con la adición de 0,075%,0,10%,0,20% de tiras aumenta en 20,00%,21,92%,2,64% respectivamente

La aplicación del aditivo reductor de agua plastificante Glenium 7500 en 4,25 ml por kg de cemento al diseño base óptimo con la tira de mejor comportamiento (4 mm x 20 mm) adicionada en 0,10% con resistencia a la compresión de 210,45 kg/cm² y a la flexión 55,56 kg/cm² incrementó la resistencia en un 3,77% a compresión y en 1,43% a flexión.

El contenido de vacíos de diseño del concreto permeable, en todos los casos de estudio es menor comparado con el contenido de vacíos en estado fresco. Y la incorporación de tiras de polipropileno hace que los valores obtenidos del contenido de vacíos en estado fresco tiendan a reducir conforme se incrementa el porcentaje de tiras añadidas.

El coeficiente de permeabilidad determinado para todos los diseños se encuentra dentro del rango definido por el reporte ACI 522, el cual es 1.4 a 12.2 mm/s, por lo que podemos concluir que todos los testigos elaborados cumplen con los requisitos de permeabilidad mínimos establecidos.

Basándonos en el cuarto objetivo específico el diseño de mezcla óptimo que cumple los requisitos mecánicos (esfuerzos de compresión y flexión) e hidráulicos (capacidad de infiltración) para ser utilizado en pavimentos es el No 14 el cual contiene la siguiente dosificación para un metro cúbico: 510 kg de cemento, relación A/C de 0.38, 193 lts de agua, 1322.4 kg de agregado grueso USO No 8 (3/8”), 1.926 kg/m³ de tiras de polipropileno (0.1% del peso del cemento en kg) y 1.845 Lt/m³ de Glenium 7500.

8.3 RECOMENDACIONES

- Para el diseño de mezclas se recomienda utilizar los métodos que proponen el ACI 211.3R-02 “Guía para el Proporcionamiento de Concretos de Cero Slump”, y el ACI 522R-10 “Reporte en Concreto Permeable”.
- Se recomienda emplear en el diseño agregados gruesos de tamaño estándar N° 8 (ASTM C 33), puesto que han demostrado brindar mejores resultados en lo que respecta a la Resistencia a la Compresión.
- De las mezclas preliminares se observó que la relación agua/cemento debe estar entre 0.35 a 0.38, debido a que si esta es mayor a 0.38 la pasta se va hacia el fondo y obstruye la porosidad que se requiere para obtener la permeabilidad deseada, por el contrario, si esta es menor a 0.35 la cantidad de cemento necesario para la liga entre los puntos de contacto de las partículas de agregado es insuficiente.

- Se recomienda la realización de estudios de diseños de mezclas usando agregado grueso de otros tamaños, incorporación 0 a 10% de agregado fino y del uso de otros aditivos reductores de agua plastificantes para observar el comportamiento en las propiedades físico-mecánicas e hidráulicas del concreto permeable.
- De acuerdo a lo observado a lo largo de la investigación, es posible sugerir el uso de tiras con el mismo espesor, pero con un largo mayor, ya que de esta manera se garantizaría una mayor resistencia debida al mayor envolvimiento de la tira sobre el perímetro del agregado.
- Para un adecuado proceso de mezclado del concreto permeable, se recomienda la siguiente secuencia: Vaciar en la mezcladora parte del agua de diseño, seguido del agregado grueso y fino (si fuese considerado), luego el cemento para finalmente añadir tiras de polipropileno y el agua restante.
- Además, se recomienda que el agua sea añadida en forma gradual y sistemática, El tiempo de mezclado recomendado debe ser como mínimo de 2-4 minutos puesto que se trabaja con relaciones agua/cemento bajas (0.38).
- En la elaboración de testigos de concreto permeable, se recomienda distribuir la energía de compactación (32 golpes del martillo de proctor estándar) en 8 golpes cada capa por 4 capas, con el fin de evitar fallas locales al momento de su rotura.
- Para la realización del ensayo de Resistencia a la Compresión, se recomienda utilizar cabeceo con azufre o capping también Pads de Neopreno para tener una distribución uniforme de la fuerza aplicada en los testigos y no provocar fallas locales.

BIBLIOGRAFÍA

- ✓ ACI Committee 522R-06. "Pervious Concrete". American Concrete Institute. Farmington Hills, Mich.
- ✓ ACI Committee 522.1-08. "Specification for Pervious Concrete Pavement". American Concrete Institute. Farmington Hills, Mich.
- ✓ ACI Committee 522R-10. "Report on Pervious Concrete". American Concrete Institute. Farmington Hills, Mich.
- ✓ ACI Committee 330R-01 "Guide for Design and Construction of Concrete Parking Lots". American Concrete Institute. Farmington Hills, Mich.
- ✓ ACI 211.3R – Guía para la Selección de Proporciónamiento de Concreto sin Revenimiento.
- ✓ ASTM C702 – Práctica Estándar para Reducción de las Muestras de Agregado a Tamaños de Prueba.
- ✓ ASTM C136 – Método de Ensayo Estándar para Análisis por Malla de Agregados Grueso y Fino
- ✓ ASTM C33 – Especificación Estándar para Agregados de Concreto.
- ✓ ASTM C29 – Método de Ensayo Estándar para Densidad Bruta (Peso Unitario) y Vacíos en los Agregados.
- ✓ ASTM C127/127M – Método de Ensayo Estándar para Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica), y Absorción del Agregado Grueso.

- ✓ ASTM C566 – Método de Ensayo Estándar para Contenido de Humedad Total del Agregado por Secado.
- ✓ ASTM C 192/192M – Práctica Estándar para Elaboración y Curado en el Laboratorio de Especímenes de Concreto para Ensayo.
- ✓ ASTM C 1688 /1688M – Método de Ensayo Estándar para la Determinación del Contenido de Vacíos y Densidad de la Mezcla de Concreto Permeable en Estado Fresco
- ✓ ASTM C470 – Especificación Estándar de moldes para encofrado vertical de cilindros de concreto
- ✓ ASTM C39/39M – Método de Ensayo Estándar para Esfuerzo de Compresión en Especímenes Cilíndricos de Concreto.
- ✓ ASTM C1231 – Práctica Estándar para Uso de Tapas No Adheridas en la Determinación del Esfuerzo de Compresión de Cilindros de Concreto Endurecido.
- ✓ ASTM C78 – Método de Ensayo Estándar para Resistencia a la Flexión del Concreto (Usado viga simple con Carga a los Tercios del Claro)
- ✓ ASTM C469 Método de Ensayo Estándar para la Determinación del
- ✓ Módulo de Elasticidad Estático del Concreto a CompresiónII.
- ✓ ASTM C1701 – Método de ensayo estándar para la determinación de la tasa de infiltración en concreto permeable in situ

- ✓ ASTM C131 – Método de Ensayo Estándar para la Resistencia al Desgaste de Agregado Grueso de Tamaño Pequeño por Abrasión e Impacto en la Máquina de Los Ángeles.
- ✓ Azañedo Medina, W.; Chávez Juanito, H. y Muñoz Valdivia, R. (2007). Diseño de Mezcla de Concreto Poroso con Agregados de la Cantera la Victoria, Cemento Pórtland Tipo I con Adición de Tiras de Plástico, y su Aplicación en Pavimentos Rígidos, en la Ciudad de Cajamarca. Perú: Universidad Nacional de Cajamarca. (Tesis de Grado).
- ✓ Castro J. (2004). Diseño de mezcla y construcción de pavimentos de hormigón poroso en Chile. Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile. (Tesis de Magister).
- ✓ Castro J., de Solminihac H., Videla C. y Bonifacio Fernández (2009). Estudio de dosificaciones en laboratorio para pavimentos porosos de hormigón. Ingeniería de Construcción vol. 24 N° 3 Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- ✓
- ✓ De Solminihac, H. y Castro, Javier (2002). Pavimentos Porosos de Hormigón: Una opción para mitigar los Efectos de las Aguas Lluvias. BIT.
- ✓ Fernández Arrieta, R. y Navas Carro A. (2008). Diseño de mezclas para evaluar su resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- ✓ NIC-2000, Pág. 257, cuadro 501-1 “dosificaciones y condiciones del concreto para el pavimento.
- ✓ Meininger (1988), No-Fines Pervious Concrete for Paving. Concrete International, Vol. 10, No. 8.
- ✓ Pervious Concrete: Guideline to Mixture Proportioning. National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA). 2009

- ✓ Pervious Concrete: Hydrological Design and Resources. Portland cements Association (PCA), National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA), American Concrete Pavement Association (ACPA). 2007

- ✓ Pérez (2009). Estudio Experimental de Concretos Permeables con Agregados Andesíticos. México: Universidad Nacional Autónoma de México. (Tesis de Grado).

- ✓ Rodríguez Hernández, J. (2008). Estudio, análisis y diseño de secciones permeables de firmes para vías urbanas con un comportamiento adecuado frente a la colmatación y con capacidad portante necesaria para soportar tráfico ligero. Santander: Universidad de Cantabria. (Tesis Doctoral).

ANEXOS

ANEXO 1

HIPOTESIS Y VARIABLES

Una relación de agua-cemento (A/C) optima logra una buena consistencia de la pasta sobre las propiedades de la mezcla y un adecuado porcentaje real de vacíos resulta en una mezcla permeable resistente adecuada para su uso en pavimentos.

1) Variable independiente: La relación agua cemento de la mezcla (A/C).

Variable dependiente: Consistencia de la pasta.

Indicadores:

- a) Une las partículas de agregado sin fluir libremente entre ellos
- b) No cierra la estructura de vacíos entre los agregados.
- c) Trabajabilidad de la mezcla.

2) Variable independiente: El porcentaje real de vacíos.

Variable dependiente: Mezclas permeable resistente.

Indicadores:

- a) Densidad de la mezcla
- b) Permeabilidad del agua
- c) Resistencia del concreto

ANEXO 2

TABLAS DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

DISEÑO No 1

DISEÑO No 2

CILINDRO No	EDAD DIAS	FATIGA		% DE RESIST.	CILINDRO No	EDAD DIAS	FATIGA		% DE RESIST.
		KG	MP				KG	MP	
D-1-M-1	3	63,64	6,24	30,31	D-2-M-26	3	44,06	4,32	20,98
D-1-M-2	3	59,94	5,88	28,54	D-2-M-27	3	42,15	4,13	20,07
D-1-M-3	3	71,21	6,98	33,91	D-2-M-28	3	45,78	4,49	21,80
D-1-M-4	3	56,15	5,50	26,74	D-2-M-29	3	45,16	4,43	21,50
D-1-M-5	3	88,82	8,71	42,29	D-2-M-30	3	40,55	3,98	19,31
D-1-M-6	7	81,76	8,02	38,93	D-2-M-31	7	61,52	6,03	29,30
D-1-M-7	7	77,91	7,64	37,10	D-2-M-32	7	55,68	5,46	26,51
D-1-M-8	7	84,67	8,30	40,32	D-2-M-33	7	58,28	5,71	27,75
D-1-M-9	7	79,29	7,77	37,76	D-2-M-34	7	56,12	5,50	26,73
D-1-M-10	7	78,50	7,70	37,38	D-2-M-35	7	60,49	5,93	28,81
D-1-M-11	28	126,55	12,41	60,26	D-2-M-36	28	87,43	8,57	41,63
D-1-M-12	28	122,38	12,00	58,28	D-2-M-37	28	83,45	8,18	39,74
D-1-M-13	28	123,47	12,10	58,80	D-2-M-38	28	85,47	8,38	40,70
D-1-M-14	28	120,04	11,77	57,16	D-2-M-39	28	83,89	8,22	39,95
D-1-M-15	28	117,37	11,51	55,89	D-2-M-40	28	84,78	8,31	40,37
D-1-M-16	28	121,35	11,90	57,79	D-2-M-41	28	80,10	7,85	38,14
D-1-M-17	28	119,5	11,72	56,90	D-2-M-42	28	84,10	8,25	40,05
D-1-M-18	28	126,75	12,43	60,36	D-2-M-43	28	85,45	8,38	40,69
D-1-M-19	28	120,55	11,82	57,40	D-2-M-44	28	86,50	8,48	41,19
D-1-M-20	28	118,45	11,61	56,40	D-2-M-45	28	81,60	8,00	38,86
D-1-M-21	28	116,35	11,41	55,40	D-2-M-46	28	88,30	8,66	42,05
D-1-M-22	28	122,65	12,02	58,40	D-2-M-47	28	82,50	8,09	39,29
D-1-M-23	28	121,95	11,96	58,07	D-2-M-48	28	88,00	8,63	41,90
D-1-M-24	28	117,25	11,50	55,83	D-2-M-49	28	82,95	8,13	39,50
D-1-M-25	28	123,45	12,10	58,79	D-2-M-50	28	86,75	8,50	41,31

DISEÑO No 3**DISEÑO No 4**

CILINDRO No	EDAD DIAS	FATIGA		% DE RESIST.	CILINDRO No	EDAD DIAS	FATIGA		% DE RESIST.
		KG	MP				KG	MP	
D-3-M-51	3	66,86	6,56	31,84	D-4-M-76	3	61,77	6,06	29,42
D-3-M-52	3	67,85	6,65	32,31	D-4-M-77	3	61,97	6,08	29,51
D-3-M-53	3	61,33	6,01	29,20	D-4-M-78	3	60,69	5,95	28,90
D-3-M-54	3	65,13	6,39	31,01	D-4-M-79	3	62,47	6,12	29,75
D-3-M-55	3	61,80	6,06	29,43	D-4-M-80	3	60,80	5,96	28,95
D-3-M-56	7	93,32	9,15	44,44	D-4-M-81	7	86,20	8,45	41,05
D-3-M-57	7	94,58	9,27	45,04	D-4-M-82	7	84,31	8,27	40,15
D-3-M-58	7	89,18	8,74	42,47	D-4-M-83	7	86,93	8,52	41,39
D-3-M-59	7	91,05	8,93	43,36	D-4-M-84	7	84,06	8,24	40,03
D-3-M-60	7	89,86	8,81	42,79	D-4-M-85	7	83,59	8,19	39,80
D-3-M-61	28	132,99	13,04	63,33	D-4-M-86	28	122,82	12,04	58,49
D-3-M-62	28	129,38	12,68	61,61	D-4-M-87	28	120,55	11,82	57,40
D-3-M-63	28	128,61	12,61	61,24	D-4-M-88	28	123,10	12,07	58,62
D-3-M-64	28	130,66	12,81	62,22	D-4-M-89	28	121,60	11,92	57,91
D-3-M-65	28	131,88	12,93	62,80	D-4-M-90	28	118,71	11,64	56,53
D-3-M-66	28	128,10	12,56	61,00	D-4-M-91	28	116,30	11,40	55,38
D-3-M-67	28	130,00	12,75	61,90	D-4-M-92	28	117,25	11,50	55,83
D-3-M-68	28	135,45	13,28	64,50	D-4-M-93	28	119,35	11,70	56,83
D-3-M-69	28	133,75	13,11	63,69	D-4-M-94	28	118,85	11,65	56,60
D-3-M-70	28	127,40	12,49	60,67	D-4-M-95	28	122,00	11,96	58,10
D-3-M-71	28	129,35	12,68	61,60	D-4-M-96	28	124,65	12,22	59,36
D-3-M-72	28	136,25	13,36	64,88	D-4-M-97	28	121,95	11,96	58,07
D-3-M-73	28	132,15	12,96	62,93	D-4-M-98	28	120,65	11,83	57,45
D-3-M-74	28	126,45	12,40	60,21	D-4-M-99	28	123,35	12,09	58,74
D-3-M-75	28	134,05	13,14	63,83	D-4-M-100	28	124,00	12,16	59,05

DISEÑO No 5

CILINDRO No	EDAD DIAS	FATIGA		% DE RESIST.
		KG	MP	
D-5-M-101	3	70,96	6,96	33,79
D-5-M-102	3	72,68	7,13	34,61
D-5-M-103	3	74,24	7,28	35,35
D-5-M-104	3	71,68	7,03	34,13
D-5-M-105	3	74,02	7,26	35,25
D-5-M-106	7	99,02	9,71	47,15
D-5-M-107	7	102,81	10,08	48,96
D-5-M-108	7	100,47	9,85	47,84
D-5-M-109	7	101,69	9,97	48,43
D-5-M-110	7	99,75	9,78	47,50
D-5-M-111	28	141,14	13,84	67,21
D-5-M-112	28	142,39	13,96	67,80
D-5-M-113	28	139,17	13,64	66,27
D-5-M-114	28	141,92	13,91	67,58
D-5-M-115	28	142,81	14,00	68,00
D-5-M-116	28	138,65	13,59	66,02
D-5-M-117	28	137,85	13,51	65,64
D-5-M-118	28	145,95	14,31	69,50
D-5-M-119	28	143,90	14,11	68,52
D-5-M-120	28	143,10	14,03	68,14
D-5-M-121	28	141,75	13,90	67,50
D-5-M-122	28	140,85	13,81	67,07
D-5-M-123	28	139,45	13,67	66,40
D-5-M-124	28	138,15	13,54	65,79
D-5-M-125	28	140,25	13,75	66,79

DISEÑO No 6

CILINDRO No	EDAD DIAS	FATIGA		% DE RESIST.
		KG	MP	
D-6-M-126	3	64,08	6,28	30,52
D-6-M-127	3	64,86	6,36	30,89
D-6-M-128	3	65,92	6,46	31,39
D-6-M-129	3	63,03	6,18	30,01
D-6-M-130	3	64,20	6,29	30,57
D-6-M-131	7	89,40	8,76	42,57
D-6-M-132	7	90,40	8,86	43,05
D-6-M-133	7	88,40	8,67	42,10
D-6-M-134	7	90,13	8,84	42,92
D-6-M-135	7	88,73	8,70	42,25
D-6-M-136	28	127,41	12,49	60,67
D-6-M-137	28	126,33	12,38	60,16
D-6-M-138	28	118,25	11,59	56,31
D-6-M-139	28	125,38	12,29	59,71
D-6-M-140	28	128,11	12,56	61,00
D-6-M-141	28	122,25	11,99	58,21
D-6-M-142	28	125,00	12,25	59,52
D-6-M-143	28	123,5	12,11	58,81
D-6-M-144	28	120,25	11,79	57,26
D-6-M-145	28	124,45	12,20	59,26
D-6-M-146	28	123,15	12,07	58,64
D-6-M-147	28	124,35	12,19	59,21
D-6-M-148	28	127,20	12,47	60,57
D-6-M-149	28	122,6	12,02	58,38
D-6-M-150	28	128,00	12,55	60,95

DISEÑO No 7

CILINDRO No	EDAD DIAS	FATIGA		% DE RESIST.
		KG	MP	
D-7-M-151	3	97,86	9,59	46,60
D-7-M-152	3	98,80	9,69	47,05
D-7-M-153	3	96,30	9,44	45,86
D-7-M-154	3	96,97	9,51	46,17
D-7-M-155	3	98,39	9,65	46,85
D-7-M-156	7	137,33	13,46	65,40
D-7-M-157	7	138,17	13,55	65,79
D-7-M-158	7	139,78	13,70	66,56
D-7-M-159	7	139,03	13,63	66,20
D-7-M-160	7	138,14	13,54	65,78
D-7-M-161	28	194,96	19,11	92,84
D-7-M-162	28	193,77	19,00	92,27
D-7-M-163	28	195,32	19,15	93,01
D-7-M-164	28	194,57	19,08	92,65
D-7-M-165	28	192,99	18,92	91,90
D-7-M-166	28	190,30	18,66	90,62
D-7-M-167	28	195,75	19,19	93,21
D-7-M-168	28	191,4	18,76	91,14
D-7-M-169	28	193,20	18,94	92,00
D-7-M-170	28	194,80	19,10	92,76
D-7-M-171	28	191,70	18,79	91,29
D-7-M-172	28	198,55	19,47	94,55
D-7-M-173	28	196,45	19,26	93,55
D-7-M-174	28	197,2	19,33	93,90
D-7-M-175	28	196,10	19,23	93,38

DISEÑO No 8

CILINDRO No	EDAD DIAS	FATIGA		% DE RESIST.
		KG	MP	
D-8-M-176	3	96,10	9,42	45,76
D-8-M-177	3	94,69	9,28	45,09
D-8-M-178	3	93,88	9,20	44,70
D-8-M-179	3	95,35	9,35	45,41
D-8-M-180	3	94,91	9,30	45,19
D-8-M-181	7	132,39	12,98	63,04
D-8-M-182	7	133,00	13,04	63,33
D-8-M-183	7	130,72	12,82	62,25
D-8-M-184	7	134,22	13,16	63,91
D-8-M-185	7	133,61	13,10	63,62
D-8-M-186	28	187,55	18,39	89,31
D-8-M-187	28	190,48	18,67	90,71
D-8-M-188	28	191,35	18,76	91,12
D-8-M-189	28	188,74	18,50	89,88
D-8-M-190	28	189,60	18,59	90,29
D-8-M-191	28	181,40	17,78	86,38
D-8-M-192	28	183,25	17,97	87,26
D-8-M-193	28	185,3	18,17	88,24
D-8-M-194	28	183,45	17,99	87,36
D-8-M-195	28	182,55	17,90	86,93
D-8-M-196	28	184,25	18,06	87,74
D-8-M-197	28	186,65	18,30	88,88
D-8-M-198	28	184,85	18,12	88,02
D-8-M-199	28	185,85	18,22	88,50
D-8-M-180	28	188,35	18,47	89,69

DISEÑO No 9

CILINDRO No	EDAD DIAS	FATIGA		% DE RESIST.
		KG	MP	
D-9-M-201	3	93,74	9,19	44,64
D-9-M-202	3	90,88	8,91	43,27
D-9-M-203	3	92,10	9,03	43,86
D-9-M-204	3	90,07	8,83	42,89
D-9-M-205	3	93,02	9,12	44,29
D-9-M-206	7	131,00	12,84	62,38
D-9-M-207	7	129,22	12,67	61,53
D-9-M-208	7	127,83	12,53	60,87
D-9-M-209	7	129,97	12,74	61,89
D-9-M-210	7	128,38	12,59	61,14
D-9-M-211	28	186,72	18,31	88,91
D-9-M-212	28	184,88	18,13	88,04
D-9-M-213	28	182,77	17,92	87,04
D-9-M-214	28	185,50	18,19	88,33
D-9-M-215	28	183,72	18,01	87,48
D-9-M-216	28	178,20	17,47	84,86
D-9-M-217	28	181,30	17,77	86,33
D-9-M-218	28	179,7	17,62	85,57
D-9-M-219	28	180,40	17,69	85,90
D-9-M-220	28	177,45	17,40	84,50
D-9-M-221	28	183,25	17,97	87,26
D-9-M-222	28	181,55	17,80	86,45
D-9-M-223	28	185,85	18,22	88,50
D-9-M-224	28	184,35	18,07	87,79
D-9-M-225	28	177,80	17,43	84,67

DISEÑO No 10

CILINDRO No	EDAD DIAS	FATIGA		% DE RESIST.
		KG	MP	
D-10-M-226	3	90,07	8,83	42,89
D-10-M-227	3	87,79	8,61	41,80
D-10-M-228	3	88,68	8,69	42,23
D-10-M-229	3	86,95	8,52	41,41
D-10-M-230	3	89,21	8,75	42,48
D-10-M-231	7	125,77	12,33	59,89
D-10-M-232	7	124,38	12,19	59,23
D-10-M-233	7	122,49	12,01	58,33
D-10-M-234	7	123,05	12,06	58,59
D-10-M-235	7	123,77	12,13	58,94
D-10-M-236	28	179,30	17,58	85,38
D-10-M-237	28	177,94	17,45	84,73
D-10-M-238	28	178,67	17,52	85,08
D-10-M-239	28	177,33	17,39	84,44
D-10-M-240	28	176,28	17,28	83,94
D-10-M-241	28	169,75	16,64	80,83
D-10-M-242	28	174,30	17,09	83,00
D-10-M-243	28	172,45	16,91	82,12
D-10-M-244	28	176,70	17,32	84,14
D-10-M-245	28	170,50	16,72	81,19
D-10-M-246	28	173,25	16,99	82,50
D-10-M-247	28	171,15	16,78	81,50
D-10-M-248	28	175,35	17,19	83,50
D-10-M-249	28	177,00	17,35	84,29
D-10-M-250	28	175,65	17,22	83,64

DISEÑO No 11

CILINDRO No	EDAD DIAS	FATIGA		% DE RESIST.
		KG	MP	
D-11-M-251	3	106,42	10,43	50,68
D-11-M-252	3	107,70	10,56	51,29
D-11-M-253	3	105,81	10,37	50,39
D-11-M-254	3	108,20	10,61	51,52
D-11-M-255	3	107,26	10,52	51,07
D-11-M-256	7	149,72	14,68	71,30
D-11-M-257	7	149,22	14,63	71,06
D-11-M-258	7	147,84	14,49	70,40
D-11-M-259	7	150,00	14,71	71,43
D-11-M-260	7	148,67	14,58	70,79
D-11-M-261	28	208,70	20,46	99,38
D-11-M-262	28	206,98	20,29	98,56
D-11-M-263	28	209,36	20,53	99,70
D-11-M-264	28	208,31	20,42	99,20
D-11-M-265	28	207,53	20,35	98,83
D-11-M-266	28	200,55	19,66	95,50
D-11-M-267	28	203,35	19,94	96,83
D-11-M-268	28	201,25	19,73	95,83
D-11-M-269	28	205,45	20,14	97,83
D-11-M-270	28	202,65	19,87	96,50
D-11-M-271	28	208,15	20,41	99,12
D-11-M-272	28	209,20	20,51	99,62
D-11-M-273	28	207,10	20,30	98,62
D-11-M-274	28	206,7	20,26	98,43
D-11-M-275	28	205,40	20,14	97,81

DISEÑO No 12

CILINDRO No	EDAD DIAS	FATIGA		% DE RESIST.
		KG	MP	
D-12-M-276	3	106,12	10,40	50,53
D-12-M-277	3	103,78	10,17	49,42
D-12-M-278	3	104,84	10,28	49,92
D-12-M-279	3	103,28	10,13	49,18
D-12-M-280	3	104,20	10,22	49,62
D-12-M-281	7	148,22	14,53	70,58
D-12-M-282	7	149,50	14,66	71,19
D-12-M-283	7	146,95	14,41	69,97
D-12-M-284	7	150,72	14,78	71,77
D-12-M-285	7	148,89	14,60	70,90
D-12-M-286	28	211,36	20,72	100,65
D-12-M-287	28	210,20	20,61	100,09
D-12-M-288	28	208,75	20,47	99,41
D-12-M-289	28	211,47	20,73	100,70
D-12-M-290	28	210,47	20,63	100,23
D-12-M-291	28	203,65	19,97	96,98
D-12-M-292	28	201,65	19,77	96,02
D-12-M-293	28	202,75	19,88	96,55
D-12-M-294	28	204,35	20,03	97,31
D-12-M-295	28	206,55	20,25	98,36
D-12-M-296	28	203,00	19,90	96,67
D-12-M-297	28	202,20	19,82	96,29
D-12-M-298	28	205,80	20,18	98,00
D-12-M-299	28	207,40	20,33	98,76
D-12-M-300	28	209,10	20,50	99,57

DISEÑO No 13

DISEÑO No 14

CILINDRO No	EDAD DIAS	FATIGA		% DE RESIST.
		KG	MP	
D-13-M-301	3	99,22	9,73	47,25
D-13-M-302	3	96,72	9,48	46,06
D-13-M-303	3	95,85	9,40	45,65
D-13-M-304	3	98,14	9,62	46,73
D-13-M-305	3	97,55	9,56	46,45
D-13-M-306	7	138,58	13,59	65,99
D-13-M-307	7	140,08	13,73	66,71
D-13-M-308	7	137,55	13,49	65,50
D-13-M-309	7	138,72	13,60	66,06
D-13-M-310	7	136,86	13,42	65,17
D-13-M-311	28	197,60	19,37	94,09
D-13-M-312	28	195,60	19,18	93,14
D-13-M-313	28	195,66	19,18	93,17
D-13-M-314	28	196,60	19,27	93,62
D-13-M-315	28	197,29	19,34	93,95
D-13-M-316	28	187,90	18,42	89,48
D-13-M-317	28	188,30	18,46	89,67
D-13-M-318	28	189,55	18,58	90,26
D-13-M-319	28	195,45	19,16	93,07
D-13-M-320	28	192,70	18,89	91,76
D-13-M-321	28	194,25	19,04	92,50
D-13-M-322	28	191,45	18,77	91,17
D-13-M-323	28	190,80	18,71	90,86
D-13-M-324	28	193,15	18,94	91,98
D-13-M-325	28	195,30	19,15	93,00

CILINDRO No	EDAD DIAS	FATIGA		% DE RESIST.
		KG	MP	
D-14-M-326	3	111,04	10,89	52,87
D-14-M-327	3	111,93	10,97	53,30
D-14-M-328	3	109,54	10,74	52,16
D-14-M-329	3	110,43	10,83	52,58
D-14-M-330	3	109,65	10,75	52,21
D-14-M-331	7	155,11	15,21	73,86
D-14-M-332	7	155,89	15,28	74,23
D-14-M-333	7	153,78	15,08	73,23
D-14-M-334	7	155,67	15,26	74,13
D-14-M-335	7	154,39	15,14	73,52
D-14-M-336	28	220,85	21,65	105,17
D-14-M-337	28	218,80	21,45	104,19
D-14-M-338	28	216,69	21,24	103,19
D-14-M-339	28	217,25	21,30	103,45
D-14-M-340	28	219,91	21,56	104,72
D-14-M-341	28	215,30	21,11	102,52
D-14-M-342	28	213,20	20,90	101,52
D-14-M-343	28	211,40	20,73	100,67
D-14-M-344	28	210,95	20,68	100,45
D-14-M-345	28	216,25	21,20	102,98
D-14-M-346	28	220,60	21,63	105,05
D-14-M-347	28	219,50	21,52	104,52
D-14-M-348	28	218,35	21,41	103,98
D-14-M-349	28	217,45	21,32	103,55
D-14-M-350	28	220,45	21,61	104,98

ANEXO 3

TABLAS DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA FLEXION

DISEÑO No 1

DISEÑO No 2

VIGUETA No	EDAD DIAS	FATIGA		% DE RESIST.
		KG	MP	
D-1-M-1	3	13,50	1,32	37,50
D-1-M-2	3	12,76	1,25	35,44
D-1-M-3	3	13,70	1,34	38,06
D-1-M-4	3	13,43	1,32	37,31
D-1-M-5	3	14,17	1,39	39,37
D-1-M-6	7	18,22	1,79	50,60
D-1-M-7	7	20,10	1,97	55,84
D-1-M-8	7	18,96	1,86	52,66
D-1-M-9	7	19,83	1,94	55,10
D-1-M-10	7	18,62	1,83	51,73
D-1-M-11	28	25,43	2,49	70,63
D-1-M-12	28	24,28	2,38	67,45
D-1-M-13	28	25,23	2,47	70,07
D-1-M-14	28	26,44	2,59	73,44
D-1-M-15	28	24,96	2,45	69,32
D-1-M-16	28	26,20	2,57	72,78
D-1-M-17	28	22,70	2,23	63,06
D-1-M-18	28	20,00	1,96	55,56
D-1-M-19	28	16,65	1,63	46,25
D-1-M-20	28	19,80	1,94	55,00
D-1-M-21	28	17,55	1,72	48,75
D-1-M-22	28	23,35	2,29	64,86
D-1-M-23	28	22,65	2,22	62,92
D-1-M-24	28	23,75	2,33	65,97
D-1-M-25	28	21,80	2,14	60,56

CILINDRO No	EDAD DIAS	FATIGA		% DE RESIST.
		KG	MP	
D-2-M-26	3	12,35	1,21	34,32
D-2-M-27	3	11,01	1,08	30,57
D-2-M-28	3	12,22	1,20	33,94
D-2-M-29	3	12,02	1,18	33,38
D-2-M-30	3	11,48	1,13	31,88
D-2-M-31	7	17,75	1,74	49,29
D-2-M-32	7	16,67	1,63	46,30
D-2-M-33	7	16,40	1,61	45,55
D-2-M-34	7	17,61	1,73	48,92
D-2-M-35	7	14,98	1,47	41,62
D-2-M-36	28	22,60	2,22	62,77
D-2-M-37	28	21,79	2,14	60,53
D-2-M-38	28	23,35	2,29	64,86
D-2-M-39	28	22,13	2,17	61,46
D-2-M-40	28	23,00	2,26	63,89
D-2-M-41	28	17,25	1,69	47,92
D-2-M-42	28	20,40	2,00	56,67
D-2-M-43	28	18,30	1,79	50,83
D-2-M-44	28	21,45	2,10	59,58
D-2-M-45	28	19,20	1,88	53,33
D-2-M-46	28	20,75	2,03	57,64
D-2-M-47	28	18,10	1,77	50,28
D-2-M-48	28	16,80	1,65	46,67
D-2-M-49	28	23,50	2,30	65,28
D-2-M-50	28	15,25	1,50	42,36

DISEÑO No 3

CILINDRO No	EDAD DIAS	FATIGA		% DE RESIST.
		KG	MP	
D-3-M-51	3	16,33	1,60	45,36
D-3-M-52	3	15,93	1,56	44,24
D-3-M-53	3	17,00	1,67	47,23
D-3-M-54	3	15,99	1,57	44,43
D-3-M-55	3	16,53	1,62	45,92
D-3-M-56	7	22,26	2,18	61,83
D-3-M-57	7	22,60	2,22	62,77
D-3-M-58	7	21,72	2,13	60,34
D-3-M-59	7	21,79	2,14	60,52
D-3-M-60	7	21,86	2,14	60,71
D-3-M-61	28	29,87	2,93	82,98
D-3-M-62	28	30,95	3,03	85,98
D-3-M-63	28	30,62	3,00	85,04
D-3-M-64	28	31,15	3,05	86,54
D-3-M-65	28	30,35	2,98	84,29
D-3-M-66	28	26,30	2,58	73,06
D-3-M-67	28	28,65	2,81	79,58
D-3-M-68	28	27,5	2,70	76,39
D-3-M-69	28	29,45	2,89	81,81
D-3-M-70	28	30,15	2,96	83,75
D-3-M-71	28	31,25	3,06	86,81
D-3-M-72	28	28,85	2,83	80,14
D-3-M-73	28	27,75	2,72	77,08
D-3-M-74	28	26,3	2,58	73,06
D-3-M-75	28	30,95	3,03	85,97

DISEÑO No 4

CILINDRO No	EDAD DIAS	FATIGA		% DE RESIST.
		KG	MP	
D-4-M-76	3	14,65	1,44	40,68
D-4-M-77	3	15,05	1,48	41,81
D-4-M-78	3	13,97	1,37	38,81
D-4-M-79	3	14,51	1,42	40,31
D-4-M-80	3	14,17	1,39	39,37
D-4-M-81	7	19,09	1,87	53,04
D-4-M-82	7	20,44	2,00	56,78
D-4-M-83	7	19,50	1,91	54,16
D-4-M-84	7	20,04	1,96	55,66
D-4-M-85	7	19,36	1,90	53,79
D-4-M-86	28	27,18	2,66	75,50
D-4-M-87	28	27,79	2,72	77,18
D-4-M-88	28	27,04	2,65	75,12
D-4-M-89	28	26,51	2,60	73,63
D-4-M-90	28	27,65	2,71	76,81
D-4-M-91	28	22,95	2,25	63,75
D-4-M-92	28	25,40	2,49	70,56
D-4-M-93	28	23,6	2,31	65,56
D-4-M-94	28	24,50	2,40	68,06
D-4-M-95	28	22,90	2,25	63,61
D-4-M-96	28	23,65	2,32	65,69
D-4-M-97	28	24,10	2,36	66,94
D-4-M-98	28	22,90	2,25	63,61
D-4-M-99	28	24,7	2,42	68,61
D-4-M-100	28	23,20	2,27	64,44

DISEÑO No 5

CILINDRO No	EDAD DIAS	FATIGA		% DE RESIST.
		KG	MP	
D-5-M-101	3	18,82	1,85	52,29
D-5-M-102	3	19,63	1,92	54,53
D-5-M-103	3	19,09	1,87	53,04
D-5-M-104	3	18,35	1,80	50,98
D-5-M-105	3	17,75	1,74	49,29
D-5-M-106	7	25,83	2,53	71,75
D-5-M-107	7	25,16	2,47	69,88
D-5-M-108	7	26,44	2,59	73,44
D-5-M-109	7	27,04	2,65	75,12
D-5-M-110	7	25,76	2,53	71,57
D-5-M-111	28	36,07	3,54	100,20
D-5-M-112	28	35,13	3,44	97,58
D-5-M-113	28	35,26	3,46	97,96
D-5-M-114	28	35,67	3,50	99,08
D-5-M-115	28	36,61	3,59	101,70
D-5-M-116	28	34,10	3,34	94,72
D-5-M-117	28	31,80	3,12	88,33
D-5-M-118	28	33,40	3,27	92,78
D-5-M-119	28	32,35	3,17	89,86
D-5-M-120	28	34,25	3,36	95,14
D-5-M-121	28	33,30	3,26	92,50
D-5-M-122	28	32,45	3,18	90,14
D-5-M-123	28	31,65	3,10	87,92
D-5-M-124	28	36,15	3,54	100,42
D-5-M-125	28	34,60	3,39	96,11

DISEÑO No 6

CILINDRO No	EDAD DIAS	FATIGA		% DE RESIST.
		KG	MP	
D-6-M-126	3	14,65	1,44	40,68
D-6-M-127	3	15,05	1,48	41,81
D-6-M-128	3	13,97	1,37	38,81
D-6-M-129	3	14,51	1,42	40,31
D-6-M-130	3	14,17	1,39	39,37
D-6-M-131	7	19,09	1,87	53,04
D-6-M-132	7	20,44	2,00	56,78
D-6-M-133	7	19,50	1,91	54,16
D-6-M-134	7	20,04	1,96	55,66
D-6-M-135	7	19,36	1,90	53,79
D-6-M-136	28	31,90	3,13	88,60
D-6-M-137	28	32,50	3,19	90,28
D-6-M-138	28	31,36	3,07	87,10
D-6-M-139	28	32,57	3,19	90,47
D-6-M-140	28	32,23	3,16	89,54
D-6-M-141	28	29,00	2,84	80,56
D-6-M-142	28	27,65	2,71	76,81
D-6-M-143	28	28,20	2,76	78,33
D-6-M-144	28	29,30	2,87	81,39
D-6-M-145	28	27,80	2,73	77,22
D-6-M-146	28	31,50	3,09	87,50
D-6-M-147	28	30,40	2,98	84,44
D-6-M-148	28	30,75	3,01	85,42
D-6-M-149	28	31,85	3,12	88,47
D-6-M-150	28	30,60	3,00	85,00

DISEÑO No 7

CILINDRO No	EDAD DIAS	FATIGA		% DE RESIST.
		KG	MP	
D-7-M-151	3	23,14	2,27	64,28
D-7-M-152	3	21,99	2,16	61,08
D-7-M-153	3	22,73	2,23	63,14
D-7-M-154	3	22,53	2,21	62,58
D-7-M-155	3	23,07	2,26	64,08
D-7-M-156	7	31,22	3,06	86,72
D-7-M-157	7	30,55	3,00	84,86
D-7-M-158	7	31,21	3,06	86,69
D-7-M-159	7	30,75	3,01	85,42
D-7-M-160	7	31,15	3,05	86,53
D-7-M-161	28	43,35	4,25	120,42
D-7-M-162	28	44,70	4,38	124,17
D-7-M-163	28	43,62	4,28	121,17
D-7-M-164	28	43,21	4,24	120,03
D-7-M-165	28	42,41	4,16	117,81
D-7-M-166	28	41,45	4,06	115,14
D-7-M-167	28	40,35	3,96	112,08
D-7-M-168	28	39,75	3,90	110,42
D-7-M-169	28	41,25	4,04	114,58
D-7-M-170	28	42,45	4,16	117,92
D-7-M-171	28	44,15	4,33	122,64
D-7-M-172	28	39,20	3,84	108,89
D-7-M-173	28	44,50	4,36	123,61
D-7-M-174	28	40,75	4,00	113,19
D-7-M-175	28	39,90	3,91	110,83

DISEÑO No 8

CILINDRO No	EDAD DIAS	FATIGA		% DE RESIST.
		KG	MP	
D-8-M-176	3	23,14	2,27	64,28
D-8-M-177	3	22,66	2,22	62,94
D-8-M-178	3	21,86	2,14	60,72
D-8-M-179	3	22,93	2,25	63,69
D-8-M-180	3	23,34	2,29	64,83
D-8-M-181	7	31,15	3,05	86,53
D-8-M-182	7	31,69	3,11	88,03
D-8-M-183	7	30,62	3,00	85,06
D-8-M-184	7	29,94	2,94	83,17
D-8-M-185	7	30,75	3,01	85,42
D-8-M-186	28	43,82	4,30	121,72
D-8-M-187	28	44,43	4,36	123,42
D-8-M-188	28	44,29	4,34	123,03
D-8-M-189	28	44,16	4,33	122,67
D-8-M-190	28	44,70	4,38	124,17
D-8-M-191	28	43,60	4,27	121,11
D-8-M-192	28	40,45	3,97	112,36
D-8-M-193	28	42,75	4,19	118,75
D-8-M-194	28	43,30	4,25	120,28
D-8-M-195	28	41,55	4,07	115,42
D-8-M-196	28	42,40	4,16	117,78
D-8-M-197	28	40,75	4,00	113,19
D-8-M-198	28	41,65	4,08	115,69
D-8-M-199	28	39,95	3,92	110,97
D-8-M-180	28	39,80	3,90	110,56

DISEÑO No 9

CILINDRO No	EDAD DIAS	FATIGA		% DE RESIST.
		KG	MP	
D-9-M-201	3	21,79	2,14	60,53
D-9-M-202	3	21,25	2,08	59,03
D-9-M-203	3	21,86	2,14	60,72
D-9-M-204	3	20,71	2,03	57,53
D-9-M-205	3	21,52	2,11	59,78
D-9-M-206	7	29,87	2,93	82,97
D-9-M-207	7	29,34	2,88	81,50
D-9-M-208	7	28,59	2,80	79,42
D-9-M-209	7	29,07	2,85	80,75
D-9-M-210	7	30,01	2,94	83,36
D-9-M-211	28	42,00	4,12	116,67
D-9-M-212	28	43,35	4,25	120,42
D-9-M-213	28	41,46	4,06	115,17
D-9-M-214	28	42,27	4,14	117,42
D-9-M-215	28	42,95	4,21	119,31
D-9-M-216	28	39,60	3,88	110,00
D-9-M-217	28	38,55	3,78	107,08
D-9-M-218	28	40,25	3,95	111,81
D-9-M-219	28	41,35	4,05	114,86
D-9-M-220	28	43,15	4,23	119,86
D-9-M-221	28	41,80	4,10	116,11
D-9-M-222	28	40,45	3,97	112,36
D-9-M-223	28	38,90	3,81	108,06
D-9-M-224	28	39,50	3,87	109,72
D-9-M-225	28	43,00	4,22	119,44

DISEÑO No 10

CILINDRO No	EDAD DIAS	FATIGA		% DE RESIST.
		KG	MP	
D-10-M-226	3	19,09	1,87	53,03
D-10-M-227	3	18,62	1,83	51,72
D-10-M-228	3	19,03	1,87	52,86
D-10-M-229	3	19,43	1,90	53,97
D-10-M-230	3	18,69	1,83	51,92
D-10-M-231	7	25,83	2,53	71,75
D-10-M-232	7	26,64	2,61	74,00
D-10-M-233	7	26,30	2,58	73,06
D-10-M-234	7	25,90	2,54	71,94
D-10-M-235	7	26,84	2,63	74,56
D-10-M-236	28	39,04	3,83	108,44
D-10-M-237	28	38,09	3,73	105,81
D-10-M-238	28	37,69	3,70	104,69
D-10-M-239	28	38,63	3,79	107,31
D-10-M-240	28	39,17	3,84	108,81
D-10-M-241	28	36,30	3,56	100,83
D-10-M-242	28	35,80	3,51	99,44
D-10-M-243	28	34,25	3,36	95,14
D-10-M-244	28	39,55	3,88	109,86
D-10-M-245	28	34,70	3,40	96,39
D-10-M-246	28	37,45	3,67	104,03
D-10-M-247	28	35,65	3,50	99,03
D-10-M-248	28	36,75	3,60	102,08
D-10-M-249	28	38,80	3,80	107,78
D-10-M-250	28	39,10	3,83	108,61

DISEÑO No 11

CILINDRO No	EDAD DIAS	FATIGA		% DE RESIST.
		KG	MP	
D-11-M-251	3	28,39	2,78	78,86
D-11-M-252	3	28,53	2,80	79,25
D-11-M-253	3	29,87	2,93	82,97
D-11-M-254	3	29,07	2,85	80,75
D-11-M-255	3	30,41	2,98	84,47
D-11-M-256	7	39,24	3,85	109,00
D-11-M-257	7	37,42	3,67	103,94
D-11-M-258	7	37,96	3,72	105,44
D-11-M-259	7	38,63	3,79	107,31
D-11-M-260	7	39,11	3,83	108,64
D-11-M-261	28	55,34	5,43	153,72
D-11-M-262	28	54,13	5,31	150,36
D-11-M-263	28	53,72	5,27	149,22
D-11-M-264	28	54,06	5,30	150,17
D-11-M-265	28	54,40	5,33	151,11
D-11-M-266	28	51,75	5,07	143,75
D-11-M-267	28	51,25	5,02	142,36
D-11-M-268	28	50,65	4,97	140,69
D-11-M-269	28	52,85	5,18	146,81
D-11-M-270	28	51,65	5,06	143,47
D-11-M-271	28	50,35	4,94	139,86
D-11-M-272	28	52,15	5,11	144,86
D-11-M-273	28	54,50	5,34	151,39
D-11-M-274	28	53,25	5,22	147,92
D-11-M-275	28	53,40	5,24	148,33

DISEÑO No 12

CILINDRO No	EDAD DIAS	FATIGA		% DE RESIST.
		KG	MP	
D-12-M-276	3	28,59	2,80	79,42
D-12-M-277	3	29,54	2,90	82,06
D-12-M-278	3	28,53	2,80	79,25
D-12-M-279	3	29,87	2,93	82,97
D-12-M-280	3	29,13	2,86	80,92
D-12-M-281	7	40,32	3,95	112,00
D-12-M-282	7	39,24	3,85	109,00
D-12-M-283	7	39,31	3,85	109,19
D-12-M-284	7	40,65	3,99	112,92
D-12-M-285	7	39,91	3,91	110,86
D-12-M-286	28	56,35	5,52	156,53
D-12-M-287	28	55,48	5,44	154,11
D-12-M-288	28	54,94	5,39	152,61
D-12-M-289	28	56,15	5,50	155,97
D-12-M-290	28	55,41	5,43	153,92
D-12-M-291	28	51,55	5,05	143,19
D-12-M-292	28	53,35	5,23	148,19
D-12-M-293	28	54,45	5,34	151,25
D-12-M-294	28	52,25	5,12	145,14
D-12-M-295	28	51,75	5,07	143,75
D-12-M-296	28	53,15	5,21	147,64
D-12-M-297	28	56,50	5,54	156,94
D-12-M-298	28	55,60	5,45	154,44
D-12-M-299	28	54,40	5,33	151,11
D-12-M-300	28	55,90	5,48	155,28

DISEÑO No 13

CILINDRO No	EDAD DIAS	FATIGA		% DE RESIST.
		KG	MP	
D-13-M-301	3	23,14	2,27	64,28
D-13-M-302	3	22,46	2,20	62,39
D-13-M-303	3	23,07	2,26	64,08
D-13-M-304	3	22,26	2,18	61,83
D-13-M-305	3	23,20	2,27	64,44
D-13-M-306	7	31,90	3,13	88,61
D-13-M-307	7	31,22	3,06	86,72
D-13-M-308	7	32,57	3,19	90,47
D-13-M-309	7	32,23	3,16	89,53
D-13-M-310	7	31,42	3,08	87,28
D-13-M-311	28	44,70	4,38	124,17
D-13-M-312	28	44,43	4,36	123,42
D-13-M-313	28	44,16	4,33	122,67
D-13-M-314	28	45,30	4,44	125,83
D-13-M-315	28	44,63	4,38	123,97
D-13-M-316	28	42,20	4,14	117,22
D-13-M-317	28	40,50	3,97	112,50
D-13-M-318	28	43,45	4,26	120,69
D-13-M-319	28	45,10	4,42	125,28
D-13-M-320	28	42,30	4,15	117,50
D-13-M-321	28	40,70	3,99	113,06
D-13-M-322	28	41,25	4,04	114,58
D-13-M-323	28	43,40	4,25	120,56
D-13-M-324	28	41,70	4,09	115,83
D-13-M-325	28	44,30	4,34	123,06

DISEÑO No 14

CILINDRO No	EDAD DIAS	FATIGA		% DE RESIST.
		KG	MP	
D-14-M-326	3	28,66	2,81	79,61
D-14-M-327	3	29,27	2,87	81,31
D-14-M-328	3	28,53	2,80	79,25
D-14-M-329	3	29,87	2,93	82,97
D-14-M-330	3	29,00	2,84	80,56
D-14-M-331	7	39,37	3,86	109,36
D-14-M-332	7	40,45	3,97	112,36
D-14-M-333	7	39,11	3,83	108,64
D-14-M-334	7	38,57	3,78	107,14
D-14-M-335	7	39,78	3,90	110,50
D-14-M-336	28	55,61	5,45	154,47
D-14-M-337	28	56,28	5,52	156,33
D-14-M-338	28	56,82	5,57	157,83
D-14-M-339	28	56,55	5,54	157,08
D-14-M-340	28	57,09	5,60	158,58
D-14-M-341	28	53,45	5,24	148,47
D-14-M-342	28	52,15	5,11	144,86
D-14-M-343	28	54,25	5,32	150,69
D-14-M-344	28	56,95	5,58	158,19
D-14-M-345	28	57,00	5,59	158,33
D-14-M-346	28	52,40	5,14	145,56
D-14-M-347	28	53,60	5,25	148,89
D-14-M-348	28	54,55	5,35	151,53
D-14-M-349	28	55,20	5,41	153,33
D-14-M-350	28	53,00	5,20	147,22

ANEXO 4

HOJA TECNICA DEL CEMENTO Y ADITIVOS



Fuerte

Cemento Hidráulico



Descripción General

El cemento Holcim Fuerte, es un cemento estructural, utilizado para todo tipo de construcción en donde no se necesita ningún requisito especial. Por sus componentes minerales, como la puzolana le confiere características especiales con mejor resistencia mecánica, mayor durabilidad y mejor manejabilidad a las mezclas de mortero, concreto y suelo cemento.

Aplicaciones

Recomendado en la construcción de cualquier tipo de obra y elementos como:

- ✓ Zapatas y fundaciones.
- ✓ Losas de todo tipo.
- ✓ Columnas.
- ✓ Pisos.
- ✓ Vivienda en general.
- ✓ Edificios.
- ✓ Prefabricados como: Bloques, Adoquines, Loquetas, Postes Armados.
- ✓ Bases estabilizadas con cemento.
- ✓ Drenajes, entre otros.

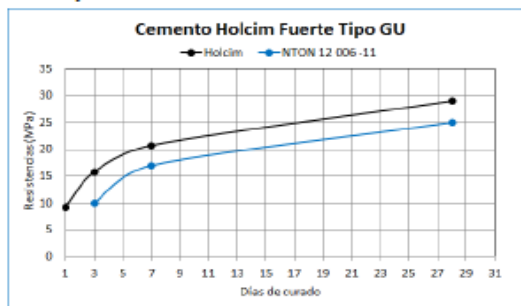
Beneficios de la presencia de Puzolana en el concreto fresco

- ✓ Aumenta la matriz cementante creando un producto más estable, durable e impermeable.
- ✓ Resistente a ambientes agresivos como ataques por aguas ácidas y saladas.
- ✓ Resistente a gases por descomposición y fermentación de materia orgánica.
- ✓ Menor calor por hidratación.

Características generales

Holcim Fuerte es un Cemento Hidráulico de uso general, cumple ampliamente las especificaciones de la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense NTON 12 006- 11, Tipo GU. Disponible en sacos de 42.5 Kg y a Granel.

Desempeño de la resistencia del cemento



Una empresa de
LafargeHolcim

Fuerte

Cemento Hidráulico



Recomendaciones Generales

- ✓ Mantener condiciones de almacenamiento adecuadas para el cemento.
- ✓ Utilizar agua, arena y piedra libres de impurezas.
- ✓ Realizar el diseño de mezcla del concreto o del mortero que corresponda.
- ✓ Durante la preparación de la mezcla controlar la aplicación del agua utilizando la menor cantidad posible mientras sea compatible con la trabajabilidad.
- ✓ Mezclar los materiales el tiempo suficiente hasta obtener una masa uniforme.
- ✓ Realizar un buen proceso de colocación de la mezcla para evitar que se produzca la segregación y conseguir que la masa llene perfectamente todas las esquinas del encofrado y recubra bien el acero de refuerzo.
- ✓ La compactación del concreto deberá realizarse mediante procedimientos adecuados a la consistencia de la mezcla.
- ✓ El curado es fundamental para que el concreto obtenga la resistencia especificada; si esta operación se suspende el crecimiento de resistencia también se detiene. Por ello, el curado deberá realizarse manteniendo húmedas las superficies de los elementos vaciados como mínimo durante los primeros siete días, para evitar la desecación de la masa durante su fraguado y primer endurecimiento.

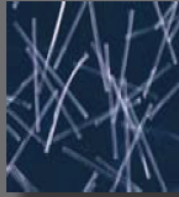
Almacenamiento

El cemento debe almacenarse en ambientes ventilados, libres de humedad y de cambios bruscos de temperatura, para evitar que se humedezca y fragüe.

Para el cemento en bolsa se recomiendan bodegas ventiladas, acopios de no más de 10 bolsas (una sobre otra), que permanezcan aislados del suelo y separados de las paredes. A pesar de que el cemento en sacos almacenado en forma correcta puede conservarse para su utilización hasta un máximo de 60 días, se recomienda a los clientes revisar la fecha de envasado.

**FIBERMESH® 650S**

BY PROPEX

DATOS DEL PRODUCTO · FIBERMESH 650S**Tecnología e3**

La tecnología e3® es otro desarrollo innovador introducido por primera vez por Propex Concrete Systems. Así como los agregados graduados mejoran el hormigón, Fibermesh® 650S con tecnología e3® es una mezcla de fibras en gradación diseñadas para mejorar la distribución y el rendimiento del refuerzo de fibras. Cada paquete de fibras Fibermesh® 650S está diseñado en tres maneras: por longitud, espesor y proporción de mezcla. El resultado es una combinación superior de control de grietas y de rendimiento general del hormigón.

FIBRA MACROSINTÉTICA FIBERMESH® 650S

Fibermesh® 650S es una fibra macrosintética con grado tecnológico que presenta una tecnología patentada e3 y está elaborada a una gradación óptima y altamente orientada a permitir una mayor zona de contacto superficial dentro del hormigón, lo que resulta en una mayor unión de interfaces y la eficiencia en cuanto a la dureza flexional. Fibermesh® 650S se diseña y fabrica específicamente en una planta con certificación ISO9001:2008 para su uso como refuerzo de hormigón, especialmente para aplicaciones de dosis bajas. Cumple con la norma europea EN 14889-2: 2006 Fibras de polímeros: definiciones, especificaciones y conformidad.

VENTAJAS

No es magnética. • No se oxida. • A prueba de álcali. • No se requiere una cantidad mínima para la cobertura del hormigón. • Siempre está posicionada en cumplimiento con los códigos. • Más segura y sencilla de utilizar que los refuerzos tradicionales. • Ahorra tiempo y molestias.

CARACTERÍSTICAS Y BENEFICIOS

- Fibra macrosintética calificada para su uso como refuerzo de hormigón en calidad de alternativa a la tela de alambre de acero tradicional.
- Inhibe la formación de contracción en el plástico y las grietas por asentamiento de plástico.
- Brinda resistencia al impacto, la abrasión y las fracturas.
- Una zona superficial mayor brinda una mayor dureza flexional (resistencia residual).
- Proporciona una durabilidad mejorada.
- Brinda control de la contracción del secado y las grietas por la temperatura.
- Refuerzo bombeable.

APLICACIONES PRINCIPALES

- Hormigón pulverizado.
- Losas con soporte en el suelo.
- Pavimentos externos.
- Carreteras.
- Defensa marina.
- Revestimientos y recubrimientos.
- Pavimentos de aeropuerto.
- Estabilización de pendientes.
- Hormigón prevaciado.

CUMPLIMIENTO

- Cumple con la norma europea EN 14889-2: 2006 Fibras para hormigón, parte 2: Clase II.
- ISO 9001:2008 de Control de calidad
- Cumple con la norma ASTM C 1116 Tipo III 4.1.3

PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS

Longitud de la fibra	Graduada	Resistencia a las tensiones	613 MPa
Tipo	Macro	Resistencia a sales y ácidos	Alta
Absorción	Ninguna	Punto de fusión	162 °C (324 °F)
Gravedad específica	0,91	Punto de ignición	593 °C (1100 °F)
Conductividad eléctrica	Baja	Conductividad térmica	Baja
Módulo de elasticidad	5400 MPa	Resistencia al álcali	A prueba de álcali

USO DEL PRODUCTO

Diseños y procedimientos de mezclado: el refuerzo Fibermesh® 650S es un proceso mecánico, no es un proceso químico. Debido a la eficiencia de las fibras, dependiendo de la aplicación es posible que se requieran pequeñas modificaciones en el diseño de la mezcla. Para obtener recomendaciones, consulte con el representante de Propex Concrete Systems. La fibra macrosintética Fibermesh® 650S se agrega a la mezcla antes, durante o después de elaborar la partida con los demás materiales del hormigón. A la velocidad de mezcla, el tiempo de mezclado requerido es de 5 minutos como mínimo a fin de asegurar la distribución uniforme de las fibras en todo el hormigón.

COLOCACIÓN: el hormigón macrorreforzado Fibermesh® 650S puede bombearse o colocarse utilizando un equipo convencional. Se pueden utilizar reglas niveladoras manuales o vibratorias y reglas niveladoras láser con el hormigón macrorreforzado Fibermesh® 650S.

ACABADO: se puede hacer el acabado del hormigón macrorreforzado Fibermesh® 650S mediante cualquier técnica de acabado.

TASA DE DOSIFICACIÓN: las tasas de dosificación de las fibras Fibermesh® 650S varían de acuerdo con los requisitos de desempeño, pero normalmente se encuentran en el rango de 2,0 a 8,0 kg por metro cúbico. Solamente a modo de guía se pueden utilizar los siguientes valores:

- Veredas, pasajes peatonales y otras publicaciones con carga mínima: 2 a 4 kg/m³.
- Losas de carga en tierra, entradas para autos, estacionamientos y aplicaciones con cargas más altas: 3 a 6 kg/m³.
- Aplicaciones de hormigón pulverizado: 3 a 8 kg/m³.



FIBERMESH® 650S
BY PROPEX

DATOS DEL PRODUCTO · FIBERMESH 650S

COMPATIBILIDAD

Las fibras macrosintéticas Fibermesh® 650S son compatibles con todos los preparados para hormigón y productos químicos para mejorar el desempeño.

SEGURIDAD

Las fibras macrosintéticas Fibermesh® 650S no requieren ningún tipo de manipulación especial. Las hojas de datos de seguridad del material completas están disponibles a solicitud.

EMBALAJE

Las fibras Fibermesh® 650S están disponibles en bolsas de papel degradable de 1,0 kg (7 bolsas/caja), diseñadas para colocarse directamente en la mezcladora de hormigón sin necesidad de ser abiertas. Las fibras macrosintéticas Fibermesh® 650S también están disponibles en paquetes/discos intercalados solubles al agua embalados en cajas de 10 kg. Los materiales deben almacenarse en un lugar fresco y seco. No deben almacenarse en la luz solar directa.

SERVICIOS TÉCNICOS

Propex Concrete Systems cuenta con el respaldo de nuestro equipo de especialistas en hormigón reforzado, quienes pueden analizar cuidadosamente cada proyecto y proporcionar soluciones de diseño de hormigón reforzado con fibras para garantizar un rendimiento y una eficiencia en los costos del proyecto máximos.

DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA

- Norma europea EN 14889-2: 2006 Fibras para hormigón
- ASTM C1116/C1116M, especificación estándar para hormigón reforzado con fibras.
- ASTM C 1399, resistencia residual promedio del hormigón reforzado con fibras.
- ASTM C 1436, especificación estándar de los materiales para el hormigón lanzado.
- ASTM C 1609/C 1609M, método estándar de pruebas del desempeño flexional del hormigón reforzado con fibras (utilizando vigas con carga en tercer eje). Reemplaza a la norma ASTM C 1018.
- ASTM C 1550, método estándar de pruebas de la dureza flexional del hormigón reforzado con fibras (utilizando paneles redondos con carga central).
- JCI-SF4, método estándar de pruebas de la resistencia flexional y la dureza flexional del hormigón reforzado con fibras (utilizando paneles redondos con carga central).



Propex™
simplificando lo complejo

Propex Operating Company, LLC · 1110 Market Street, Suite 300 · Chattanooga, TN 37402 USA

PH: 800-621-1273 · F: 423-899-5005 · PropexGlobal.com

Fibermesh®, Fibercast®, Enduro®, Novomesh®, Novococon®, ArmorMax®, Pyramat®, Landiok®, Geotex®, Petromat®, Petrotac®, and Reflectex™ son marcas registradas de Propex Operating Company, LLC.

Esta publicación no se debe interpretar como sugerencia de Ingeniería. Si bien la información contenida en esta publicación es correcta, a lo mejor de nuestro conocimiento, Propex no garantiza su exactitud o integridad. El cliente final y usuario de este producto deben asumir la completa responsabilidad por la determinación final de lo apropiado de la información y los productos para el uso previsto y real. La única garantía hecha por Propex para estos productos se establece en nuestras hojas de datos del producto, o cualquier otra garantía escrita como se haya acordado entre Propex y los clientes individuales. Propex renuncia específicamente a cualquier otra garantía, expresa o implícita, incluyendo sin limitación, las garantías de comerciabilidad o aptitud para un propósito en particular, o que se deriven de la prestación de muestras, un curso de negociación o uso comercial.

© 2014 Propex Operating Company, LLC



The Chemical Company

GLENIUM® 7500

Aditivo reductor de agua de alto rango

USOS RECOMENDADOS

- Concretos que requieren una reducción de agua entre 5 a 40%
- Aplicaciones donde el control de manejabilidad y tiempos de fraguado sea crítico
- Concretos que requieren una fluidez elevada, mayor estabilidad, resistencia inicial y final altas y durabilidad
- Fabricación de mezclas de concreto Rheodynamic® y autocompactante (SCC)
- Sistemas de Concreto 4x4™ para construcciones rápidas
- Para producción de mezclas de concreto permeables

DESCRIPCIÓN

El aditivo reductor de agua de alto rango GLENIUM 7500 está basado en la nueva tecnología de policarboxilatos de los productos de la serie GLENIUM 7000. Esta tecnología combina un diseño molecular de vanguardia con el conocimiento preciso de las características de los cementos locales para lograr un valor excepcional y preciso en todas las fases del proceso de construcción del concreto.

El aditivo GLENIUM 7500 es muy efectivo en la producción de mezclas de concreto con diferentes niveles de manejabilidad incluyendo aplicaciones que requieran el uso de concreto autocompactante (SCC). El uso del aditivo GLENIUM 7500 proporciona características de fraguado más rápidas como asimismo mejora la resistencia a la compresión inicial.

GLENIUM 7500 cumple con los requisitos de la norma provisional ASTM C494 /C494 M para aditivos Tipo A, (reductores de agua), y tipo F (reductores de agua de alto rango).

CARACTERÍSTICAS

- Excelente desarrollo de resistencia inicial
- Características de control de fraguado
- Optimiza la relación de retención de asentamiento / fraguado
- Mantiene el aire incorporado consistente
- Flexibilidad en la dosificación

VENTAJAS

- Desencofrado más rápido debido al desarrollo acelerado de resistencia temprana
- Reduce costos de mano de obra en acabado debido a la optimización de los tiempos de fraguado

- Usado para acabado rápido de construcciones
- Minimiza la necesidad de ajuste de asentamiento en la obra
- Menor necesidad de supervisión para control de calidad en la obra
- Disminución del concreto rechazado
- Optimiza el costo de las mezclas de concreto

CARACTERÍSTICAS DE DESEMPEÑO

Datos de la mezcla: El concreto producido con el aditivo GLENIUM 7500 alcanza significativamente mayor resistencia en edad temprana que los aditivos reductores de agua de alto rango base policarboxilatos de la primera generación. GLENIUM 7500 también permite la obtención de un equilibrio perfecto entre retención de manejabilidad y ciertas características de fraguado que proporcionan la eficiencia en la colocación y acabado del concreto.

APLICACIÓN

Dosificación

La dosis que se recomienda usar de GLENIUM 7500 está en el rango de 130 a 975 ml/100 kg (2 a 15 oz.fl cada cien libras) de cementante. Para la mayoría de las aplicaciones el rango de dosificación es de 325 - 520 ml/100kg (5-8 fl oz cada cien libras) lo que proporcionará excelente desempeño. Para mezclas de concreto autocompactante y Rheodynamic se pueden utilizar dosificaciones de hasta 780 ml/100 kg (12 fl oz cada cien libras) de cementante.

Es posible que sea necesario cambiar la dosificación debido a las variaciones en los materiales de concreto y de las condiciones y/o aplicaciones en la obra. En tales casos, contacte a su representante local de BASF.

Mezclado

El aditivo GLENIUM 7500 puede adicionarse a la

**Master
Builders**



The Chemical Company

mezcla con el agua inicial o bien posteriormente. Sin embargo, la reducción ideal de agua se obtiene generalmente con una adición posterior.

RECOMENDACIONES

Corrosividad - No contiene cloruros, y no es corrosivo

GLENIUM® 7500 no iniciará ni promoverá la corrosión del acero de refuerzo en el concreto, o en el concreto pretensado ni en el concreto colocado sobre piso de acero galvanizado y sistemas de techos. En su fabricación no se utiliza el cloruro de calcio y tampoco ningún ingrediente en base a cloruro de calcio.

Compatibilidad

GLENIUM 7500 es compatible con la mayoría de los aditivos que se usan para producir un concreto de calidad, incluyendo los reductores de agua de rango normal, de medio rango y alto rango, inclusores de aire, aceleradores, retardadores, controladores de fraguado prolongado, inhibidores de la corrosión y reductores de contracción.

No use GLENIUM 7500 con aditivos base betanaftaleno, ya que pueden ocurrir comportamientos erráticos en la retención de asentamiento, manejabilidad y bombeabilidad de la mezcla.

ALMACENAMIENTO

Temperatura de almacenamiento

GLENIUM 7500 debe almacenarse a temperaturas superiores a los 5°C (40°F). Si GLENIUM 7500 llega a congelarse, descongele y reconstituya por agitación mecánica.

Vida de almacén

GLENIUM 7500 tiene una vida útil mínima de 6 meses, la misma que puede prolongarse dependiendo de las condiciones de almacenamiento. Por favor contacte a su representante de BASF en relación al mejor uso y dosificación si el aditivo tiene más del tiempo de vida especificado.

EMPAQUE

GLENIUM 7500 se suministra en tambores de 208 l (55 gal), contenedores de 1040 l (275 gal) y a granel.

Documentos relacionados

Hoja de Seguridad del Material (MSDS) GLENIUM 7500

Información adicional

Para información adicional sobre este producto o para su uso en el desarrollo de mezclas de concreto con características especiales de desempeño, consulte al representante local de BASF.

BASF Construction Chemicals es líder en el suministro de aditivos innovadores para concreto de especialidad usado en los mercados de premezclado, prefabricados, productos manufacturados de concreto, construcción subterránea y pavimentos. Los productos de la respetada marca Master Builders se usan para mejorar la colocación, bombeabilidad, acabado, estética y características de desempeño del concreto.

BASF Construction Chemicals
23700 Chagrin Blvd
Cleveland, OH, USA, 44122
1-216-839-7550

México 55-5899-3984 www.basf-cc.com.mx	Guadalajara 33-3811-7335	Monterrey 81-8335-4425	Mérida 999-925-6127	Tijuana 664-686-6655
Costa Rica 506-2440-9110 www.centroamerica.basf-cc.com	Panamá 507-300-1360	Puerto Rico 1-787-258-2737 www.caribbean.basf-cc.com	Rep. Dominicana 809-334-1026 www.basf-cc.com.do	

© Marca registrada de BASF
© 10/2008

ANEXO 5

TABLA ESTADISTICA DE NIVEL DE SIGNIFICANCIA

Probabilidad acumulada inferior para distribución normal N(0,1) www.vaxasoftware.com

μ = Media

σ = Desviación típica

$$P(z \leq z_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{z_0} e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$



Tipificación: $z_0 = \frac{x - \mu}{\sigma}$

z_0	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	z_0
0,0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359	0,0
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753	0,1
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141	0,2
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517	0,3
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879	0,4
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224	0,5
0,6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549	0,6
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852	0,7
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133	0,8
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389	0,9
1,0	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621	1,0
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830	1,1
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015	1,2
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177	1,3
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319	1,4
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441	1,5
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545	1,6
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633	1,7
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706	1,8
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767	1,9
2,0	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817	2,0
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857	2,1
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890	2,2
2,3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916	2,3
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936	2,4
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952	2,5
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964	2,6
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974	2,7
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981	2,8
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986	2,9
3,0	0,99865	0,99869	0,99874	0,99878	0,99882	0,99886	0,99889	0,99893	0,99896	0,99900	3,0
3,1	0,99903	0,99906	0,99910	0,99913	0,99916	0,99918	0,99921	0,99924	0,99926	0,99929	3,1
3,2	0,99931	0,99934	0,99936	0,99938	0,99940	0,99942	0,99944	0,99946	0,99948	0,99950	3,2
3,3	0,99952	0,99953	0,99955	0,99957	0,99958	0,99960	0,99961	0,99962	0,99964	0,99965	3,3
3,4	0,99966	0,99968	0,99969	0,99970	0,99971	0,99972	0,99973	0,99974	0,99975	0,99976	3,4
3,5	0,99977	0,99978	0,99978	0,99979	0,99980	0,99981	0,99981	0,99982	0,99983	0,99983	3,5
3,6	0,99984	0,99985	0,99985	0,99986	0,99986	0,99987	0,99987	0,99988	0,99988	0,99989	3,6
3,7	0,99989	0,99990	0,99990	0,99990	0,99991	0,99991	0,99992	0,99992	0,99992	0,99992	3,7
3,8	0,99993	0,99993	0,99993	0,99994	0,99994	0,99994	0,99994	0,99995	0,99995	0,99995	3,8
3,9	0,99995	0,99995	0,99996	0,99996	0,99996	0,99996	0,99996	0,99996	0,99997	0,99997	3,9

$1-\alpha$	90%	92%	94%	95%	96%	97%	98%	99%
α	10%	8%	6%	5%	4%	3%	2%	1%
$z_{\alpha/2}$	1,645	1,751	1,881	1,960	2,054	2,170	2,326	2,576
z_{α}	1,282	1,405	1,555	1,645	1,751	1,881	2,054	2,326

Siendo:
 $1-\alpha$ = Nivel de confianza
 α = Nivel de significación

ANEXO 6

UBICACIÓN Y MUESTREO DEL BANCO DE MATERIALES PETREO

FIGURA A

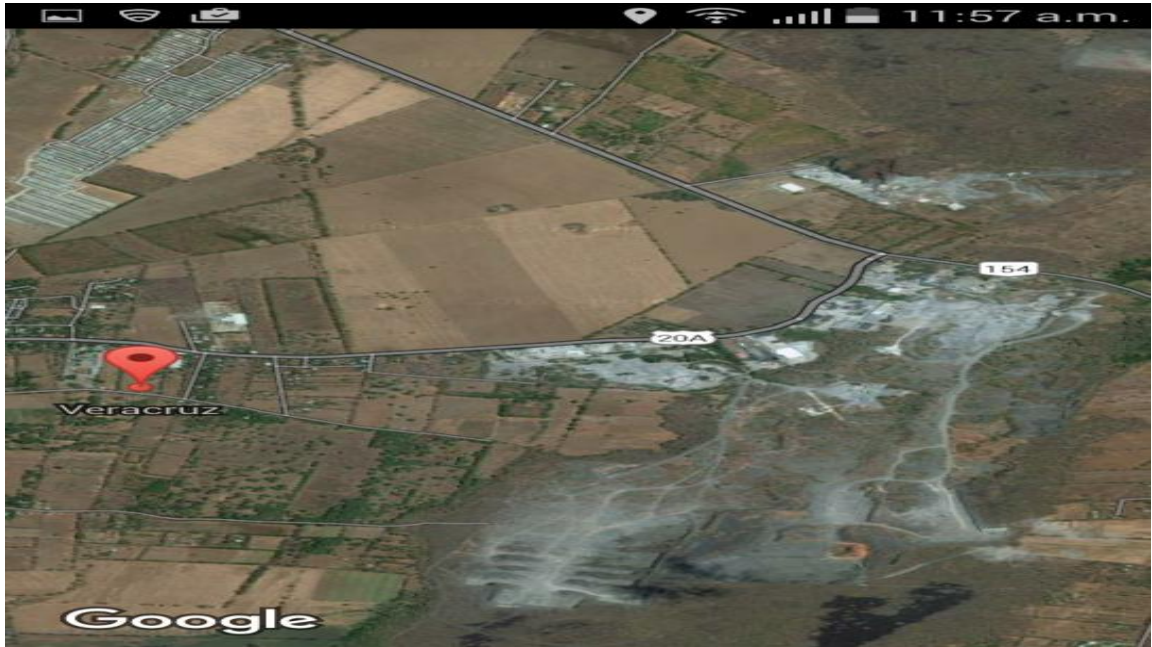


FIGURA B

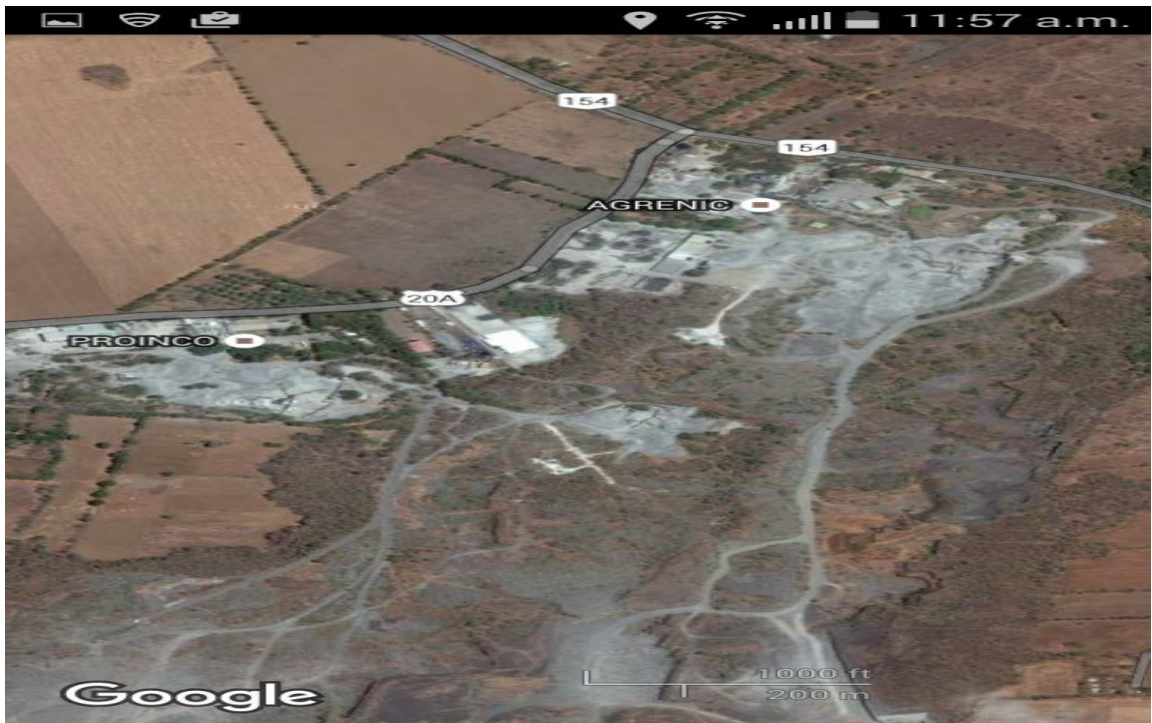


FIGURA C



FIGURA D



FIGURA E



ANEXO 7

DESARROLLO DE LA MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE Y ENSAYO DE PERMEABILIDAD.

FIGURA A



FIGURA B



FIGURA C



FIGURA D



FIGURA E



FIGURA F



FIGURA G



FIGURA H



FIGURA I



FIGURA J



FIGURA K



FIGURA L



FIGURA M



FIGURA N



FIGURA O



FIGURA P



FIGURA Q



FIGURA R



FIGURA S



FIGURA T



FIGURA U



FIGURA V



FIGURA W



FIGURA X



FIGURA Y



FIGURA Z



FIGURA A-1



FIGURA B-1



FIGURA C-1



FIGURA D-1



FIGURA E-1



FIGURA F-1



