

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



MAESTRÍA EN MECÁNICA

(COHORTE 2017)

TEMA:

**“OPTIMIZACIÓN MEDIANTE METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE
RESPUESTA DE LOS PARÁMETROS DE FABRICACIÓN DE
FACHALETAS MEZCLANDO CONCRETO CON TRITURADO DE
TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADO Y SU INCIDENCIA EN
LA RESISTENCIA MECÁNICA”**

Trabajo de Titulación

Previa a la obtención del Grado Académico de Magíster en Mecánica Mención Diseño

Autor: Ing. Willan Pablo Castillo Herrera.

Director: Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas, Mg

Ambato- Ecuador

2020

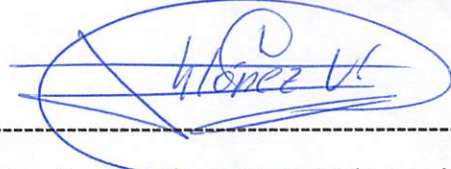
A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica

El tribunal receptor del Trabajo de Titulación presidido por el Ing. Wilson Santiago Medina Robalino, Mg., e integrado por: Ing. Jorge Enrique López Velástegui, Mg., Ing. José Luis Yunapanta Velastegui Mg., designados por la Unidad Académica de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: **“OPTIMIZACIÓN MEDIANTE METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA DE LOS PARÁMETROS DE FABRICACIÓN DE FACHALETAS MEZCLANDO CONCRETO CON TRITURADO DE TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADO Y SU INCIDENCIA EN LA RESISTENCIA MECÁNICA”**, elaborado y presentado por el señor: Ing. Willan Pablo Castillo Herrera, para optar por el Grado Académico de Magister en Mecánica Mención Diseño; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.



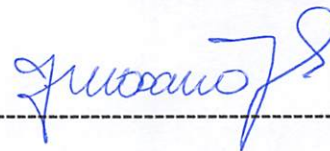
Ing. Wilson Santiago Medina Robalino, Mg.

Presidente del Tribunal



Ing. Jorge Enrique López Velástegui, Mg.

Miembro del Tribunal



Ing. José Luis Yunapanta Velastegui, Mg.

Miembro del Tribunal

AUTORIA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: **“OPTIMIZACIÓN MEDIANTE METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA DE LOS PARÁMETROS DE FABRICACIÓN DE FACHALETAS MEZCLANDO CONCRETO CON TRITURADO DE TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO Y SU INCIDENCIA EN LA RESISTENCIA MECÁNICA”**, le corresponde exclusivamente al: Ingeniero Willan Pablo Castillo Herrera, Autor bajo la Dirección del Ingeniero Juan Gilberto Paredes Salinas, Mg., Director del Trabajo de Titulación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

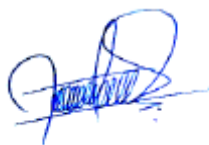
Ing. Willan Pablo Castillo Herrera
C.C. 172391527-6
AUTOR

Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas, Mg.
C.C. 180368317-4
DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de esta, dentro de las regulaciones de la Universidad.



Ing. Willan Pablo Castillo Herrera

C.C. 172391527-6

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, a mis padres, mis hermanos y mi familia

A Dios quien pudo guiarme y protegerme en cada uno de mis viajes realizados cada semana desde la Provincia de Orellana hasta la Provincia de Tungurahua para asistir a clases de la Maestría.

A mis padres Pablo y María por ser mi mayor inspiración en la vida, quienes gracias a su amor, sacrificio y trabajo me ayudaron a concluir este trabajo de titulación y todos los proyectos que me propongo en la vida. Es un orgullo ser uno de sus hijos porque son los mejores padres.

A mis hermanos Alexandra y Darwin por ese cariño infinito que me brindan siempre, ese gran apoyo moral y por siempre acompañarme para poder cumplir con cada uno de mis objetivos planteados.

A mi familia quienes me apoyaron durante todo este tiempo en el cual pude finalizar mis estudios de Posgrado.

Willan Pablo Castillo Herrera

AGRADECIMIENTO

A la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica por ayudarme a cumplir mis estudios de Posgrado.

Al Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas Mg, quien mediante su experiencia en la docencia universitaria me ayudó a desarrollar este tema de investigación de la manera más eficiente.

A mis compañeros de Maestría Oscar, Cristian, Carlos, Esteban y Diego por ser un gran apoyo durante mis estudios de Posgrado.

INDICE DE CONTENIDOS

PÁGINAS PRELIMINARES

TEMA	I
PÁGINA DE APROBACIÓN	II
AUTORIA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	III
DERECHOS DE AUTOR	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
INDICE DE CONTENIDOS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS	XVIII
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XX
RESUMEN EJECUTIVO	XXII
EXECUTIVE SUMMARY.....	XXIII

CAPÍTULO I..... 1

1.1. Tema	1
1.2. Planteamiento del problema.....	1
1.2.1. Contextualización	1
1.2.2. Análisis crítico	2
1.2.3. Prognosis.....	3
1.2.4. Formulación del problema	3
1.2.5. Preguntas directrices	3
1.2.6. Delimitación del problema.....	4
1.3. Justificación	5
1.4. Objetivos	6
1.4.1. General.....	6
1.4.2. Específicos	6

CAPÍTULO II..... 7

2.1. Antecedentes investigativos.....	7
2.2. Fundamentación teórica	12

2.2.1.	Ingeniería de Materiales.....	12
2.2.2.	Diseño de Experimentos	13
2.2.3.	Metodología de superficie de respuesta.....	14
2.2.4.	Materiales Compuestos.....	16
2.2.5.	Fachaletas.....	16
2.2.6.	Resistencia de Materiales.....	17
2.2.7.	Caracterización de Materiales.....	18
2.2.8.	Propiedades Mecánicas	18
2.2.9.	Resistencia mecánica	19
2.2.10.	Máquina Shimadzu- Concreto 2000x	19
2.2.11.	Ensayo de Flexión en 4 puntos	20
2.2.12.	Ensayo de Compresión	22
2.2.13.	Plástico.....	23
2.2.14.	Clasificación de plásticos.....	23
2.2.15.	Botellas de Plástico	24
2.2.16.	Plástico (PET).....	24
2.2.17.	Tereftalato de Polietileno.....	25
2.2.18.	Propiedades del Tereftalato de Polietileno	26
2.2.19.	Reciclaje.....	28
2.2.20.	Plástico reciclado	28
2.2.21.	Materiales de construcción	28
2.2.22.	Concreto.....	28
2.2.23.	Resistencia del concreto a la compresión	29
2.2.24.	Arena.....	30
2.2.25.	Cemento portland.....	31
2.2.26.	Agregados para el concreto.....	31
2.2.27.	Agua para mezclar con el concreto	32
2.2.28.	Dosificación por el Método de Densidades Óptimas.....	32
2.3.	Fundamentación filosófica.....	34
2.4.	Fundamentación legal	34
2.5.	Categorías fundamentales	35
2.6.	Hipótesis	36
2.7.	Señalamiento de Variables.....	36

2.7.1.	Variable independiente	36
2.7.2.	Variable dependiente	36
2.7.3.	Término de relación	36
CAPÍTULO III.....		37
3.1	Enfoque	37
3.2	Modalidad básica de la Investigación	37
3.2.1	Bibliográfico – Documental.....	37
3.2.2	De campo	37
3.3	Nivel o tipo de Investigación	38
3.3.1	Experimental.....	38
3.3.2	Prospectivo.....	38
3.3.3	Longitudinal	39
3.3.4	Analítico.....	39
3.4	Población y muestra.....	39
3.4.1	Población.....	39
3.4.2	Muestra	39
3.5	Operacionalización de variables	42
3.5.1	Variable Independiente:	42
3.6	Recolección de la información.....	43
3.7	Procesamiento y Análisis	45
3.7.1	Plan de Procesamiento.	45
3.7.2	Plan de análisis e interpretación de resultados.....	45
3.8	Recursos	47
3.8.1	Recursos Materiales	47
3.8.2.	Recursos Humanos.....	47
3.8.3.	Recursos financieros	47
CAPÍTULO IV		48
4.1.	Materiales para elaboración de fachaletas	50
4.2.	Resultados de los ensayos de las fachaletas comerciales.....	50
4.3.	Ensayos de caracterización de materiales	51

4.4.	Diseño de mezcla base para las fachaletas.....	54
4.4.1.	Resumen de dosificaciones de prueba realizadas para cilindros de 100 x200 mm	62
4.4.2.	Dosificación de fachaletas	63
4.5.	Construcción del molde para la fachaleta	65
4.6.	Resultados de los ensayos de las fachaletas elaboradas de concreto más la adición de triturado de tereftalato de polietileno reciclado	65
4.7.	Peso de Fachaletas de concreto más adición de triturado de PET reciclado	68
4.8	Optimización mediante metodología de superficies	71
4.9.	Análisis de la Densidad de las fachaletas	71
4.9.1.	Organización de datos.....	71
4.9.2.	Análisis de la varianza	72
4.9.3.	Verificación de supuestos	73
4.9.4.	Gráficas factoriales	75
4.9.5.	Optimización individual.....	77
4.10.	Organización de datos del esfuerzo a flexión, de la deformación a flexión, del esfuerzo a compresión y de la máxima deformación a la compresión.....	78
4.11.	Análisis del esfuerzo a Flexión a 4 puntos.....	79
4.11.1.	Análisis de la varianza	79
4.11.2.	Verificación de supuestos	80
4.11.3.	Gráficas factoriales	82
4.11.4.	Optimización individual.....	84
4.12.	Análisis de la deformación a Flexión a 4 puntos	85
4.12.1.	Análisis de la varianza	85
4.12.2.	Verificación de supuestos	86
4.12.3.	Gráficas factoriales	88
4.12.4.	Optimización individual.....	91
4.13.	Análisis del esfuerzo a Compresión.....	92
4.13.1.	Análisis de la varianza	92
4.13.2.	Verificación de supuestos	93
4.13.3.	Gráficas factoriales	95
4.13.4.	Optimización individual.....	97
4.14.	Análisis de la máxima deformación a la Compresión	98

4.14.1.	Análisis de la varianza	98
4.14.2.	Verificación de supuestos	99
4.14.3.	Gráficas factoriales	102
4.14.4.	Optimización individual.....	104
4.15.	Optimización múltiple	105
4.16.	Validación mediante software el análisis de flexión y compresión de las fachaleta	106
4.16.1.	Desarrollo de la fachaleta.....	106
4.16.2.	Desarrollo del molde.....	107
4.16.3.	Selección del material de la fachaleta	107
4.16.4.	Ensayo virtual de flexión a 4 puntos de una fachaleta compuesta de concreto más la adición de triturado de tereftalato de polietileno reciclado.....	111
4.16.5.	Análisis del ensayo a flexión de 4 puntos de la fachaleta.....	112
4.16.6.	Simulación del ensayo a compresión.....	114
4.16.7.	Comparación de resultados de la simulación de flexión.....	116
4.16.8.	Comparación de resultados de la simulación de compresión	117
4.17.	Ensayo virtual del molde a utilizarse en la fabricación de las fachaletas ..	119
4.17.1.	Análisis de resultados del molde de la fachaleta	120
4.18.	Verificación de la Hipótesis.....	121
CAPITULO V.....		123
5.1.	Conclusiones	123
5.2.	Recomendaciones	124
CAPÍTULO VI.....		126
6.1.	Propuesta.....	126
6.1.1.	Datos informativos.....	126
6.2.	Antecedentes de la propuesta.....	126
6.2.1.	Justificación	127
6.2.2.	Objetivos	128
6.2.3.	Análisis de factibilidad	128
6.2.4.	Definiciones	129

6.2.5.	Recolección y tamizado de agregados finos y gruesos	130
6.2.6.	Triturado de tereftalato de polietileno reciclado	134
6.2.7.	Selección del material para el molde	140
6.2.8.	Fabricación del molde	141
6.2.9.	Comparación del esfuerzo máximo a la flexión	143
6.2.10.	Comparación del esfuerzo máximo a la compresión	145
6.2.11.	Comparación del peso de las fachaletas.....	146
6.2.12.	Costo de fabricación de las fachaletas	147
6.2.13.	Comparación de costos entre fachaletas con adición de triturado de PET reciclado y fachaletas comerciales	150
6.3.	Metodología	151
	BIBLIOGRAFÍA	158
	ANEXOS	162

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Ciencia e ingeniería de los materiales	12
Figura 2.2. Diseño de Box-Behnken.....	15
Figura 2.3. Pared recubierta de fachaletas	17
Figura 2.4. Máquina Shimadzu – Concreto 2000x del Laboratorio de Facultad de Civil y Mecánica	19
Figura 2.5. Ensayo a flexión en 4 puntos.....	21
Figura 2.6. Ensayo de compresión en cilindros de concreto.....	22
Figura 2.7. Clasificación de plásticos	23
Figura 2.8. Botellas de tereftalato de polietileno recicladas	24
Figura 2.9. Fórmula química del tereftalato de polietileno.....	25
Figura 2.10. Proceso químico de fabricación del PET.....	25
Figura 2.11. Símbolo del tereftalato de polietileno.....	25
Figura 2.12. Sección transversal de concreto endurecido.....	29
Figura 2.13. Resistencias a la compresión de concretos fabricados con diferentes tipos ASTM de cementos portland en función del tiempo de fraguado.	30
Figura 2.14. Composición química del cemento portland	31
Figura 2.15. Categorías fundamentales.....	35
Figura 3.1. Diagrama de flujo para el desarrollo de la investigación	44
Figura 3.2. Diagrama organización de los datos.....	46
Figura 4.1. Diagrama de flujo para análisis de resultados	49
Figura 4.2. Modelo de fachaleta comercial.....	50
Figura 4.3. Resistencia a los 28 días (MPa) Vs la Relación de W/C.....	56
Figura 4.4. Molde a utilizar para fabricación de fachaletas	65
Figura 4.5. Modelo de fachaleta desarrollada en la investigación	65
Figura 4.6. Ensayo a flexión de fachaleta a 4 puntos, Norma INEN 2554: 2011	66
Figura 4.7. Rotura de fachaletas a flexión, combinación 22 A, 23 A, 24 A.	66
Figura 4.8. Ensayo a compresión de fachaleta, Norma INEN 1573 -2010.....	67
Figura 4.9. Rotura de fachaletas a compresión, combinaciones 39B, 34B, 35B,	68
Figura 4.10. Balanza electrónica Hotcom.....	68
Figura 4.11. Transformada de probabilidad normal de los residuos de la densidad. 73	
Figura 4.12. Ajustes vs residuos de la densidad transformada	74

Figura 4.13. Residuos vs orden de observación de la densidad transformada.....	74
Figura 4.14. Gráfica de efectos principales de la densidad transformada.....	75
Figura 4.15. Efectos de interacción de la densidad transformada.....	76
Figura 4.16. Superficie de la densidad transformada.....	77
Figura 4.17. Optimización de la densidad transformada	78
Figura 4.18. Probabilidad normal de los residuos del esfuerzo a la flexión	80
Figura 4.19. Ajustes vs residuos del esfuerzo a la flexión	81
Figura 4.20. Residuos vs orden de observación del esfuerzo a la flexión	82
Figura 4.21. Efectos principales del esfuerzo a la flexión	82
Figura 4.22. Efectos de interacción de la densidad transformada.....	83
Figura 4.23. Superficie del esfuerzo a la flexión	84
Figura 4.24. Optimización del esfuerzo a la flexión	85
Figura 4.25. Probabilidad normal de los residuos de la deformación a flexión transformada Fuente: Autor	87
Figura 4.26. Ajustes vs residuos de la deformación a flexión transformada	87
Figura 4.27. Residuos vs orden de observación de la deformación a flexión transformada.....	88
Figura 4.28. Gráfica de efectos principales de la deformación a flexión transformada Fuente: Autor	89
Figura 4.29. Efectos de interacción de la deformación a flexión transformada.....	90
Figura 4.30. Superficie de la deformación a flexión transformada.....	91
Figura 4.31. Gráficas de optimización de la deformación a flexión transformada...	91
Figura 4.32. Probabilidad normal de los residuos del esfuerzo a la compresión.....	93
Figura 4.33. Ajustes vs residuos del esfuerzo a compresión	94
Figura 4.34. Residuos vs orden de observación del esfuerzo a compresión.....	94
Figura 4.35. Efectos principales del esfuerzo a compresión.....	95
Figura 4.36. Efectos de interacción del esfuerzo a compresión.....	96
Figura 4.37. Superficie del esfuerzo a compresión	97
Figura 4.38. Optimización del esfuerzo a compresión.....	98
Figura 4.39. Probabilidad normal de los residuos de la deformación a la compresión transformada.....	100
Figura 4.40. Ajustes vs residuos de la deformación a la compresión transformada	101

Figura 4.41. Residuos vs orden de observación de la deformación a la compresión transformada.....	101
Figura 4.42. Efectos principales de la deformación a la compresión transformada	102
Figura 4.43. Efectos de interacción de la deformación a la compresión transformada.	103
Figura 4.44. Superficie de la deformación a la compresión transformada	104
Figura 4.45. Gráficas de optimización de la deformación a la compresión transformada.....	104
Figura 4.46. Optimización múltiple	105
Figura 4.47. Geometría de la fachaleta	106
Figura 4.48. Fachaleta realizada en un software de diseño.....	107
Figura 4.49. Ingreso material con adición de PET triturado en el software de diseño	111
Figura 4.50. Propiedades de los apoyos fijos.....	112
Figura 4.51. Esquema ensayo a flexión 4 puntos.....	113
Figura 4.52. Mallado de la fachaleta realizada en un software de diseño.....	113
Figura 4.53. Calidad de malla de la probeta a flexión	114
Figura 4.54. Esquema del ensayo a compresión	115
Figura 4.55. Mallado de la probeta a compresión.....	115
Figura 4.56. Calidad de malla de la probeta a compresión	116
Figura 4.57. Esfuerzo Von Misses a flexión.....	117
Figura 4.58. Comparación a) ensayo real vs b) ensayo simulado flexión	117
Figura 4.59. Esfuerzo Von Misses a compresión	118
Figura 4.60. Comparación a) ensayo real vs b) ensayo simulado compresión	118
Figura 4.61. Ingreso del material del molde en el software de diseño.....	119
Figura 4.62. Geometría del molde de la fachaleta realizada en un software de diseño	119
Figura 4.63. Calidad de malla del molde	120
Figura 4.64. Esfuerzo equivalente de Von Misses del molde.....	120
Figura 4.65. Deformación total del molde	121
Figura 6.1. Arena de la cantera Copeto C. LTDA de 3mm	130
Figura 6.2. Ubicación de la cantera San Joaquin, Provincia de Cotopaxi	131

Figura 6.3. Zaranda con tamiz de 3mm x 3mm para obtención del agregado de 3mm	131
Figura 6.4. Agregado de 3 mm	132
Figura 6.5. Zaranda para obtención del agregado de 8 mm	132
Figura 6.6. Agregado de 8mm tamizado.....	133
Figura 6.7. Zaranda para obtención del agregado de 11mm.	133
Figura 6.8. Agregado de 11mm tamizado.....	134
Figura 6.9. Máquina recicladora automática de botellas plásticas.....	135
Figura 6.10. Recolección de botellas plásticas de PET.....	135
Figura 6.11. Traslado de botellas plásticas de tereftalato de polietileno	135
Figura 6.12. Separación de tapas y argollas de las botellas recicladas	136
Figura 6.13. Retiro de las etiquetas de las botellas plásticas	136
Figura 6.14. Trituradora de botellas plásticas Nelmor, Modelo G1215 M1	137
Figura 6.15. Proceso de trituración de las botellas plásticas de PET	138
Figura 6.16. Criba utilizada para la obtención de tamaños de tereftalato de polietileno de 6 mm, 8 mm y 14 mm.	138
Figura 6.17. Triturado de PET reciclado de 6mm.	139
Figura 6.18. Triturado de PET reciclado de 8mm.....	139
Figura 6.19. Triturado de PET reciclado de 14mm.	139
Figura 6.20. Lavado del PET de 6mm, 8mm y 14mm.....	140
Figura 6.21. Secado del PET de 6 mm, 8mm y 14mm	140
Figura 6.22. Estructura de madera para realizar el molde de la fachaleta	141
Figura 6.23. Fijación y hermetizado de la estructura del molde para la fachaleta..	142
Figura 6.24. Cálculo del volumen de Artesil 1	142
Figura 6.25. Mezcla de Artesil 1 y el catalizador	142
Figura 6.26. Mezcla de Artesil 1 y catalizador vertido en el molde de la fachaleta	143
Figura 6.27. Fabricación de 6 moldes de Artesil 1 para la elaboración de fachaletas	143
Figura 6.28. Comparativa del esfuerzo máximo a flexión de las fachaletas con adición de triturado de PET reciclado vs fachaleta comercial	144
Figura 6.29. Comparativo esfuerzo máximo a compresión de fachaletas con adición de triturado de PET reciclado vs fachaletas comerciales	145

Figura 6.30. Peso de fachaletas con adición de triturado de PET reciclado vs fachaletas comerciales.....	146
Figura 6.31. Costo de fachaletas con adición de triturado de PET reciclado vs fachaleta comercial.....	151
Figura 6.32. Peso de 2447 gramos de arena de cantera Copeto C. LTDA	154
Figura 6.33. Peso de 1723 gramos de agregado de 3mm de la cantera San Joaquin	154
Figura 6.34. Peso de 106 gramos de triturado de PET reciclado de 14 mm	154
Figura 6.35. Volumen de 949 ml de agua	155
Figura 6.36. Mezcla de materiales para la obtención del material compuesto	155
Figura 6.37. Aplicación de la emulsión de silicona (E-11) en el molde de la fachaleta	156
Figura 6.38. Fabricación de la fachaleta	156
Figura 6.39. Obtención de fachaletas.....	157
Figura 6.40. Almacenamiento de fachaletas	157

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Matriz del diseño de Box-Behnken para tres factores	16
Tabla 2.2. Características de la Máquina Shimadzu – Concreto 2000x.....	20
Tabla 2.3. Propiedades del tereftalato de polietileno (PET)	26
Tabla 2.4. Datos técnicos del polietileno de tereftalato. Industria del plástico.....	27
Tabla 3.1. Diseño de Box-Behnken	40
Tabla 3.2. Diseño de experimentos de la investigación	41
Tabla 3.3. Operacionalización de la variable independiente.....	42
Tabla 3.4. Operacionalización de la variable dependiente.....	43
Tabla 3.5. Presupuesto del desarrollo del tema de investigación.....	47
Tabla 4.1. Materiales empleados para la fabricación de fachaletas	50
Tabla 4.2. Resultados ensayos fachaletas comerciales	51
Tabla 4.3. Ensayos realizados para la dosificación de fachaletas	51
Tabla 4.4. Resumen de datos obtenidos	52
Tabla 4.5. Componentes para las dosificaciones base	55
Tabla 4.6. Componentes para las dosificaciones base	55
Tabla 4.7. Propiedades de materiales a utilizarse en la dosificación de B11_Ar.....	56
Tabla 4.8. Cantidad de pasta	57
Tabla 4.9. Dimensiones de los cilindros para la dosificación del hormigón.....	59
Tabla 4.10. Dosificación al peso de dosificación base para B11_Ar.....	59
Tabla 4.11. Dosificación al peso de 2 cilindros de hormigón con 30% de desperdicio	60
Tabla 4.12. Resumen de dosificaciones de prueba para hormigón base y sustitución de PET.....	62
Tabla 4.13. Dosificaciones por realizarse en las fachaletas	64
Tabla 4.14. Resultados de los ensayos en fachaletas elaboradas	69
Tabla 4.15. Peso de las fachaletas con adición de triturado de PET reciclado	70
Tabla 4.16. Matriz del diseño de Box Behnken	71
Tabla 4.17. Análisis de la varianza de la densidad transformada	72
Tabla 4.18. Matriz del diseño de Box Behnken	78
Tabla 4.19. Análisis de la varianza del esfuerzo a flexión.....	79
Tabla 4.20. Análisis de la varianza de la deformación a flexión transformada	86

Tabla 4.21. Análisis de la varianza del esfuerzo a compresión.....	92
Tabla 4.22. Análisis de la varianza de la deformación a la compresión transformada	99
Tabla 4.23. Punto óptimo global	106
Tabla 4.24. Densidad, módulo de Young y coeficiente de Poisson de las fachaletas	110
Tabla 4.25. Unidades utilizadas en la simulación del ensayo a flexión a 4 puntos.	111
Tabla 6.1. Características técnicas de la trituradora Nelmor, modelo G1215 M1 ..	137
Tabla 6.2. Características físicas del material Artesil 1 y el catalizador.....	140
Tabla 6.3. Propiedades mecánicas del material Artesil 1	141
Tabla 6.4. Esfuerzo máximo a flexión de fachaletas con adición de triturado de PET reciclado y fachaletas comerciales	144
Tabla 6.5. Esfuerzo máximo a compresión de las fachaletas con adición de triturado de PET reciclado y fachaletas comerciales	145
Tabla 6.6. Peso de las fachaletas con adición de triturado de PET reciclado y fachaletas comerciales.....	146
Tabla 6.7. Detalle de costos de materia prima para la fabricación de 90 fachaletas con adición de triturado de PET reciclado	147
Tabla 6.8. Costo de la mano de obra para la fabricación de las fachaletas con adición de triturado de PET reciclado.....	148
Tabla 6.9. Costo de la mano de la maquinaria y equipos para la fabricación de las fachaletas con adición de triturado de PET reciclado	149
Tabla 6.10. Costos totales para la fabricación de las fachaletas con adición de triturado de PET reciclado	149
Tabla 6.11. Costo por fachaleta fabricada vs comercial	150
Tabla 6.12. Características de la emulsión de silicona (E-11)	156

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Densidad cemento hidráulico	162
Anexo 2. Granulometrías	163
Anexo 3. Densidad suelta.....	167
Anexo 4. Capacidad de absorción y contenido de humedad.....	169
Anexo 5. Densidad real	171
Anexo 6. Densidad aparente para mezcla de agregado.....	174
Anexo 7. Dosificaciones base de agregado de 11mm + arena de río.....	177
Anexo 8. Dosificaciones base de agregado de 8mm + arena de río.....	178
Anexo 9. Dosificaciones base de agregado de 3mm + arena de río.....	179
Anexo 10. Combinaciones base C1, Agregado de 11mm, 15% PET de 14mm y 85% arena.	180
Anexo 11. Combinaciones base C2, Agregado de 11mm, 25% PET de 14mm y 75% arena	181
Anexo 12. Combinaciones base C3, Agregado de 8mm, 20% PET de 8mm y 80% arena	182
Anexo 13. Combinaciones base C4, Agregado de 3mm, 25% PET de 6mm y 75% arena	183
Anexo 14. Combinaciones base C5, Agregado de 3mm, 15% PET de 8mm y 85% arena	184
Anexo 15. Combinaciones base C6, Agregado de 3mm, 25% PET de 14mm y 75% arena	185
Anexo 16. Resultados estado fresco de especímenes cilindros de hormigón para mezcla base.....	186
Anexo 17. Resultados de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón para mezcla base.....	188
Anexo 18. Resultados de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón para combinaciones con PET triturado.....	189
Anexo 19. Dosificaciones base para moldes de fachaleta de agregado de 11mm más arena	190
Anexo 20. Dosificaciones base para moldes de fachaleta de agregado de 8mm más arena	191

Anexo 21. Dosificaciones base para moldes de fachaleta de agregado de 3mm más arena	192
Anexo 22. Dosificaciones base realizadas (fotografías)	193
Anexo 23. Combinaciones base (Fotografías)	194
Anexo 24. Planos	198
Anexo 25. Ensayos Realizados	202
Anexo 26. NTE INEN 2554:2011. Determinación de la resistencia a la flexión del hormigón	215
Anexo 27. NTE INEN 1 573:2010. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico.....	222

RESUMEN EJECUTIVO

Los malos hábitos de las personas al reciclar las botellas plásticas de tereftalato de polietileno dan como resultado la contaminación del medio ambiente, se implementó una máquina recicladora de botellas plásticas automática en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, y utilizando una trituradora para botellas plásticas marca Nelmor, Modelo G1215 M1 se procesa el tereftalato de polietileno.

Se realiza variaciones del porcentaje de triturado PET reciclado en la mezcla del 15 - 20 - 25 por ciento, la dimensión entre 6mm - 8mm - 14mm y el agregado de 3mm - 8mm - 11mm, se coloca este material compuesto de concreto más la adición del triturado de PET reciclado en un molde fabricado de Artesil 1 que es un elastómero de silicona. Se fabrican 45 fachaletas y se realizan ensayos de flexión a 4 puntos, luego de 21 días de fabricación de acuerdo a la Norma INEN 2554:2011 varía entre 0.50125 y 1.59958 Megapascal. A 45 fachaletas luego de 21 días de fabricación se realiza el ensayo de compresión de acuerdo a la Norma INEN 1573:2010 y varía entre 1.80700 y 4.31367 Megapascal. Se realiza la optimización mediante metodología de superficie de respuesta utilizando un software estadístico determinando los parámetros óptimos para la fabricación de fachaletas, donde el porcentaje máximo en la mezcla del PET es del 15 por ciento con una dimensión de 14mm y un tamaño del agregado de 6.95mm.

Se recomienda en investigaciones futuras realizar fachaletas de concreto más la adición del triturado de PET reciclado con un porcentaje máximo del 15 por ciento en la mezcla, dimensión de 14mm y del agregado de 7mm, adicionar un pigmento en la mezcla para dar color a la fachaleta.

Descriptorios: Fachaleta, Material Compuesto, Resistencia Mecánica, Reciclaje, Diseño de experimentos (DOE).

EXECUTIVE SUMMARY

People's wrong habits when recycling Polyethylene Terephthalate plastic bottles ends up in environmental pollution, a plastic bottle recycling machine was implemented in Santo Domingo of the Tsáchilas, and using a Nelmor brand plastic bottle crusher, G1215M1 model, Polyethylene Terephthalate is processed.

Crushed recycled PET percentage variations of 15 - 20 – 25 percent are made in the mixture with dimensions between 6mm - 8mm - 14mm and aggregate of 3mm - 8mm - 11mm. This concrete composite material plus the addition of crushed recycled PET are added in a manufactured mold from Artisan 1 that is a silicone elastomer. 45 veneers are manufactured and 4-point flexural tests are made, after 21 days of being manufactured according to INEN 2554:2011 norm, variates between 0,50125 and 1,59958 Megapascal. To the 45 veneers after 21 days of being manufactured, compression tests are made according to the INEN 1573:2010 norm and variates between 1.80700 and 4.31367 Megapascal. An optimization is performed through a surface response methodology using a statistical software, determining the optimal parameters for veneers manufacturing, where the maximum percentage in the PET mix is of 15 percent with a dimension of 14mm and aggregate size of 6,95 mm.

It is recommended in future investigations to make concrete veneers plus the addition of crushed recycled PET with a maximum percentage of 15 percent as a in the mixture, 14 mm dimension and 7 mm aggregate size, and to add a pigment in the mix to give color to the veneers.

KeyWords: Veneers, Composite Material, Mechanical Resistance, Recycling, (DOE) Experimental Design.

CAPÍTULO I

1.1. Tema

“OPTIMIZACIÓN MEDIANTE METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA DE LOS PARÁMETROS DE FABRICACIÓN DE FACHALETAS MEZCLANDO CONCRETO CON TRITURADO DE TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADO Y SU INCIDENCIA EN LA RESISTENCIA MECÁNICA”

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Contextualización

Desde el año de 1950 cuando empezó a surgir el plástico se han producido más de 8000 millones de toneladas en el mundo, de este material se han fabricado todo tipo de botellas de plástico y envases. Es necesario saber que el plástico no es un material natural si no que se fabrica a partir del petróleo, razón por la cual la naturaleza no tiene como procesarlo. De la producción de todo este plástico solo un 9 % se recicla, el 79 % es abandonado en el medio ambiente o también es arrojado en vertederos, el restante 12 % se lo lleva a incineración siendo perjudicial para el medio ambiente porque se liberan toxinas al aire. Es necesario que para evitar el consumo de plástico se adopte medidas de reutilizar envases, caso contrario en el año 2050 se tendrá 12 000 millones de toneladas de residuos plásticos en el mundo [1].

Es preciso conocer el código de identificación de plásticos, el cual ayuda a su reciclaje, pues es un sistema utilizado internacionalmente en el sector industrial y fue creado por la Sociedad de la Industria de Plásticos (SPI) en el año de 1988, con la finalidad de realizar de una manera ordenada y limpia esta actividad [1].

La clasificación de los plásticos de ha desarrollado del 1 al 7 el cual se ubica en el interior del signo de reciclaje el mismo que es un triángulo de flechas en seguimiento.

Para el desarrollo de este tema de investigación se utilizará únicamente el tereftalato de polietileno (PET 1) del cual se fabrican las botellas plásticas, para bebidas. Para la fabricación de bases y paredes se utiliza concreto que es la mezcla de agregados, agua y cemento el cual una vez de solidificarse constituye uno de los materiales de construcción más resistentes. Las variaciones entre sus elementos es lo que determina al concreto sus propiedades mecánicas y de aplicación del material [2].

En los últimos años se han desarrollado materiales compuestos con la finalidad de mejorar sus propiedades cuando se mezclan que las que tienen cuando actúan por separado. Los materiales compuestos están formados por dos materiales distintos sin que se produzca reacción química entre ellos, y también estén constituidos por diferentes estructuras moleculares o fases [3].

1.2.2. Análisis crítico

Actualmente existe una gran cantidad de botellas plásticas de tereftalato de polietileno a nivel mundial las cuales son contaminantes para el Medio Ambiente.

A nivel Nacional no se ha desarrollado materiales compuestos utilizando el tereftalato de polietileno que se obtiene al reciclar las botellas plásticas.

La industria por lo general no ha dado importancia al reciclaje inclusivo y reutilización del tereftalato de polietileno tomando en consideración que las industrias generan millones de toneladas de botellas plásticas.

En las universidades del Ecuador solo se han realizado investigaciones de la utilización del tereftalato de polietileno con concreto en la fabricación de ladrillos. En el desarrollo de esta investigación se procede a realizar un reciclaje inclusivo mediante una máquina recicladora de botellas plásticas de tereftalato de polietileno para la recepción y reciclaje de botellas plásticas, para luego realizar su trituración y posteriormente efectuar la mezcla correspondiente con concreto para desarrollar las fachaletas.

Mediante este análisis se puede dar un mejor aprovechamiento a los plásticos que actualmente se encuentran en gran cantidad en nuestro medio y de esta manera ayudar a la empresa de la construcción con el desarrollo de estas fachaletas. Además, con esta

investigación se pretende minimizar el impacto ambiental, la reducción de plásticos y determinar si es viable tecnológicamente la mezcla de concreto con triturado de tereftalato de polietileno reciclado.

1.2.3. Prognosis

La industria de la construcción en el Ecuador se encuentra desarrollando más tecnologías de materiales cerámicos, esta investigación tiene el desarrollo de un nuevo material compuesto con la unión de un material cerámico que es el concreto y un polímero plástico que es el tereftalato de polietileno, el mismo que se obtiene al reciclar las botellas plásticas. En caso de que no se realice esta investigación y de no poder desarrollar los objetivos planteados en dar una reutilización al Tereftalato de Polietileno todas estas botellas plásticas se arrojarán al medio ambiente y de esta manera se contamina al planeta [4].

Por esta razón se pretende realizar una investigación y reutilizar todo el plástico que se obtiene al reciclar botellas plásticas, en caso de no resolver el problema del reciclaje se tendrá como problema a futuro que todo este plástico que dura aproximadamente 800 años en desintegrarse contamine cada espacio del planeta. El presente tema de investigación es desarrollado con la finalidad de mitigar en cierto porcentaje la contaminación del medio ambiente [1].

1.2.4. Formulación del problema

¿Se podrá fabricar fachaletas optimizando mediante metodología de superficie de respuesta los parámetros de mezcla de la dosificación del concreto con la adición del triturado de tereftalato de polietileno reciclado, asegurando buenas propiedades de Resistencia Mecánica en el desarrollo de un material compuesto y a su vez reduciendo la contaminación de botellas plásticas en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas?

1.2.5. Preguntas directrices

- ¿Cuáles son los mejores parámetros de mezcla para realizar la dosificación del concreto con la adición del triturado de tereftalato de polietileno reciclado para la obtención de fachaletas que se utilizarán en las paredes exteriores de viviendas?

- ¿Cuál es el método del diseño de experimentos mediante metodología de superficie de respuesta para obtener las combinaciones y dosificaciones para obtener la mezcla del concreto con la adición de del triturado de tereftalato de polietileno reciclado para la obtención de fachaletas, y realizar los ensayos de resistencia a la flexión y compresión?
- ¿Cómo se muestran las Propiedades Mecánicas de resistencia a la flexión y compresión de la fachaleta la cual está fabricada mediante la dosificación del concreto con una variación del porcentaje y dimensión del triturado de tereftalato de polietileno reciclado como también la dimensión del agregado?
- ¿Cuáles son los valores óptimos al realizar la optimización de la fachaleta al variar agua, cemento, arena, dimensión del agregado, porcentaje y dimensión del triturado de tereftalato de polietileno reciclado en la dosificación del concreto, mediante el diseño de experimentos por metodología de superficie de respuesta?

1.2.6. Delimitación del problema

1.2.6.1. Delimitación de contenidos

El presente estudio se fundamentó en el campo de la Maestría en Diseño Mecánico en al área de Materiales con los Módulos de Materiales para Ingeniería, Resistencia de Materiales, Diseños de Experimentos y Dosificación de Hormigón, , las cuales son las principales materias y además utilizando fuentes de consulta de libros y textos que se encuentran en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, complementando esta investigación con páginas en internet, artículos, paper y tesis.

1.2.6.2. Delimitación espacial

El tema de investigación se realiza dentro de la Universidad Técnica de Ambato en la Facultad de Mecánica y Civil, Campus Huachi. La recolección de las botellas plásticas, trituración, fabricación del molde y de las fachaletas se realizará en la Provincia de Santo Domingo. la dosificación del concreto más la adición del tereftalato de polietileno reciclado y los ensayos del esfuerzo máximo de flexión a 4 puntos y compresión se realizarán en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato en la ciudad de Ambato – Ecuador.

1.2.6.3. Delimitación temporal

El estudio de investigación se realizará entre los meses correspondidos desde el 29 de junio de 2018 hasta 05 de diciembre de 2019. Tiempos en los cuales se determinará la fiabilidad de desarrollar un material compuesto mediante parámetros de mezcla del concreto con triturado de tereftalato de polietileno reciclado para la fabricación de fachaletas de exteriores para viviendas.

1.3. Justificación

La escasa cultura del reciclaje por parte de la ciudadanía en la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas agrava la contaminación del Medio Ambiente, al igual que la falta de conocimiento para realizar un correcto triturado del Tereftalato de Polietileno origina un desperdicio del mismo, pues es un residuo reciclable.

Esta investigación pretende realizar una mejor alternativa del aprovechamiento del tereftalato de polietileno, el mismo que se obtiene al reciclar las botellas plásticas y posteriormente realizar el proceso de trituración para desarrollar un material compuesto mediante parámetros de mezcla con el concreto. El propósito es realizar la creación de un diseño innovador de fachaletas la misma que permitan ser de gran ayuda para la industria de la construcción. Al desarrollar un material compuesto de concreto y triturado de tereftalato de polietileno reciclado se está reduciendo a un material más ligero y económico el cual ayuda a los requerimientos estructurales en donde se deben colocar las fachaletas. El tema de investigación es factible y su utilización en la industria de la construcción es aplicable porque se reducen recursos y se ayuda a no contaminar el planeta mediante el aprovechamiento del PET. Los resultados obtenidos en este tema de investigación podrán ser utilizados para futuras investigaciones en donde se puede variar las geometrías de las fachaletas y la mezcla del concreto con otros plásticos.

El nivel de la investigación es experimental, una metodología exploratoria y aplicada con un gran aporte de los problemas de donde se emplea un aspecto cuantitativo, en la cual se tienen como resultado la dosificación del concreto con la adición del triturado de Tereftalato de polietileno reciclado para el desarrollo de un material compuesto para la fabricación de fachaletas y evitando la contaminación del Medio Ambiente.

1.4. Objetivos

1.4.1. General

Optimizar mediante metodología de superficie de respuesta los parámetros de mezcla de la dosificación del concreto con la adición del triturado de tereftalato de polietileno (PET) reciclado para determinar un material compuesto en la fabricación de fachaletas y su incidencia en la resistencia mecánica.

1.4.2. Específicos

- Determinar los parámetros de mezcla para realizar la dosificación del concreto con la adición del triturado de PET reciclado para la obtención de fachaletas.
- Realizar el diseño de experimentos mediante la Metodología de Superficie de Respuesta para obtener las diferentes combinaciones y dosificaciones del concreto con la adición del triturado de PET reciclado para la obtención de fachaletas, y realizar los ensayos de resistencia a la flexión y compresión.
- Determinar las propiedades mecánicas de resistencia a la flexión y compresión de la fachaleta a fabricarse mediante la dosificación del concreto con variaciones del porcentaje y dimensión del triturado de PET reciclado, además la dimensión del agregado.
- Establecer los valores de optimización de la fachaleta al variar agua, cemento, arena, dimensión del agregado, dimensión y porcentaje del triturado de PET reciclado en la dosificación del concreto, mediante el diseño de experimentos por Metodología de Superficie de Respuesta.

CAPÍTULO II

2.1. Antecedentes investigativos

Este trabajo de investigación se apoya en investigaciones realizadas con anterioridad por otros autores, a continuación, se presenta una referencia respecto al tema de trabajo.

En el año 2019 Edison Andrés Paguay Córdova realiza una investigación sobre el tema “La adición de botellas plásticas PET en la elaboración de bloques alivianados para viviendas unifamiliares y su efecto en la variación de temperatura y acondicionamiento acústico en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua”, en la cual determina el aporte que tiene el PET al momento de fabricar adoquines alivianados en la variación de temperatura acondicionamiento acústico por medio de la utilización de una cámara hermética. Se fabrican bloques tipo B según la Norma NTE INEN 3066, bajo el Método de Densidades Optimas con la sustitución de porcentajes de 15, 20, 25 y 75% de plástico reemplazando agregado grueso. Y como resultado final se elaboran paredes de 1,0 m x 0.70 m. Se determina que existe una disminución de la resistencia a la compresión en 4, 12, 30 y 50% al momento de la adición del Tereftalato de Polietileno, respecto del bloque comercial. En función a la variación acústica y térmica el adicionar PET en la mezcla es muy factible porque el PET actúa como una barrera al no permitir el paso de calor y ruido. Finalmente determina que la mejor sustitución de PET en la mezcla con el concreto es con un porcentaje del 50% para el ensayo térmico y un 75% para el ensayo acústico [4].

En el año 2017 Evelyn Rosario Echeverría Garro realiza una investigación la cual consiste en la fabricación de “Ladrillos de concreto con plásticos PET reciclado” realizado en la Universidad de Cajamarca, Perú. Para lo cual tuvo como objetivo principal la determinación de las propiedades físico-mecánicas de un ladrillo de concreto con PET reciclado definidos en la norma técnica E.070. La mezcla se varió en porcentajes crecientes de 0 %, 3%, 6% y 9% de hojuelas de plástico PET reciclado a la mezcla de ladrillo de concreto vibrado, obteniendo la fabricación de 4 ladrillos a los cuales se realizó ensayos para determinar sus propiedades físico-mecánicas.

Concluyendo que las propiedades mecánicas de los ladrillos de concreto vibrado al adicionar hojuelas de plástico PET reciclado no mejora, existiendo una disminución máxima de la resistencia a la compresión del ladrillo de 51.5 kg/cm^2 o 31.8% respecto a la muestra del patrón. Las mezclas que se realizan con PET reciclado si cumplen con los requerimientos definidos por la norma E.070:2006 [5].

En el año 2017 Azad A. Mohammed realiza la publicación “Flexural behavior and analysis of reinforced concrete beams made of recycled PET waste concrete” en la investigación se describen los resultados de pruebas y análisis de vigas las cuales se realizan con la mezcla de hormigón armado y residuos de partículas de Polietileno de Tereftalato. En esta investigación se comprobó que al momento de sustituir la arena por partículas de PET reciclado existe una reducción en la resistencia a la compresión en un rango de 12 - 21%. Se produce una reducción moderada de la capacidad de carga y la respuesta a la flexión de carga se modificó ligeramente como resultado de uso de partículas de residuos de PET hasta un 15%. Finalmente se concluye que hasta un 15% de residuos de PET bien graduados se pueden agregar de forma segura para producir este tipo de vigas de hormigón armado [6].

En el año 2016 el Arquitecto Pedro Angumba realizó en la Universidad de Cuenca, Ecuador la investigación de “Ladrillos elaborados con plástico reciclado (PET), para mampostería no portante” en el cual utilizó plástico reciclado para fabricar ladrillos para la construcción de viviendas. Determinó que en Cuenca se generan alrededor de un 22.7% de reciclaje de plástico y no se le da un tratamiento adecuado. Se realizan investigaciones del Tereftalato de polietileno y se descartan efectos nocivos al momento de incluirlos en la mezcla tradicional de cemento, agua y agregado fino. Se desarrollan bloque de 20x16x6 cm para lo cual se sustituye el árido fino por PET en porcentajes de 10%, 25%, 40%, 65%, 70% y se realizan pruebas de acuerdo a lineamientos establecidos por Normas Ecuatorianas, obteniendo como resultado que la mejor mezcla es la que se realiza con una adición de 25% de PET en la mezcla para realizar mampostería no portante [7].

En el año 2016 Brayan Caballero y Orlando Flores realizan en la Universidad de Cartagena, Colombia, la investigación de “Elaboración de Bloques en cemento reutilizando el Plástico Polietileno – Tereftalato (PET) como alternativa sostenible

para la construcción”. Esta alternativa tiene como finalidad sustituir un porcentaje de 12.5%, 25% y 37.5 % de Polietileno de Tereftalato triturado recolectado como desecho para la fabricación de bloques de hormigón de 6 pulgadas utilizando normativas NSR-10 y Normas Técnicas Colombianas NTC del ICONTEC. Los resultados se encontraron factibles por existir una reducción del 2% masa en comparación de los bloques convencionales para la sustitución de 37.5 % de arena. Resistencias superiores para la sustitución de 12.5% y 25% de agregado (3.5 y 3.2 MPa respectivamente) contra la de 0% (2.83 MPa). Económicamente el uso de bloques con PET triturado resulta más económico que un bloque convencional con sustitución del 37.5 % de arena. Los bloques fabricados no cumplieron con la resistencia mínima requerida por las Normas Técnicas Colombianas debido a que estos Valores están por debajo de los 5 MPa para lo cual estos bloques no pueden ser utilizados para mampostería estructural, pero si pueden ser utilizados para construir muros divisores no portantes. Se determinó que la proporción óptima a utilizar para la sustitución del agregado fino es un 10% de PET triturado [8].

En el año 2015 el Ingeniero Adán Silvestre realiza el “Análisis del concreto con Tereftalato de Polietileno (PET) como aditivo para aligerar elementos estructurales” en la Universidad Libre Seccional Pereira, Colombia. Realiza probetas con mezclas de 3%, 5 % y 7% de Tereftalato de Polietileno con respecto a una mezcla normal. En esta investigación se concluye que la variación de los pesos de los cilindros es relativamente poco significativa porque los porcentajes de Tereftalato de Polietileno son muy bajos y también es un material muy liviano. Adicional la hipótesis planteada no cumple los parámetros establecidos por medio de la investigación por motivo que existe la disminución de la Resistencia al aumentar la cantidad de porcentaje de PET en la mezcla [9].

En el año 2015 en la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA- FEPADE de Santa Tecla, El Salvador el Arquitecto Guillermo Zabala realizo la investigación de “Diseño y Desarrollo experimental de materiales de construcción utilizando plástico reciclado” para lo cual realiza la incorporación de plástico y desarrollar la Arquitectura Bioclimática permitiendo diseños innovadores a través de nuevas tecnologías aplicadas en nuevos materiales. Los resultados encontrados en esta investigación mezclando cemento y Polietileno de Tereftalato en proporciones 1.0: 0.50 (1 de

Cemento y 0.50 de Plástico) que la resistencia a la compresión es de 62.66 kg/cm^2 lo cual es un 40% menos que la que tienen los creados con cemento y arena, lo cual se limita a espacios de circulación peatonal. Para esta mezcla se establece que hay una disminución del 11.5% de agua cuando se utiliza concreto – polietileno de tereftalato en relación a una mezcla tradicional de cemento y arena con 175 ml. Estos elementos constructivos son más ecológicos, más livianos, mejoran la acústica y con una suficiente resistencia para la construcción de elementos no estructurales. Los costos de la elaboración de bloques concreto – PET, son los mismos precios que los tradicionales [10].

En el año 2014 Fernando Fraternali, Saverio Spadea, Valentino P. Berardi, realizan la investigación “Effects of recycled PET fibres on the mechanical properties and seawater curing of Portland cement-based concretes” este artículo trata de un estudio experimental sobre las propiedades mecánicas del hormigón, reforzado con fibras de Tereftalato de Polietileno reciclado (RPETFRC) y determinar la durabilidad en un entorno de agua de mar. El concreto de cemento Portland está formado por piedra caliza con una proporción de 0.38 el cual se usa para moldear muestras cúbicas y prismática a la cual se añade 2 fibras de PET diferentes obtenidas por extracción de escamas de Polietileno de Tereftalato recicladas (R-PET). Algunas de las probetas fueron sumergidas en el Mar del puerto de Salerno por un periodo de 6 a 12 meses. Se realizan pruebas de resistencia a la compresión y de flexión de cuatro puntos para investigar las propiedades mecánicas de dichos RPETRC. Los resultados obtenidos para las muestras curadas con agua de mar demuestran que tales condiciones de curado modifican ligeramente la resistencia del primer crack y reduce notablemente la dureza de los RPETRC examinados en la presente investigación [11].

En el año 2011 Billy Hernández realiza la investigación de “Estudio comparativo de la resistencia a la compresión en mezclas de concretos elaborados con materiales de reciclaje: Plástico y llantas” quien realiza una comparación de resistencia a la compresión a las mezclas de concreto que contenían materiales reciclados como es el caso de plástico de botellas PET y material de llantas comparando dichos resultados con una mezcla tradicional. Los materiales se trituraron para obtener partículas lo más pequeñas posibles, las mismas que fueron un 10 % en cada una de las experimentaciones. Los ensayos de asentamiento en el concreto fresco y de resistencia

a las compresiones en probetas cilíndricas se llevaron en función a los lineamientos de las normas ASTM. Obteniendo como resultado que la mezcla con adición de Polietileno de Tereftalato es la más apta para ser usada eventualmente, ya que la reducción en la resistencia fue proporcional a la cantidad de plástico. Las mezclas con materiales de reciclaje, estudiadas, presentan características aptas para usos no estructurales: sin embargo, poseen ventajas que nos sirven para mitigación de daños materiales producidos por este tipo de desechos [12].

En el año 2010 Luis A. Pereira de Oliviera, Joao P. Castro-Gomer realizan la publicación “Physical and mechanical behaviour of recycled PET fibre reinforced mortar”. Este estudio investigó la utilización de las fibras del Tereftalato de Polietileno (PET) el cual se obtiene de las botellas recicladas para reforzar los morteros con fibras. Las fibras se obtuvieron por simple corte mecánico a las botellas y la investigación se llevó a cabo en muestras de mortero de cemento- cal. Se mezclaron diferentes volúmenes de fibras de 0%, 0,5%, 1,0% y 1,5% en mezclas mortero seco para lo cual se midieron las siguientes propiedades mecánicas, flexión, resistencia a la compresión y tenacidad del mortero. Finalmente se concluye que la incorporación de PET mejora significativamente la resistencia a la flexión de los morteros y el volumen máximo de las fibras del PET para obtener una mejor trabajabilidad es de 1.5 % [13].

En el año 2004 D.A. Silva, A.M.Betioli, P.J.P.Gleize, H.R. Roman, L.A. Gómez, J.L.D, Ribeiro. Realiza la investigación “Degradation of recycled PET fibers in Portland cement-based materials”. Para analizar la degradación y durabilidad de las fibras del PET recicladas en materiales con base de cemento Portland para lo cual se probaron mezclas de concreto reforzado con fibra probado hasta 164 días después de la mezcla. Los ensayos que se realizaron en laboratorio son resistencia a la compresión, tracción, flexión, el módulo de elasticidad y tenacidad. Los morteros también fueron analizados por SEM y los resultados obtenidos en la investigación demuestran que las fibras de Polietileno de Tereftalato no tienen mucha influencia significativa en los morteros. Sin embargo, los índices de tenacidad disminuyeron con el tiempo debido a la degradación de fibras de Polietileno de Tereftalato por hidrólisis alcalina cuando está incrustado en la matriz de cemento. Adicional se realizaron Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FT – IR) y análisis SEM de fibras de PET sumergido y mantenido durante 150 días en soluciones alcalinas se pudo apoyar las

conclusiones. Mediante la adición de Polietileno de Tereftalato en los morteros aumenta la dureza durante las pruebas de flexión cuando las fibras están presentes y la tenacidad disminuye con el tiempo [14].

2.2. Fundamentación teórica

En este numeral se dará a conocer los conceptos generales de Ingeniería de Materiales, Diseño de experimentos (DOE) mediante Metodología de Superficie de Respuesta aplicando el Diseño de Box – Behnken, dosificación de concreto por el método de densidades óptimas, proceso de mezclado de concreto con triturado de tereftalato de polietileno reciclado que se obtiene al reciclar las botellas plásticas de tereftalato de polietileno y posteriormente realizar las pruebas de resistencia mecánica de flexión a 4 puntos y compresión de las fachaletas fabricadas.

2.2.1. Ingeniería de Materiales

Su interés se faculta en el empleo de conocimientos de materiales que posteriormente son transformados en productos que la sociedad necesita. El termino de Ingeniería de Materiales se combina con la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. En el conocimiento de los materiales, la ingeniería de los materiales se encuentra en el otro extremo en el cual representa el conocimiento aplicado y no exista una línea divisoria entre las dos [15].

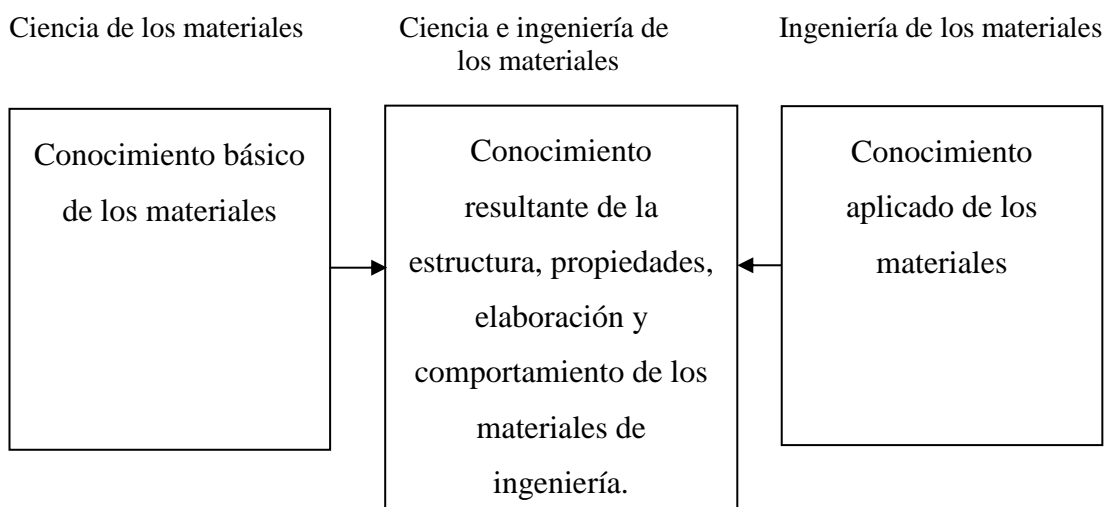


Figura 2.1. Ciencia e ingeniería de los materiales

Fuente: [15]

2.2.2. Diseño de Experimentos

La aplicación de un método científico para generar conocimientos en función de un sistema o proceso, a través de pruebas planeadas debidamente. La metodología poco a poco se ha consolidado como un grupo de técnicas estadísticas y de ingeniería, que tiene como objetivo fundamental permitir y entender mejores situaciones de la relación causa – efecto [16].

El diseño de experimento es la forma más precisa y eficaz de hacer pruebas, lo cual consiste en determinar de mejor manera cuales son las pruebas que se deben de realizar con la finalidad de obtener datos que al momento de ser analizados de manera estadística nos proporcionen evidencias objetivas que permitan responder a interrogantes planteadas y de esta forma clarificar los aspectos inciertos de un proceso, poder resolver un problema y además lograr mejoras. Los problemas típicos que mediante el diseño y el análisis de experimentos que pueden resolverse son los siguientes: [16].

- Comparar dos o más materiales con el fin de elegir el mejor en la investigación.
- Comparar varios instrumentos de medición con la finalidad de verificar si trabajan con la misma precisión y exactitud.
- Determinar los factores (las x vitales) de un proceso que tienen impacto sobre una o más características del producto final.
- Encontrar las condiciones de operación (temperatura, velocidad, humedad) en las que se introduzcan los defectos o se logre un mejor desempeño del proceso.
- Reducir el tiempo de ciclo de un proceso industrial.
- Hacer el proceso insensible o robusto a oscilaciones de variables ambientales.
- Apoyar el diseño o rediseño de nuevos productos o procesos.
- El diseño de experimentos (DOE) es un conjunto de técnicas activas, en el sentido que no esperan que el proceso mande las señales útiles, si no que éste se “manipula” para que proporcione la información que se requiera para su mejora.

El tener conocimientos del diseño de experimentos y otras técnicas estadísticas, en conjunto a los conocimientos del proceso permiten al responsable del mismo como un

observador perceptivo y proactivo quien tiene la capacidad de proponer mejoras en el proceso y en los datos donde otra persona no puede visualizar [16].

El objetivo fundamental del diseño de experimento es planear y realizar un conjunto de pruebas con la finalidad de generar datos que, al momento de ser analizados estadísticamente, nos proporcionen evidencias objetivas las cuales permitan responder por el experimentador sobre determinada situación [16].

2.2.3. Metodología de superficie de respuesta

Este tipo de diseño de experimentos no proporcionan los tratamientos o combinaciones a correr con la finalidad de generar datos los cuales permitan ajustar un modelo el cual describa una variable de respuesta a una región experimental. Los diseños de superficie de respuesta por lo general se utilizan cuando el objetivo es ajustar a un modelo para describir una superficie de respuesta clasificándose en el grado del modelo que se utilice. Las propiedades deseables en los diseños de metodología de superficie de respuesta son los siguientes: [16]

- Que genere una distribución satisfactoria de los puntos experimentales sobre la región experimental. Los diseños que se utilizan más son puntos distribuidos de manera uniforme sobre la región experimental, o cuando menos tienen alguna simetría con respecto al centro de ésta [16].
- Debe tener un número mínimo de corridas experimentales, por motivo que en cada prueba que se realiza se gastan recursos que siempre son escasos [16].
- Debe permitir que otros diseños de orden mayor se construyan a partir de él. Con la finalidad de permitir que cuando el comportamiento de la respuesta resulta ser más complicado de lo que se pensaba (por ejemplo, se detecta curvatura), se agregan puntos adicionales al diseño de experimentos para tratar de explicar ese comportamiento [16].
- El diseño de experimentos debe permitir la detección de la falla de ajuste, para lo cual se requiere repeticiones al menos en el centro del diseño [16].
- Se debe proporcionar un estimador puro de la varianza del error, lo cual se logra con repeticiones al menos en el punto central [16].

- Por lo general otras 2 propiedades deseables en los diseños para superficie de respuesta son la ortogonalidad y la rotabilidad. Estas propiedades siempre aumentan la eficiencia de los diseños que las poseen, con la finalidad que facilitan la interpretación de los parámetros estimados en el modelo y de la superficie de respuesta [16].

Diseño de Box – Behnken

Se aplica por lo general cuando en la investigación se tienen tres o más factores, y suelen ser eficientes en cuanto al número de corridas. Es un diseño de Box – Behnken es rotable o casi rotable, pero se caracteriza porque no incluye como tratamientos a los vértices de la región experimental. En la Tabla 2.1 se muestran los 15 tratamientos del diseño Box- Behnken para tres factores [16].

La representación geométrica (Ver Tabla 2.1) del diseño de Box - Behnken se muestra en la Figura 2.2. Es necesario notar que los puntos de este diseño se ubican en medio de las aristas del cubo centrado en el origen y, como se había señalado, no incluye los tratamientos de los vértices, como él (1,1,1) y el (-1,-1,-1) que en algunas situaciones experimentales resultan extremos y no se pueden correr. Esto hace que los tratamientos o combinaciones de un diseño Box-Behnken sean menos extremos que el factorial completa 3^2 [16].

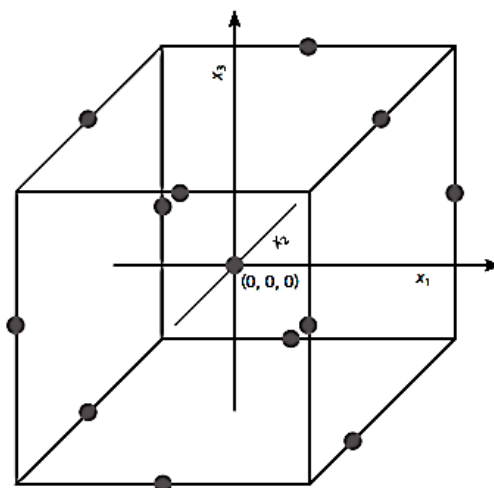


Figura 2.2. Diseño de Box-Behnken

Fuente: [16]

En cualquier tratamiento del diseño de Box-Behnken, al menos uno de los factores se fija en la mitad de su rango de prueba. Lo anterior también ocurre con este diseño para más factores [16].

Tabla 2.1. Matriz del diseño de Box-Behnken para tres factores

Tratamiento	X ₁	X ₂	X ₃	Tratamiento	X ₁	X ₂	X ₃
1	-1	-1	0	9	-1	0	-1
2	1	-1	0	10	1	0	1
3	-1	1	0	11	-1	0	1
4	1	1	0	12	1	0	1
5	0	-1	-1	13	0	0	0
6	0	1	-1	14	0	0	0
7	0	-1	1	15	0	0	0
8	0	1	1				

Fuente: [16]

2.2.4. Materiales Compuestos

Un material compuesto es un sistema de materiales formado por una mezcla o combinación dispuesta de dos o más micro o macro constituyentes con una intracara que los separa, que difieren en forma y composición química y son esencialmente insolubles entre sí. Estos materiales compuestos se forman por la combinación de metales, cerámicos y polímeros [15].

Las categorías de materiales estructurales para ingeniería sean estos metales, cerámicos y polímeros por lo general contienen varios elementos y compuestos que se clasifican de acuerdo a su enlace químico [15].

La importancia que tiene para la ingeniería un material compuesto es que dos o más materiales diferentes se combinan para formar otro nuevo, cuyas propiedades son superiores a las de sus componentes individuales o tienen importancia en algún otro aspecto [15].

2.2.5. Fachaletas

Son productos utilizados en recubrimientos de paredes, barrederas y pisos. Su forma plana define la tendencia y embellece la arquitectura del proyecto (Ver Figura 2.3). Con su utilización se ahorra dinero porque no se tiene que estar pintando las áreas cubiertas por las mismas. Éstas semejan la belleza de los productos como las piedras

y maderas, perfectas para transformar un espacio y crear una atmósfera especial en los espacios interiores y exteriores del hogar, siendo consideradas como un producto versátil [17].



Figura 2.3. Pared recubierta de fachaletas

Fuente: [17]

Pueden combinarse con pisos naturales por su amplia variedad de materiales, texturas, colores y estilo, convirtiéndose en el complemento para la renovación total o parcial de obras de construcción moderna [17].

Recomendaciones para el uso de fachaletas.

- Seleccionar el tipo de fachaleta según el ambiente en que se va a utilizar (interiores o exteriores) [17].
- Escoger un buen enchapador con la finalidad de instalar bien las fachaletas [17].
- Elegir un buen pegante, una buena boquilla apropiada con un color que sea similar a la fachaleta para que el ambiente se vea más real y estéticamente agradable [17].

2.2.6. Resistencia de Materiales

La Resistencia de Materiales amplía el estudio de las fuerzas que se inició en Mecánica, sin embargo, existe una diferencia obvia entre ambas materias. El campo de la mecánica abarca esencialmente las relaciones entre las fuerzas que actúan sobre un sólido indeformable. La estática que estudia a los sólidos en equilibrio, mientras que la dinámica estudia los sólidos acelerados, además se puede establecer el equilibrio dinámico mediante la introducción de las fuerzas de inercia [18].

En diferencia con la mecánica, la resistencia de materiales generalmente estudia y establece las relaciones entre las cargas exteriores aplicadas y sus efectos en el interior de los sólidos. Además, no supone que los sólidos son idealmente indeformables, como en la primera, si no las deformaciones, por pequeñas que sean, tienen gran interés. Las propiedades del material de que se construyen una estructura o una máquina afectan tanto a su elección como a su dueño, ya que se deben satisfacer las condiciones de resistencia y de rigidez [18].

2.2.7. Caracterización de Materiales

Se describe en función a la identificación de un material a partir del estudio de sus propiedades físicas, químicas, estructurales, etc. [18].

Existen diversas técnicas para caracterizar a un material de acuerdo con el interés que genere dicho material. Determinadas las características del material se puede definir la naturaleza del mismo como también su posible uso y aplicación [18].

La caracterización de los materiales se realiza de acuerdo a las siguientes técnicas: [18]

- Difracción de rayos X
- Análisis metalográfico
- Espectrometría

2.2.8. Propiedades Mecánicas

Las Propiedades Mecánicas en los materiales dependen de su composición y microestructura. Se debe conocer la composición de un material, la naturaleza del enlace, la estructura cristalina y los defectos (como dislocaciones, límites de los granos, etc.) poseen una influencia profunda en la resistencia y ductilidad de los materiales metálicos. En esta investigación se investiga el esfuerzo a flexión a 4 puntos, esfuerzo a compresión, deformaciones a flexión y compresión [19].

Adicionalmente se debe conocer otros factores que afecten a las propiedades mecánicas de los materiales como son las temperaturas más bajas que pueden ocasionar a varios metales y plásticos se vuelvan quebradizos [19]. Las propiedades

mecánicas también determinan la facilidad con la cual se puede deformar un material para llegar a una forma útil [20].

2.2.9. Resistencia mecánica

Es la forma en que el material responde a una fuerza aplicada, incluyen resistencia, rigidez y ductilidad. Las propiedades mecánicas también nos permiten conocer el comportamiento de un material al ser expuesto a un golpe repentino e intenso (impacto), sometido a la aplicación de cargas cíclicas en el tiempo (fatiga), expuesto a altas temperaturas (termo fluencia) o sujeto a condiciones abrasivas (desgaste) [20].

2.2.10. Máquina Shimadzu- Concreto 2000x

La máquina Shimadzu – Concreto 2000x es lo último para poder realizar pruebas de flexión y compresión de tipo hidráulico la misma que se muestra en la Figura 2.4.

El equipo está equipado de las siguientes partes: [21].

- ✓ Un control de Procesamiento de alta velocidad
- ✓ Una CPU de alto rendimiento de 32 bits
- ✓ Sistema Circuito cerrado de tipo servo eléctrico accionado por plomería



Figura 2.4. Máquina Shimadzu – Concreto 2000x del Laboratorio de Facultad de Civil y Mecánica

Fuente: Autor

Las características de funcionamiento de la máquina Concreto 2000x son las siguientes: [21].

- ✓ Operación simple de todas las actividades mediante una pantalla táctil grande Control la cual es compatible con el estándar JIS. Esta máquina dispone de una sola pantalla.
- ✓ La unidad de carga es compatible con un hormigón de resistencia alta
- ✓ La máquina dispone de un indicador de aguja el cual es ideal para tomar fotografías, luego de realizar las pruebas.

Tabla 2.2. Características de la Máquina Shimadzu – Concreto 2000x

Parámetros	Valores
Capacidad Máxima	2000 KN
Dimensiones de la placa de compresión superior/inferior	Diámetro de 220 mm
Distancia entre placas de compresión	Máximo de 320 mm
Espaciado de soporte	400 mm
Golpe de Prueba	100 mm
Velocidad Máxima de carga	Máximo de 20 mm/min(60Hz) Máximo de 16 mm/min(60Hz)
Tamaño	860(W) * 700 (D) * 1530(H) mm
Capacidad de la fuente de alimentación: Trifásica, 200/220 V, 50/60 Hz	Aprox. 4 KVA

Fuente: [21]

2.2.11. Ensayo de Flexión en 4 puntos

Flexión es un tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. Un ensayo a flexión es útil para determinar el comportamiento esfuerzo-deformación y también la resistencia a la flexión de un material [22].

En el concreto el ensayo a la flexión (Figura 2.5) es una medida de su resistencia a la tracción expresada generalmente en MPa, que permite además hallar el módulo de rotura y verificar el diseño de una mezcla. También se utiliza para el control de campo y aceptación de pavimentos [22].

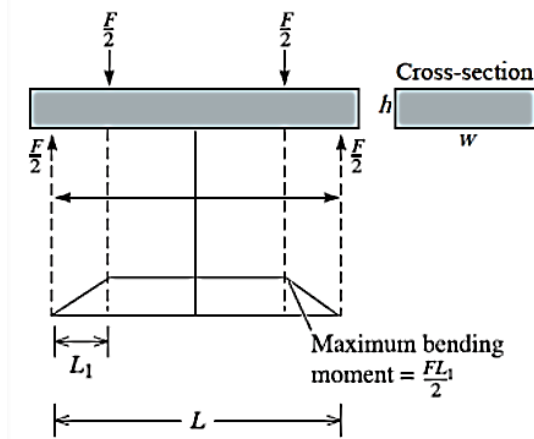


Figura 2.5. Ensayo a flexión en 4 puntos

Fuente: [22]

Un ensayo a flexión a cuatro puntos se caracteriza porque en la zona central de la probeta la cual se encuentra sometida a una tensión uniforme, el momento flector en la parte central es constante. Mediante los conceptos de mecánica de resistencia de Materiales, la tensión máxima de tracción que se puede obtener en la superficie inferior de la probeta se calcula según la siguiente fórmula: [22].

$$\sigma = \frac{3 F(L-t)}{w * h^2} \quad \text{Ec. 2.1}$$

Donde:

F = Fuerza Axial Aplicada de fractura

w = Ancho de la Probeta

h = Espesor de la probeta

t = Distancia entre apoyos superiores

L = Distancia entre apoyos inferiores

Norma para el ensayo de flexión de 4 puntos.

La norma para realizar el ensayo de flexión de 4 puntos se establece en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2554:2011. - Hormigón de cemento hidráulico. determinación de la resistencia a la flexión del hormigón. (utilizando una viga simple con carga en los tercios).

2.2.12. Ensayo de Compresión

Sirve para determinar la resistencia de un material o también su deformación ante un esfuerzo de compresión. La resistencia a la compresión del concreto es una medida de desempeño la cual los emplean los ingenieros para realizar el diseño, la construcción de edificios y grandes estructuras. Para obtener mediadas de resistencia a la compresión se debe romper probetas cilíndricas de concreto en una máquina de compresión, donde la carga de ruptura se divide entre el área de la sección que resiste la carga y se determina en unidades de MPa en el Sistema Internacional [23].

En la Figura 2.6 se muestra una probeta normalizada que se somete a compresión en la máquina.



Figura 2.6. Ensayo de compresión en cilindros de concreto

Fuente: Autor

Para realizar los ensayos de compresión es necesario lo siguiente: [24]

- Aplicar la carga verdaderamente concéntrica o axial.
- La fricción entre los puentes de la máquina o los platos de apoyo y las superficies de los extremos de la probeta deben ser nulos.

El esfuerzo de la compresión se determina por la siguiente formula.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \text{Ec. 2.2}$$

Donde:

F = Fuerza Axial Aplicada

A = Área inicial de la probeta

Norma para el ensayo de compresión

Para el ensayo de compresión se utiliza la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 573:2010.- Hormigón de cemento hidráulico. determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico.

2.2.13. Plástico

Material el cual se puede moldear mediante la presión o el calor, se obtiene por medio de la polimerización de resinas y sustancias obtenidas del petróleo y otros materiales. Es un compuesto nuevo el cual se ha convertido en un material indispensable para todas las personas como también para las industrias [25].

La primera sustancia de plástico se produjo en el año de 1860 pero fue en el siglo XX sobre todo en la segunda década cuando se extendió su estudio y por ende la utilización en grandes y pequeñas industrias. Para lo cual se han desarrollado grandes variedades de plásticos, según su composición, propiedades y fabricación. La clasificación de los plásticos se presenta de la siguiente manera [25].

2.2.14. Clasificación de plásticos

El código de identificación de plásticos por lo general se desconoce, pero es necesario conocer la identificación de los plásticos para diferenciar el reciclaje de plásticos [25].

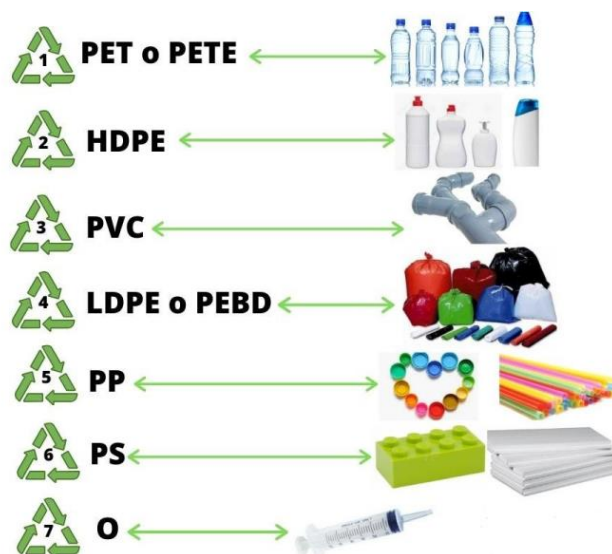


Figura 2.7. Clasificación de plásticos

Fuente: [25]

- **PET (Tereftalato de Polietileno).** El tereftalato de polietileno es un plástico que se produce en su mayoría para la fabricación de botellas plásticas que en su mayoría sirve para el almacenamiento de bebidas. Realizando el proceso de reciclaje del PET, este material nos permite obtener fibras para utilizar en productos como es alfombras, cuerdas y almohadas [25].



Figura 2.8. Botellas de tereftalato de polietileno recicladas

Fuente: [25]

2.2.15. Botellas de Plástico

Recipientes ligeros que se utilizan para la venta de líquidos ya sean estos lácteos, bebidas, o cualquier tipo de líquidos. Tienen grandes ventajas sobre los vidrios porque son más económicos y además tienen gran versatilidad de formas [25].

2.2.16. Plástico (PET)

El plástico de denominación tereftalato de polietileno (PET) es un polímero plástico, lineal, dispone de un alto grado de cristalinidad y de comportamiento termoplástico. Las características del PET son las siguientes [12].

- Alta resistencia y tenacidad.
- Resistentes al desgaste.
- Resistente a productos químicos.
- Buenas propiedades dieléctricas.
- Tiene una baja velocidad de cristalización.
- Puede encontrarse en estado amorfo-transparente o cristalino.

Su fórmula se ilustra en la Figura 2.9

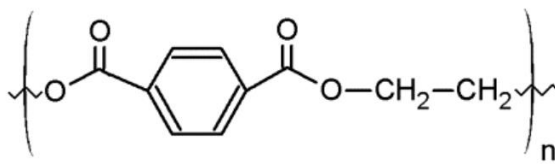


Figura 2.9. Fórmula química del tereftalato de polietileno

Fuente: [12]

El tereftalato de polietileno se obtiene de la condensación del etilenglicol y el ácido tereftálico, el cual asume el papel primario en las fibras y materiales de moldeo [12].

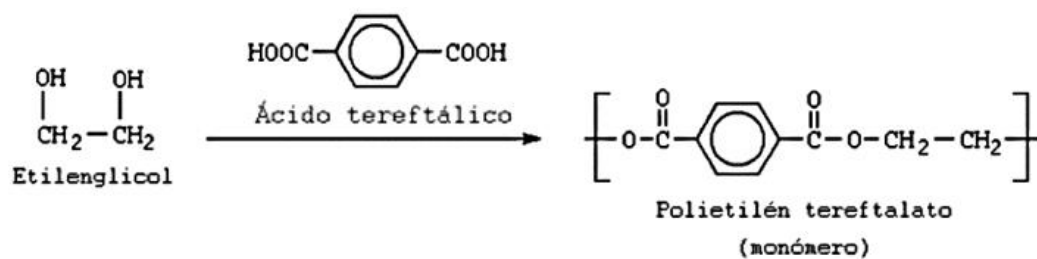


Figura 2.10. Proceso químico de fabricación del PET

Fuente: [12]

2.2.17. Tereftalato de Polietileno

Es un plástico de alta calidad que se identifica con el número 1, o con las siglas PET, está rodeado de 3 flechas en el fondo de los envases fabricados con este material [12].

El PET adquiere una temperatura de transición vítrea baja (temperatura a la cual un polímero amorfo se ablanda), dando la característica que los productos que se fabrican con dicho material no se calienten por encima de esta temperatura, resultando en no poder darse esterilización y posterior reutilización [12].



Figura 2.11. Símbolo del tereftalato de polietileno

Fuente: [12]

Entre algunas de las aplicaciones que tiene el PET, se encuentran: [12]

- Utilización en envases de: bebidas, jugos, vinos, bebidas alcohólicas, productos de limpieza, productos químicos y lubricantes.
- Películas, contenedores alimentarios, cintas de audio/video, fotografía, aplicaciones eléctricas, electrónicas, de rayos X.
- Otros usos: tubos, perfiles, marcos, paredes, construcción, piezas inyectadas.

2.2.18. Propiedades del Tereftalato de Polietileno

Las propiedades físicas del PET con su gran desempeño en diversas especificaciones técnicas, es muy útil y necesario, por lo cual se utiliza en procesos industriales como también en la fabricación de fibras textiles y una inmensidad de envases como lo son botellas plásticas, bandejas y láminas [12].

Tabla 2.3. Propiedades del tereftalato de polietileno (PET)

DATOS TÉCNICOS DEL POLIETILENO - TEREFTALATO (PET)		
PROPIEDADES MECÁNICAS		
Peso específico	134	g/cm ³
Resistencia a la tracción	825	kg/cm ²
Resistencia a la flexión	1450	kg/cm ²
Alargamiento a la rotura	15	%
Módulo de elasticidad (tracción)	28550	kg/cm ²
Resistencia al desgaste por roce	Muy buena	
Absorción de humedad	0.25	%
PROPIEDADES TÉRMICAS		
Temperatura de fusión	255	°C
Conductividad térmica	Baja	
Temperatura de deformabilidad por el calor	170	°C
Temperatura de ablandamiento de vicat	175	°C
Coefficiente de dilatación lineal de 23 a 100 °C	0,00008	mm por °C
PROPIEDADES QUÍMICAS		
Resistencia a álcalis débiles a temperatura ambiente	Buena	
Resistencia a ácidos débiles a temperatura ambiente	Buena	
Comportamiento a la combustión	Arde con mediana dificultad	
Propagación de llama	Mantiene la llama	
Comportamiento quemado	Gotea	

Fuente: [5]

Dentro de sus características más importantes que presenta, se encuentran: [12]

- Alta transparencia, aunque admite cargas de colorantes.
- Alta resistencia al desgaste y corrosión.
- Muy buen coeficiente de deslizamiento.
- Buena resistencia química y térmica.
- Muy buena barrera a CO₂, aceptable barrera a O₂ y humedad.
- Compatible con otros materiales barrera que mejoran en su conjunto la calidad barrera de los envases y por lo tanto permiten su uso en mercados específicos.
- Totalmente reciclable.
- Aprobado para su uso en productos que deban estar en contacto con productos alimentarios.
- Buen comportamiento frente a esfuerzos permanentes.

Con estos datos se puede asumir que el PET posee propiedades adecuadas para utilizarlo como material alternativo en la mezcla del concreto [7]. La Tabla 2.4 muestra los datos técnicos del tereftalato de polietileno [26].

Tabla 2.4. Datos técnicos del polietileno de tereftalato. Industria del plástico

PROPIEDAD	UNIDAD	VALOR
Densidad	g/cm ³	1,34 - 1,39
Resistencia a la tensión	MPa	59 - 72
Resistencia a la compresión	MPa	76 - 128
Resistencia al impacto, Izod	J/mm	0,01 - 0,04
Dureza	-	RockwellM94 - M101
Dilatación térmica	10-4/°C	15,2 - 24
Resistencia al calor	°C	80 - 120
Resistencia dieléctrica	V/mm	13780 - 15750
Constante dieléctrica (60Hz)	-	3,65
Absorción de agua (24h)	%	0,02
Velocidad de combustión	mm/min	Consumo lento
Efecto luz solar	-	Se decolora ligeramente
Calidad de mecanizado	-	Excelente
Calidad óptima	-	Transparente a opaco
Temperatura de fusión	°C	244 - 254

Fuente: [26]

Además de acuerdo con pruebas realizadas utilizando las normas ASTM, el plástico PET presenta una resistencia a la compresión de 80 MPa (815 kg/cm²), y un módulo de elasticidad a compresión de 1 GPa (10193 kg/cm²), en cuanto a la tensión, su resistencia es de 55 MPa (560 kg/cm²) y su módulo de elasticidad a tensión de 2.7 GPa (27522 kg/cm²) [12].

2.2.19. Reciclaje

Es un proceso el cual se caracteriza por la recuperación de elementos físicos o químicos, a los cuales luego de realizar un tratamiento se los transforma en materiales útiles y pueden volver a ser usados para el mismo u otro propósito [5].

2.2.20. Plástico reciclado

Consiste en procesar al plástico realizando actividades como recolectar, limpiar, lavar, seleccionar por tipo de material, para posteriormente proceder a fundirlos o triturarlos con la finalidad de ser utilizados como materia prima para el moldeado de otros productos [5].

2.2.21. Materiales de construcción

Es la materia prima o con más frecuencia se denomina un producto manufacturado, los cuales son empleados en la industria de la construcción para desarrollar edificios u obras de Ingeniería Civil. Los materiales naturales sin procesar tales como la arcilla, arena y mármol se designan materias primas, mientras que los productos elaborados son los ladrillos, vidrios y baldosa, a quienes se denominaran materiales de construcción [5].

2.2.22. Concreto

Es un material importante de ingeniería que se usa generalmente en la construcción de estructuras de puentes, edificios, presas, muros de retén y división, así como también en los pavimentos de las carreteras. En Estados Unidos se produjeron alrededor de 50×10^7 toneladas en 1982, que es una cantidad considerablemente mayor a las 6×10^7 toneladas de acero que se fabricaron en el mismo año. El concreto como material de construcción tiene varias ventajas en la economía, durabilidad, resistencia al fuego,

capacidad de ser fabricado in situ, apariencia estética y flexibilidad de diseño porque puede ser modelado. El concreto presenta varias desventajas desde el punto de vista de la ingeniería por motivo que presenta baja resistencia a la tensión y cierta contracción [15].

El concreto es un material cerámico compuesto el cual está constituido por un material granular grueso (el agregado) alojado en una matriz dura de pasta de cemento (el aglutinante) que por lo general está fabricado de cemento portland y agua. El concreto se modifica mucho en su composición, pero generalmente contiene (en volumen absoluto) del 7 a 15 % de cemento portland, de 14 a 21% de agua, de 0.5 a 8% de aire, de 24 a 30% de agregado fino y de 31 a 51% de agregado grueso. En la Figura 2.12 se muestra una sección pulida de una probeta de concreto endurecido. La pasta de cemento contenida en el concreto funciona como “adhesivo” para mantener juntas las partículas de agregado en este material compuesto [15].

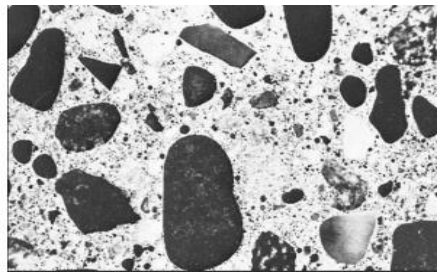


Figura 2.12. Sección transversal de concreto endurecido

Fuente: [15]

2.2.23. Resistencia del concreto a la compresión

El concreto es un material cerámico compuesto, dispone de una resistencia a la compresión mucho más alta que su resistencia a la tensión la misma que se puede incrementar reforzándolo con varillas de acero [15].

En la Figura 2.13, la resistencia del concreto por las reacciones de hidratación necesita de tiempo para completarse, también en alto grado de la relación agua y cemento, pues las relaciones altas generan un concreto de menor resistencia. La relación entre agua y cemento no debe estar por debajo de los límites porque al usar menos agua resulta más difícil trabajar en el concreto y lograr que llene de manera homogénea los moldes [15].

Los especímenes para probar la resistencia del concreto a la compresión son cilíndricos de 100 mm de diámetro y 200 mm de alto. Sin embargo, se pueden obtener especímenes de concreto de partes internas que se recortan de estructuras ya existentes [15].

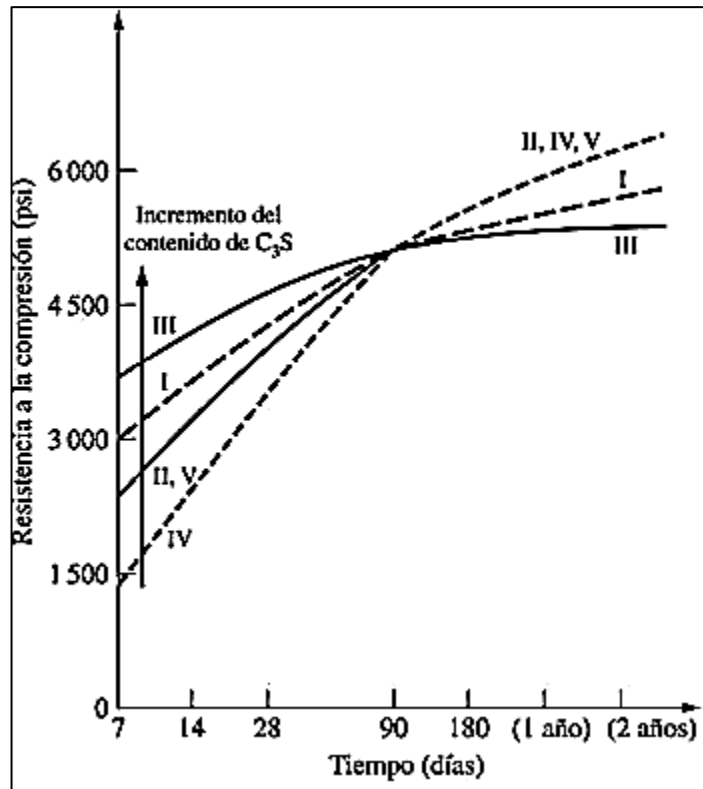


Figura 2.13. Resistencias a la compresión de concretos fabricados con diferentes tipos ASTM de cementos portland en función del tiempo de fraguado.

Fuente: [15]

2.2.24. Arena

Es principalmente sílice (SiO₂) desde el punto de vista químico. Son materiales finos, que generalmente tienen espesores de orden 0.1 a 3.0 mm de diámetro. Frecuentemente contienen por lo menos cierta cantidad de agua absorbida y es un parámetro fundamental para tomar en consideración al preparar una mezcla de concreto. La arena tiene como característica fundamental ayudar a llenar los huecos presentes entre los agregados más gruesos, lo que origina un factor de empaquetamiento alto, minimiza la cantidad de porosidad abierta (o interconectada) con el concreto terminado, y reduce grandes problemas de desintegración del concreto por motivo a congelamiento y descongelamiento repetidos durante su vida de servicio [15].

2.2.25. Cemento portland

Las materias primas básicas del cemento portland son cal (CaO), sílice (SiO₂), alúmina (Al₂O₃) y óxido de hierro (Fe₂O₃). Estos componentes se mezclan en proporciones adecuadas con la finalidad de producir diversos tipos de cemento portland. Las materias primas seleccionadas deben pasar por un proceso de trituración, molienda y se agregan en proporciones que varían según la dosificación deseada, para finalmente realizar un proceso de mezcla. La mezcla de la materia prima se introduce en un horno rotatorio donde se calienta a temperaturas hasta de 1400 a 1650 °C (2600 a 3000 °F). En este proceso, la mezcla se convierte químicamente en cemento aglutinado, que después se enfría y pulveriza. Al cemento se agrega una pequeña cantidad de yeso (CaSO₄2H₂O) con la finalidad de controlar el tiempo de fraguado del concreto [15].

La composición química del cemento portland, se considera en función a cuatro compuestos principales mostrados en la Figura 2.14:

Compuesto	Fórmula química	Abreviatura
Silicato tricálcico	3CaO *SiO ₂	C ₃ S
Silicato dicálcico	2CaO *SiO ₂	C ₂ S
Aluminato tricálcico	3CaO *Al ₂ O ₃	C ₃ A
Aluminoferrita tricálcica	4CaO * Al ₂ O ₃ *Fe ₂ O ₃	C ₄ AF

Figura 2.14. Composición química del cemento portland

Fuente: [15]

2.2.26. Agregados para el concreto

Por lo general constituyen entre un 60 y 80 % del volumen del concreto e influyen potentemente en sus propiedades. Los agregados del concreto se clasifican en finos o gruesos. Los agregados finos consisten en partículas de arena de ¼ pulgadas (6 mm), mientras que los agregados gruesos son las partículas retenidas en un tamiz número 16 (aberturas de 1.18 mm) [15].

2.2.27. Agua para mezclar con el concreto

El agua potable se puede usar en la elaboración del concreto, caso contrario si el contenido de impurezas del agua llega a ciertos niveles específicos debe ser sometida a prueba con la finalidad de determinar su efecto sobre la resistencia del concreto [15].

2.2.28. Dosificación por el Método de Densidades Óptimas

Se utiliza este método para la dosificación el mismo que es desarrollado en los Laboratorios de Hormigón de la Universidad Central del Ecuador que es una variante a la dosificación propuesta por el A.C.I (American Concrete Institute) [4] [33]. Este método presenta la facilidad de diseñar mezclas de hormigón con el uso de áridos con granulometría “deficiente” lo cual no cumple las normas norteamericanas para ser aplicado el método de diseño del A.C.I [4].

Este método se fundamenta en la consigna de utilizar una gran cantidad de pasta con una buena combinación de agregados con la finalidad de obtener el menor porcentaje de vacíos posibles para obtener un hormigón de excelente calidad [33].

Para determinar la densidad aparente se lo realiza en función a la siguiente fórmula:

$$Da = \frac{M_p - T}{v} \quad \text{Ec. 2.3}$$

Donde:

M_p = Promedio de la masa del agregado más el molde (*gr*)

T = Masa en molde (*gr*)

v = Volumen (cm^3)

El volumen del agregado se determina:

$$V_s = \frac{M_s - M_a}{D_a} \quad \text{Ec. 2.4}$$

Donde:

M_s = Masa del agregado en aire (*gr*)

M_a = Masa del agregado en agua (*gr*)

D_a = Densidad del agua $\frac{gr}{cm^3}$

La masa del agregado se determina en función a la siguiente fórmula:

$$M_{SSS} = m_2 - m_1 \quad \text{Ec. 2.5}$$

Donde:

m_1 = Masa del picnómetro (*gr*)

m_2 = Masa del picnómetro más el agregado (*gr*)

El volumen del agua desalojada se determina en función a la siguiente fórmula:

$$V_{SSS} = \frac{m_7}{D_a} \quad \text{Ec. 2.6}$$

Donde:

m_7 = Agua desalojada por muestra (*gr*)

D_a = Densidad del agua $\frac{gr}{cm^3}$

Para realizar una correcta dosificación del hormigón para la fabricación de las fachaletas, es fundamental realizar los ensayos a los agregados y al tereftalato de polietileno para conocer las propiedades físicas. Los procedimientos de los ensayos se encuentran en las normas ASTM e INEN [4] [33].

2.3. Fundamentación filosófica

Los grandes problemas de la contaminación del Medio Ambiente surgen a nivel mundial y también en el sector industrial. La presente investigación se ubica en el paradigma crítico positivo, porque tiene como propósito dar una solución a todas las botellas plásticas que se reciclan y de esta manera evitar la contaminación del medio Ambiente, posteriormente se realiza la trituración de las botellas plásticas y se mezcla con concreto en proporciones indicadas para obtener la mejor mezcla y de esta manera poder fabricar fachaletas, las cuales se someten a ensayos de resistencia mecánica a flexión a 4 puntos y compresión para poder ser aplicadas en paredes interiores o exteriores de casas [26].

Día a día se incrementa la tecnología y la investigación, por tal motivo que los seres humanos debemos tener una gran capacidad para transformar y evitar la contaminación del medio ambiente. Toda buena acción que se realice en el presente nos servirá para en el futuro dejar a nuestros hijos o nietos un planeta con excelentes condiciones de vida, por lo tanto, todas estas buenas acciones ayudarán a las futuras generaciones a tener un mejor planeta donde vivir [26].

Personas ilustres que han aportado grandes conocimientos, nos han ayudado a tomar conciencia de tener una excelente capacitación para realizar el reciclaje de botellas plásticas y de esta manera aprovechar el tereftalato de polietileno en Ecuador. Realizar un proceso de trituración del PET nos permite realizar la mezcla con el concreto y desarrollar un material compuesto posterior la fabricación de fachaletas [26].

2.4. Fundamentación legal

El presente trabajo de investigación se sustentará mediante la aplicación de normas ecuatoriana y extranjeras que rigen en nuestro país:

- NTE INEN 156:2009. Cemento Hidráulico. Determinación de la densidad.
- NTE INEN 694:2010. Hormigón y áridos para elaborar hormigón. Terminología.
- NTE INEN 696:2011. Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso.

- NTE INEN 856:2010. Áridos. Determinación de la densidad relativa, (gravedad específica) y absorción del árido fino.
- NTE INEN 857:2010. Áridos. Determinación de la densidad relativa, (gravedad específica) y absorción del árido grueso.
- NTE INEN 858:2010. Áridos. Determinación de la masa unitaria, (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos.
- NTE INEN 862:2011. Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad.
- NTE INEN 872:2011. Árido para hormigón. Requisitos.
- NTE INEN 2554:2011. Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la flexión del hormigón (utilizando una viga simple con carga en los tercios).
- NTE INEN 1 573:2010. Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico.

2.5. Categorías fundamentales

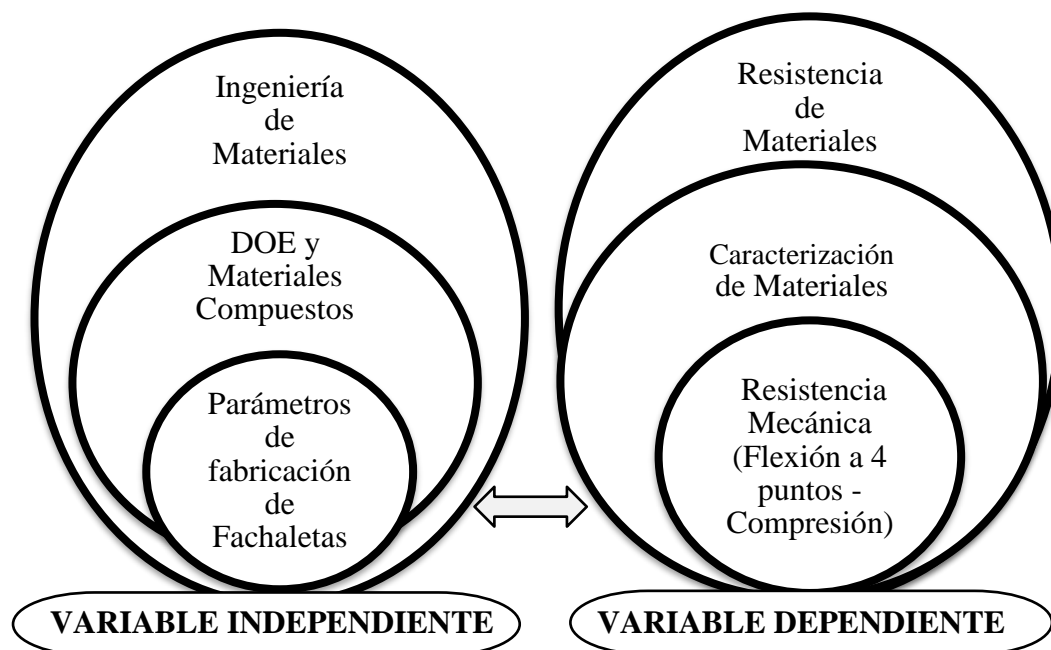


Figura 2.15. Categorías fundamentales

Fuente: Autor

2.6. Hipótesis

“La variación de parámetros en la fabricación de fachaletas al añadir en concreto el triturado de tereftalato de polietileno reciclado proveniente de las botellas plásticas mejora las propiedades mecánicas respecto a las fachaletas comerciales”.

2.7. Señalamiento de Variables

2.7.1. Variable independiente

Parámetros de mezcla de la dosificación del concreto con adición de triturado de tereftalato de polietileno reciclado.

2.7.2. Variable dependiente

Dosificación del concreto con tereftalato de polietileno y ensayos de la Resistencia Mecánica a flexión a 4 puntos y compresión de la fachaleta.

2.7.3. Término de relación

Mejora

CAPÍTULO III

3.1 Enfoque

Se presenta uno cuantitativo porque se realizará una investigación para fabricar una fachaleta mediante un material compuesto que está constituido por un cerámico más la adición de un polímero, o específicamente de forma numérica con la finalidad de encontrar la mejor dosificación mediante parámetros de mezcla del concreto más la adición del triturado de tereftalato de polietileno (PET) reciclado y su posterior análisis de Resistencia Mecánica a la flexión a 4 puntos mediante la norma ecuatoriana NTE INEN 2554:2011., y para la compresión la NTE INEN 1 573:2010.

Las investigaciones ejecutadas anteriormente sirvieron para entender la mejor mezcla homogénea entre el concreto con la adición del PET así también el sustento científico y profesional, además el análisis estadístico de datos para solucionar el problema y obtener la mejor optimización para la fabricación de fachaletas.

3.2 Modalidad básica de la Investigación

3.2.1 Bibliográfico – Documental

Puesto que se revisarán fuentes bibliográficas con información secundaria obtenidos de folletos; revistas, tesis, libros, publicaciones y fuentes bibliográficas del aula virtual de la Universidad Técnica de Ambato, información que permitirá realizar un mejor análisis de las posibles mezclas de concreto con triturado de PET reciclado para fabricar la fachaleta; de igual manera como fuentes de información primaria para lo cual se efectuará la investigación en documentos válidos y confiables de estudios realizados de este tema, además en función al estado del arte para su inicio.

3.2.2 De campo

Porque se trasladará a los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato para realizar los ensayos de flexión a 4 puntos

y compresión de las fachaletas comerciales que venden en la empresa “El Tejar” de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.

Se realizarán ensayos de resistencia a la flexión a 4 puntos y compresión de las fachaletas comerciales para determinar el esfuerzo máximo que soportan las fachaletas y empezar a investigar la dosificación de los parámetros de mezcla de cilindros y comparar las propiedades mecánicas con la de las fachaletas comerciales. Posteriormente se realizará la dosificación del material compuesto variando porcentajes y dimensión del triturado de PET reciclado, y la dimensión del agregado. Las variables contaminantes a controlar serán el frío y la humedad al momento de hacer la dosificación del concreto con la adición del PET.

3.3 Nivel o tipo de Investigación

3.3.1 Experimental

Se determinará un método para realizar las diferentes combinaciones y réplicas para la fabricación de las fachaletas, constituidas por la mezcla de concreto con la adición del triturado de PET reciclado. Éstas se ejecutarán variando el porcentaje del triturado del PET reciclado en la mezcla con porcentajes del 15%, 20% y 25%, el tamaño del triturado de PET reciclado en dimensiones de 6 mm, 8 mm y 14mm, la dimensión del agregado en extensiones de 3mm, 8mm y 11mm, técnica que si se ha investigado a nivel nacional y mundial pero que por su proceso de fabricación no ha existido una verdadera aplicación para ayudar a mitigar la contaminación del Medio Ambiente con la reducción de botellas plásticas, así como una aportación al desarrollo de la industria de la construcción en el Ecuador.

3.3.2 Prospectivo

Se realizarán los ensayos de flexión a 4 puntos y compresión en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato, posteriormente se procederá a planificar y ordenar los datos, para obtener la mejor combinación de concreto con triturado de PET reciclado para poder obtener resultados confiables.

3.3.3 Longitudinal

En el desarrollo de este proyecto será importante realizar la asociación de variables, de esta manera se obtuvo cual es la mejor mezcla de concreto con triturado de PET reciclado para poder obtener la fachaleta, motivo de estudio, para determinar si cumple con las propiedades de resistencia mecánica y su posible utilización.

3.3.4 Analítico

Puesto que se tienen valores de densidades, esfuerzos a flexión a 4 puntos y compresión. Además, se pone a prueba la hipótesis entre los factores.

3.4 Población y muestra

3.4.1 Población

En la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas existen varias fachaletas comerciales que se encuentran en diferentes formas, tamaños, medidas y colores, en esta investigación se realizará la adición del triturado de PET reciclado (se obtiene de las botellas plásticas) a la mezcla del concreto para la fabricación de fachaletas. Fachaletas realizadas de un material compuesto no existen investigaciones realizadas, únicamente han realizados bloques y adoquines de este material compuesto. Mediante esta investigación se desarrollará un nuevo material para utilizar en la industria de la construcción que tenga mejores propiedades de resistencia a la flexión y compresión y sea de manera ecológico.

3.4.2 Muestra

En esta investigación se tomarán variables que pueden ser manipuladas por el investigador, variables que no pueden ser manipuladas por el investigador y de acuerdo a proceso existen variables que no pueden ser controlada por la máquina, proceso o dosificación de la fachaleta. Los factores que estarán presentes en la investigación son:

Variables controlables. - Geometría de la fachaleta (470 mm de largo, 100 mm ancho y una altura de 30 mm), potencia de la máquina (Watts), molde para la fabricación de la fachaleta, porcentaje de adición del triturado de tereftalato de polietileno,

dimensiones del tamaño de triturado de tereftalato de polietileno, dimensión del tamaño del agregado.

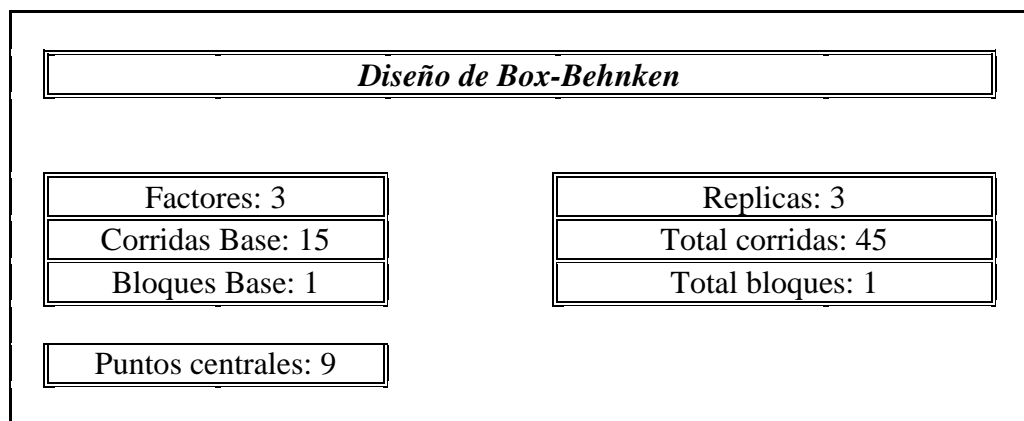
Variables difíciles de controlar. – Mezclado del material compuesto en el molde, temperatura de fabricación de la fachaleta, humedad del mezclado del material compuesto.

Variables de salida. – Densidad, determinación del esfuerzo máximo a la flexión y a la compresión de la fachaleta.

3.4.2.1 Modelos del experimento

Mediante la Metodología de Superficie de Respuesta con el Diseño de Box- Behnken se realizará para un solo modelo de fachaleta. Se procederá a realizar 15 réplicas combinando 3 factores como es el porcentaje de triturado de PET reciclado (15% - 20% - 25%) en la mezcla con el concreto, dimensiones del PET de (6mm - 8mm - 14mm) y tamaño del agregado (3mm - 8mm - 11mm) y 3 réplicas.

Tabla 3.1. Diseño de Box-Behnken



Fuente: Autor

Se realizará los ensayos de flexión a 4 puntos y de compresión para determinar las propiedades mecánicas de las fachaletas fabricadas del material compuesto, para lo cual se realizará 2 réplicas de las 45 corridas y se obtiene un total de 90 fachaletas. En la Tabla 3.2 se muestra la combinación del diseño de experimentos de esta investigación.

Tabla 3.2. Diseño de experimentos de la investigación

Orden Estándar	Orden de Corrida	Tipo de Punto	Bloques	% de Tereftalato de Polietileno Triturado en la mezcla (15% - 20% - 25%)	Dimensión del Tereftalato de Polietileno Triturado (6mm - 8mm - 14mm)	Dimensión del Agregado (3mm - 8mm-11mm)
29	1	0	1	20	8	8
19	2	2	1	25	14	8
9	3	2	1	20	6	3
40	4	2	1	20	14	3
41	5	2	1	20	6	11
1	6	2	1	15	6	8
7	7	2	1	15	8	11
4	8	2	1	25	14	8
18	9	2	1	15	14	8
28	10	0	1	20	8	8
35	11	2	1	15	8	3
45	12	0	1	20	8	8
17	13	2	1	25	6	8
14	14	0	1	20	8	8
36	15	2	1	25	8	3
2	16	2	1	25	6	8
23	17	2	1	25	8	11
6	18	2	1	25	8	3
12	19	2	1	20	14	11
21	20	2	1	25	8	3
43	21	0	1	20	8	8
26	22	2	1	20	6	11
15	23	0	1	20	8	8
30	24	0	1	20	8	8
27	25	2	1	20	14	11
38	26	2	1	25	8	11
13	27	0	1	20	8	8
34	28	2	1	25	14	8
44	29	0	1	20	8	8
20	30	2	1	15	8	3
8	31	2	1	25	8	11
33	32	2	1	15	14	8
25	33	2	1	20	14	3
16	34	2	1	15	6	8
3	35	2	1	15	14	8
39	36	2	1	20	6	3
11	37	2	1	20	6	11
10	38	2	1	20	14	3
24	39	2	1	20	6	3
37	40	2	1	15	8	11
42	41	2	1	20	14	11
5	42	2	1	15	8	3
31	43	2	1	15	6	8
32	44	2	1	25	6	8
22	45	2	1	15	8	11

Fuente: Autor

La variable dependiente presupone los ensayos de compresión, flexión de las fachaletas y determinar la densidad de cada fachaleta. Al no disponer de parámetros ni

propiedades de las fachaletas de la resistencia a flexión y compresión, se experimentarán un total de 8 fachaletas comerciales que se compran en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.

3.5 Operacionalización de variables

3.5.1 Variable Independiente: Estudiar los parámetros de mezcla del concreto con adición de material triturado de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de fachaletas.

Tabla 3.3. Operacionalización de la variable independiente

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	
Un material compuesto es un sistema de materiales formado por una mezcla o combinación debidamente dispuesta de dos o más micro o macro constituyentes [14]	Parámetros de mezcla.	% del Triturado de Tereftalato de Polietileno reciclado en la mezcla	15% - 20% - 25%.	-Dosificación -Balanza	
		Dimensión de triturado de Tereftalato de Polietileno reciclado.	6mm, 8mm y 14mm.	-Trituración -Tamiz	
		Dimensión de agregado.	3mm, 8mm y 11mm	-De Campo -Tamiz	
		-Agua	(5 275- 4 700) cc		
	Dosificación del concreto	-Cemento	(76.450 – 6.420) Kg		
		-Arena	(44.013 – 35.030) Kg		
		-% de Triturado de Tereftalato de Polietileno	(2.017 – 1.700) Kg		-Experimental -Balanza -Tubo de precipitación
		-Agregado	(19.620 – 17.750) Kg		

Fuente: Autor

3.5.2 Variable Dependiente: Dosificación del Concreto y Ensayos de la Resistencia Mecánica de la Fachaleta

Tabla 3.4. Operacionalización de la variable dependiente

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
La fabricación de fachaletas mezclando concreto con triturado de Tereftalato de Polietileno reciclado es una nueva tecnología la cual se va a implementar en esta investigación, mediante la determinación del esfuerzo a flexión y compresión y la viabilidad a utilizarse en la industria de la construcción.	Ensayos de la Resistencia Mecánica de la Fachaleta	Resistencia a la Flexión a 4 puntos	(1 - 3) MPa	-Experimental -Norma INEN 2524 - HMI
		Resistencia a la Compresión	(1 - 5) MPa	-Experimental -Norma INEN 1573 - HMI -Hoja de Toma de Datos

Fuente: Autor

3.6 Recolección de la información

La información que se obtenga de las fachaletas comerciales (precios, pesos y esfuerzos tanto a flexión a 4 puntos y compresión) será contrastada con las fachaletas elaboradas con la adición del triturado de PET reciclado, teniendo ésta última el diseño de una mezcla base que tenga como criterios de aceptación el cumplimiento de la docilidad y su resistencia a la compresión; el flujo para el desarrollo de lo expuesto en la investigación se presenta en la

Figura 3.1.

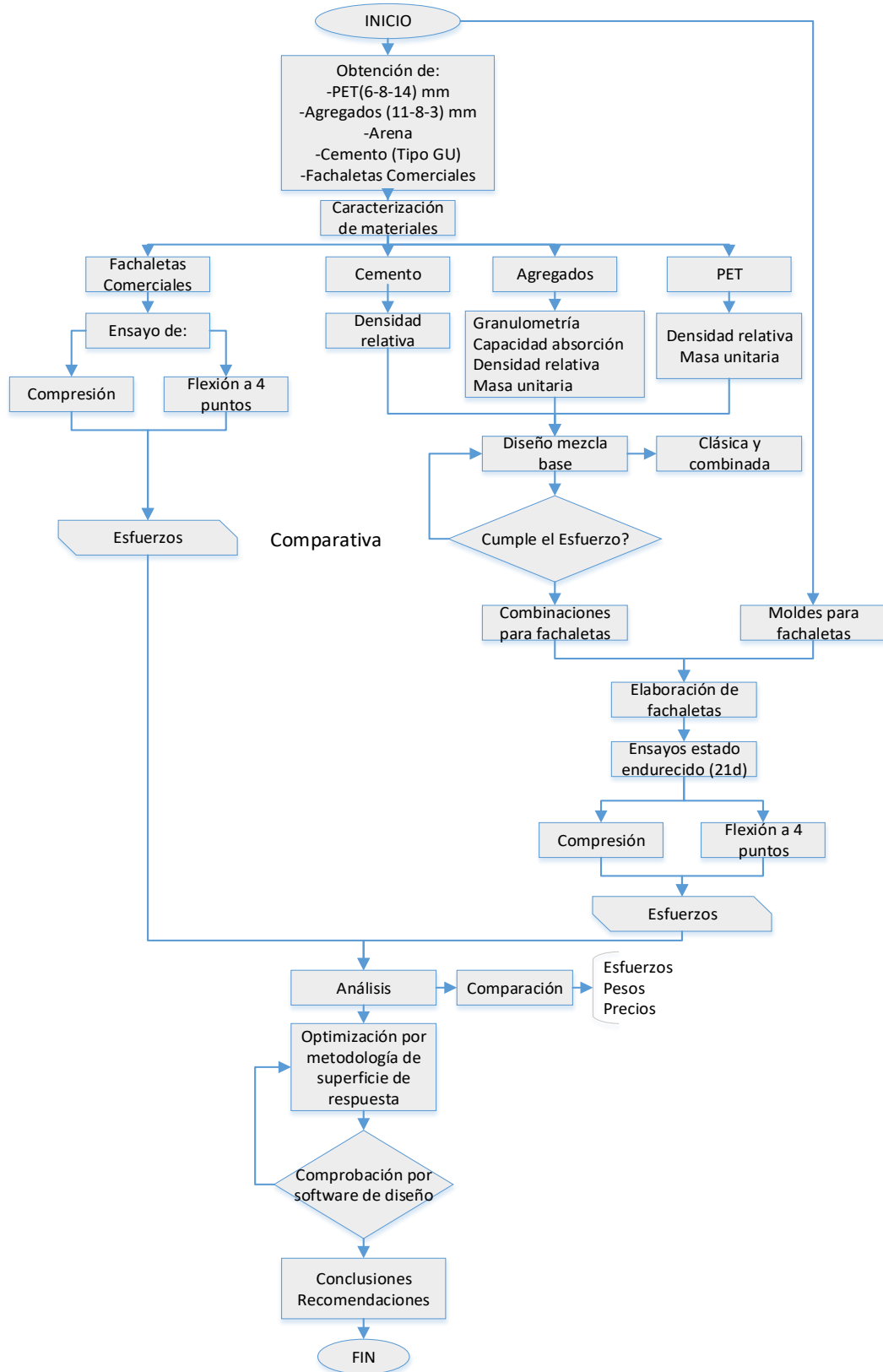


Figura 3.1. Diagrama de flujo para el desarrollo de la investigación

Fuente: Autor

3.7 Procesamiento y Análisis

3.7.1 Plan de Procesamiento.

Se procederá a recolectar información necesaria partiendo del soporte bibliográfico en cuanto a mezclas de concreto con la adición de triturado de PET continuando con la siguiente secuencia:

- Recolección de las diferentes mezclas de materiales con la adición de triturado de PET reciclado.
- Determinación del mejor porcentaje de adición de triturado de PET reciclado en la mezcla con concreto.
- Verificar la mejor geometría estructural para la utilización de la mezcla de concreto con triturado de PET reciclado.
- Estudio de la Resistencia Mecánica. Determinación de esfuerzos a flexión y compresión.
- Fabricación y pruebas de fachaletas

3.7.2 Plan de análisis e interpretación de resultados

Para el análisis e interpretación de resultados se planifica lo siguiente:

- Establecer la mejor adición de triturado de PET reciclado en la mezcla de concreto para la elaboración de fachaletas.
- Determinar la mejor dimensión del triturado de PET reciclado en la mezcla de concreto para la elaboración de fachaletas.
- Establecer la mejor dimensión del agregado en la mezcla de concreto con triturado de PET reciclado para la elaboración de fachaletas.
- Determinar la dosificación respectiva para la elaboración de las fachaletas.
- Realizar los ensayos de laboratorio para determinar los resultados de la densidad, esfuerzo a flexión a 4 puntos y compresión de la fachaleta fabricada de concreto más la adición de triturado de tereftalato de polietileno reciclado
- Realizar los ensayos de esfuerzo a flexión y compresión de la fachaleta comercial que se encuentren en el mercado ecuatoriano y experimentar sus propiedades de resistencia mecánicas.

- Determinar los resultados en función a las partes de la investigación especialmente con los objetivos y la hipótesis. Establecer la comparación de la densidad, esfuerzos a flexión y compresión, pesos y precios de la fachaleta comercial que se encuentran en el mercado con la fachaleta fabricada con el material compuesto y determinar las diferencias en sus propiedades.
- Validar los resultados del esfuerzo a flexión y compresión de la fachaleta realizada con el material compuesto y un software de Diseño de elementos mecánicos, como se observa en la Figura 3.2.

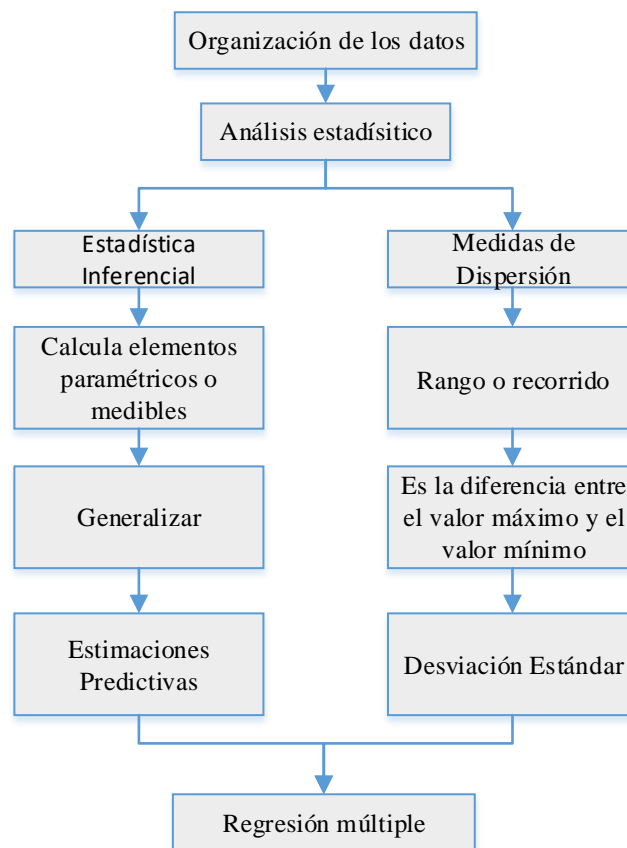


Figura 3.2. Diagrama organización de los datos

Fuente: Autor

- Prescribir conclusiones y recomendaciones.

3.8 Recursos

3.8.1 Recursos Materiales

Equipos de laboratorios para ensayos, dispositivos de medición, material de oficina, laptops, materiales para la fabricación de la fachaleta (agua, arena de río, triturado de PET, agregado), molino de cuchillas para la trituración del plástico que se obtiene de las botellas plásticas, materiales para la realización del molde y máquina para realizar los ensayos de flexión a 4 puntos y compresión.

3.8.2. Recursos Humanos

Tutor de la investigación; Asistentes de laboratorio, colaboradores que se encuentren en el desarrollo del proyecto de investigación.

3.8.3. Recursos financieros

Se indican a través del siguiente presupuesto.

Tabla 3.5. Presupuesto del desarrollo del tema de investigación

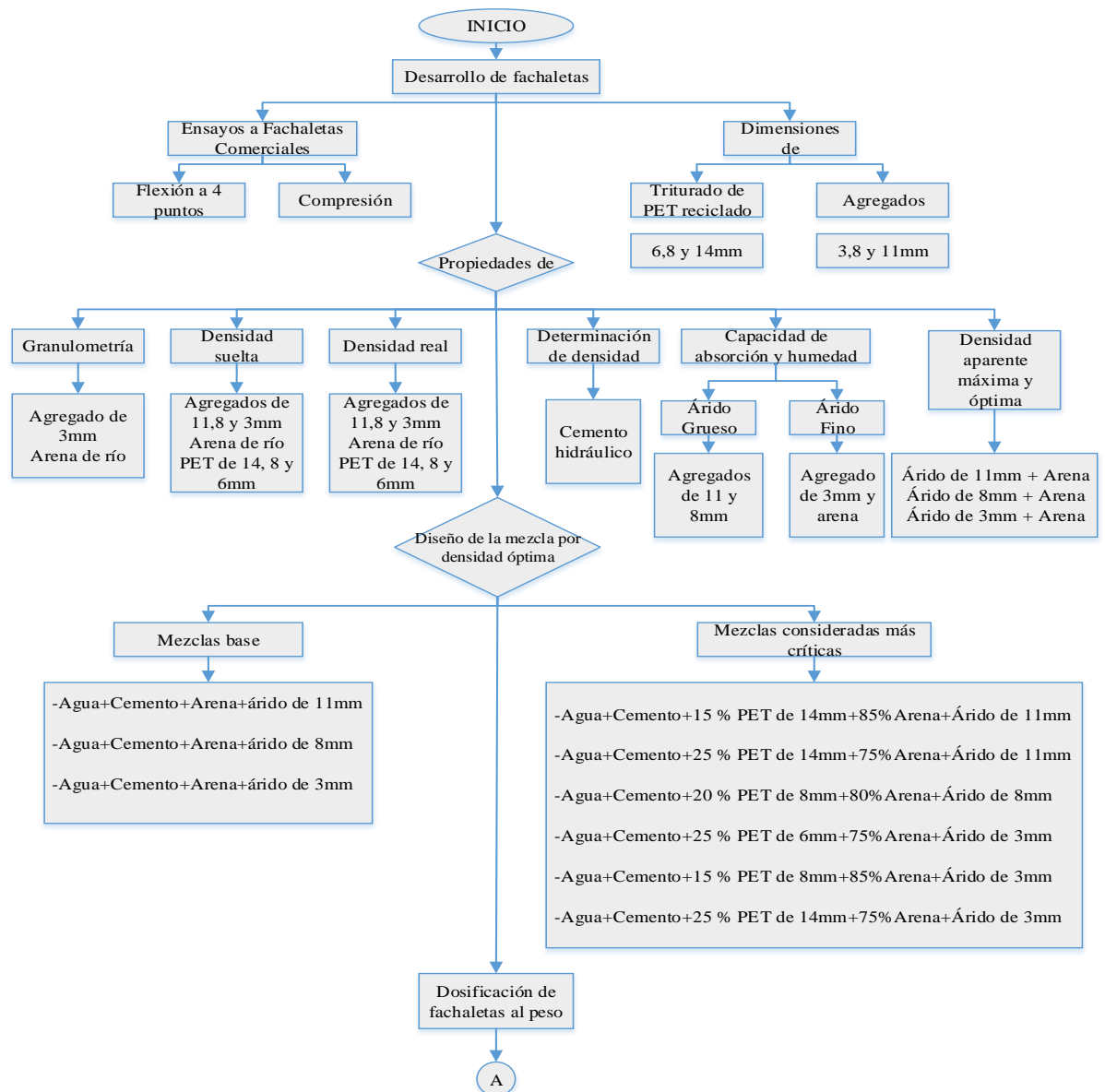
MATERIALES	PRESUPUESTO
Cemento, arena, agua	600
Pet Triturado	150
Diseño de molde de fachaleta	900
Mezclado de Materiales	800
Utilización de Laboratorios	500
Pruebas de Laboratorio	500
Desarrollo final de fachaleta	450
TOTAL	3900

Fuente: Autor

Los recursos para realizar se financiarán en su totalidad por parte del investigador

CAPÍTULO IV

Para el análisis de los resultados se seguirá el diagrama de flujo de la Figura 4.1 en la cual se indican cada una de las actividades a realizar para la fabricación de las fachaletas con adición del triturado de PET reciclado que se obtiene de las botellas plásticas. Posteriormente se realizarán ensayos de flexión a 4 puntos y compresión para encontrar el esfuerzo máximo de las fachaletas y la optimización mediante metodología de superficie de respuesta de las variables óptimas para su fabricación.



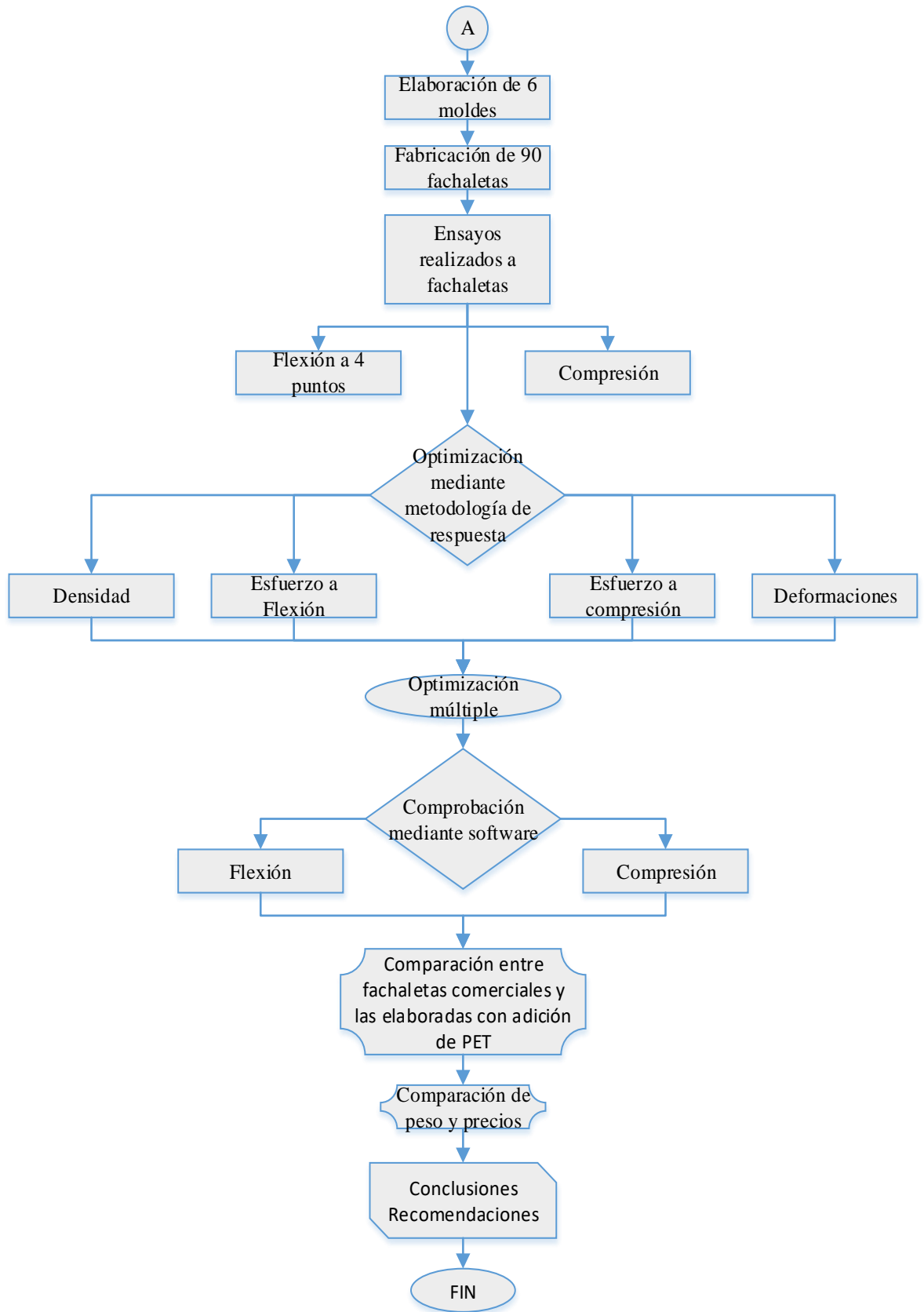


Figura 4.1. Diagrama de flujo para análisis de resultados

Fuente: Autor

4.1. Materiales para elaboración de fachaletas

Los materiales a utilizarse en la elaboración de las fachaletas se exponen en la Tabla 4.1, los cuales se utilizarán en el diseño de la mezcla base, considerando el cumplimiento de los criterios de docilidad (estado fresco) y esfuerzo requerido (a compresión), para posteriormente incluir al triturado de PET.

Tabla 4.1. Materiales empleados para la fabricación de fachaletas

Material	Tamaño (mm)	Origen
Agregado 1	3	Cantera San Joaquin
Agregado 2	8	Cantera San Joaquin
Agregado 3	11	Cantera San Joaquin
PET 1	6	Material reciclado
PET 2	8	Material reciclado
PET 3	14	Material reciclado
Arena de río	3	Cantera Copeto C.LTDA
Cemento Holcim	Polvo	Disensa

Fuente: Autor

4.2. Resultados de los ensayos de las fachaletas comerciales

Las fachaletas comerciales fueron adquiridas en el negocio “El Tejar” de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, presentan varias imperfecciones en la superficie y un acabado básico. Ver Figura 4.2.



Figura 4.2. Modelo de fachaleta comercial

Fuente: Autor

Se realizaron los ensayos de flexión y compresión en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. El peso de las 8 fachaletas comerciales que se utilizaron en los ensayos de flexión a 4 puntos y compresión se utilizó la balanza electrónica marca Hotcom Modelo DJ6001A y serie

CHQ-DJ de 6000 g x 0.1 g. (Ver Figura 4.10). Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Resultados ensayos fachaletas comerciales

FACHALETAS COMERCIALES				
N° muestras: 8 (470x100x30mm)			Fecha: 12 de Enero del 2019	
Realizado Por: Ing. Willan Castillo Herrera			Origen: Sto. Domingo.	
ENSAYO A FLEXIÓN A 4 PUNTOS				
IDENTIFICACIÓN	Deformación (mm)	Peso (Kg)	Fuerza (KN)	Esfuerzo (Mpa)
CA1	0,02163	1,7050	0,03846	0,05193
CA2	0,89288	1,7120	0,94986	0,12665
CA3	0,21663	1,7250	0,66800	0,50100
CA4	0,39588	1,7660	0,52134	0,70381
ENSAYO A COMPRESIÓN				
IDENTIFICACIÓN		Peso (Kg)	Fuerza (KN)	Esfuerzo (Mpa)
CB1		1,7070	30,0000	1,35000
CB2		1,7160	31,6000	1,43000
CB3		1,7200	37,1000	1,68000
CB4		1,7320	28,8165	2,04373

Fuente: Autor

4.3. Ensayos de caracterización de materiales

Tabla 4.3. Ensayos realizados para la dosificación de fachaletas

ENSAYO REALIZADO	MATERIAL	NORMA INEN
Cemento Hidráulico. Determinación de la Densidad	Cemento Hidráulico	156
Análisis Granulométrico en el Árido Fino	Agregado de 3mm y Arena	696
Densidad Suelta del Agregado	Arena de Río y Áridos de 11mm, 8mm y 3mm	858
Densidad Suelta del Triturado de Tereftalato de Polietileno	Tereftalato de Polietileno de 14mm, 8mm y 6mm	858
Capacidad de Absorción y Humedad del Árido Grueso	Árido de 11mm y 8mm	857 y 862
Capacidad de Absorción y Humedad del Árido Fino	Árido de 3mm y arena	856 y 862
Densidad Real del Árido Grueso	Áridos de 11mm y 8mm	857
Densidad Real del Árido fino	Áridos de 3mm y Arena de Río	856
Densidad Real del Tereftalato de Polietileno	PET de 6mm	856
Densidad Aparente Máxima y Óptima de Mezclas	Agregado de 8mm y 3mm	
	Agregado de 8mm + Arena de Río	
	Agregado de 3mm + Arena de Río	

Fuente: Autor

Los ensayos señalados en la Tabla 4.3 permiten la realización del diseño base y finalmente la dosificación para la fabricación de las fachaletas. Éstos se ejecutaron en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

El **Anexo A** presenta los ensayos realizados, mientras que la Tabla 4.4 un resumen de los resultados de interés para la realización del diseño de la mezcla.

Tabla 4.4. Resumen de datos obtenidos

Densidad del Cemento		2,986	g/cm ³			
ÍTEMS		Arena	Agregado			Unidad
			3mm	8mm	11mm	
Módulo de finura		2,010	3,300	-	-	-
Densidades aparentes	Suelta	1,605	1,018	0,500	0,366	g/cm ³
	Compacta	1,691	1,077	0,616	0,404	g/cm ³
Densidad Real		2,697	2,122	1,315	1,146	g/cm ³
% Absorción		1,649	2,118	40,980	62,950	%
% Contenido de humedad		6,120	3,210	5,640	6,750	%
ÍTEMS		PET			Unidad	
			6mm	8mm	14mm	
Densidades aparentes	Suelta		0,306	0,342	0,253	g/cm ³
	Compacta		0,350	0,398	0,278	g/cm ³
Densidad Real			1,341			g/cm ³
ÍTEMS		Combinación			Unidad	
			Agregado 8mm	Agregado 8mm	Agregado 3mm	
			Agregado 3mm	Arena de río	Arena de río	
Densidad Máxima			0,93	1,00	1,47	g/cm ³
% Máximo Agregado Fino			50	60	45	%
% Máximo Agregado Grueso			50	40	55	%
Densidad Óptima			0,85	0,96	1,46	g/cm ³
% Óptimo de Agregado Fino			46	56	41	%
% Óptimo de Agregado Grueso			54	44	59	%

Fuente: Autor

Con los materiales seleccionados se hizo una analogía de los requisitos de aceptación para ser utilizados en la elaboración de hormigón presentados en la NTE INEN 872, teniendo de esta manera puntos de comparación respecto a agregados convencionales, esto debido a que las fachaletas no cumplen una función estructural.

➤ **Comentarios**

El análisis granulométrico del árido grueso no se efectuó, debido a que se separó por tamaños siendo de 11mm y 8mm, teniéndose una gradación discontinua al carecer de tamaños intermedios propiciando a una región horizontal en la curva granulométrica.

Respecto a la arena de río:

Clasifica como una arena fina al ser el MF $2.01 < 2.3$; al encontrarse sus límites en los tamices No 50 y No 100 cercanos o sobrepasando el límite superior (no cumple límites INEN 872), propiciará a mezclas con buena docilidad, pero como aumenta su superficie específica (por ser más fina) se requerirá más agua y por ende más cemento. Posee una densidad normal pues su valor oscila entre 1.12 a 1.92 g/cm³ como indica la NTE INEN 694.

Respecto a los agregados de 3, 8 y 11mm:

En el árido de 3mm su módulo de finura de 3.3 sobrepasa el límite de 3.1 establecido por INEN 872, esto propiciará la obtención de mezclas ásperas.

Los valores obtenidos en condición suelta y compactada indican que los materiales poseen un peso específico bajo (menores a 1.12 g/cm³) clasificándolos como áridos de baja densidad según la definición dada en la INEN 694, es decir a comparación de un agregado promedio, estos ocuparán un mayor volumen para un mismo peso dado en relaciones aproximadas de 4,3 y 1.4 veces respectivamente, propiciando así elementos más livianos, esto por la naturaleza de los mismos materiales

Las densidades aparentes de estos materiales son bajas, pues son elementos livianos, ocupando mayor volumen para lograr un mismo peso que un material de peso normal.

Las densidades relativas son menores que 2.4, lo que ratifica que son materiales de baja densidad, como establece la INEN 694.

Análisis de la capacidad de absorción y contenido de humedad

Para los áridos de tamaños de 11mm y 8mm los valores de capacidad de absorción son altos (63% y 41% respectivamente), debiendo considerarse al momento de hacer el

diseño de mezclas, pues si se trabaja en estado seco, éstos robarán el agua de mezcla produciendo una baja docilidad y la no reacción del cemento, por ésta razón como se recomienda en el libro “Hormigón Ligero, aspectos técnicos y estéticos” se debe realizar una saturación previa de al menos 12 horas o un pre-amasado del mismo con arena con al menos el 50% del agua total es decir trabajar en estado saturado superficie seca o condición húmeda. Esto se justifica por la naturaleza porosa de estos materiales.

Para los áridos finos los valores de capacidad de absorción son normales, pero se observa de igual manera que el de tamaño de 3mm tiene un valor más alto que la arena.

Al presentarse que los áridos de tamaños de 11mm, 8mm, y 3mm son de baja densidad, mientras la arena posee una densidad normal, se tendrán curvas en las que nunca habrá una variación parabólica en donde se encuentre un pico y de esta manera la densidad aparente máxima, se tendrá una línea de tendencia lineal, pues para un mismo volumen dado el 100% de árido grueso siempre pesará menos que el 100% de arena.

Para los valores escogidos se tomaron como puntos los cambios de pendiente más pronunciados para obtener los valores requeridos.

4.4.Diseño de mezcla base para las fachaletas

El objetivo de las mezclas base será obtener iguales o mayores esfuerzos a compresión y flexión que los de las fachaletas comerciales señalados en la Tabla 4.2; debido a que la sollicitación externa de los elementos elaborados de hormigón será principalmente a compresión, el valor referencial será el obtenido por la fachaleta CB4 siendo 2.04 Mpa.

En la Tabla 4.5 se presentan los materiales utilizados para las combinaciones base, seguido la Tabla 4.6 despliega las combinaciones con la adición de PET en donde se sustituye el porcentaje de volumen ocupado por el agregado considerando aquellas 6 más críticas para el diseño.

Tabla 4.5. Componentes para las dosificaciones base

Combinación	Agua	Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso (mm)
B11_Ar	Potable	Tipo GU	Arena	11
B8_Ar				8
B3_Ar				3

Fuente: Autor

Tabla 4.6. Componentes para las dosificaciones base

Combinación	Agua	Cemento	Arena de río (%)	PET Triturado		Árido Grueso (mm)
				Sustitución (%)	Dimensión (mm)	
C1	Potable	Tipo GU	85	15	14	11
C2			75	25	14	11
C3			80	20	8	8
C4			75	25	6	3
C5			85	15	8	3
C6			75	25	14	3

Fuente: Autor

Para la dosificación del concreto se adoptó el método de la densidad óptima como base para el diseño de las mezclas, adecuándola a materiales de baja densidad al modificar su porcentaje óptimo de vacíos (POV) ya que en el modelo original estos valores arrojaban mezclas demasiado caras y poco rendidoras, y en base a prueba y error con mezclas anteriores se encontraron los POV que mejor equilibrio tuvieron en cuanto a rendimiento/precio, tomando consideraciones de la elaboración de hormigón ligero como la necesidad de morteros del tipo rico (relaciones 1:2, 1:3) pues como los agregados de baja densidad son menos resistentes que un normal, la transmisión de esfuerzos en el hormigón se da en el mortero que lo envuelve.

A continuación, se describe brevemente el método, tomando como ejemplo el diseño de B11_Ar. En la Tabla 4.7 se muestran los datos de esta combinación.

Tabla 4.7. Propiedades de materiales a utilizarse en la dosificación de B11_Ar

Resistencia a los 28 días de edad	f'c =	34	kg/cm ²
Asentamiento	Asen =	9	cm
Densidad real del Cemento	DRC =	2,896	g/cm ³
Densidad real de la arena (árido fino)	DRF =	2,697	g/cm ³
Densidad real del árido grueso	DRG =	1,146	g/cm ³
Densidad Aparente suelta de la arena (árido fino)	DASF =	1,605	g/cm ³
Densidad Aparente suelta del árido grueso	DASG =	0,366	g/cm ³
Densidad óptima de la mezcla	DOM =	0,845	g/cm ³
Porcentaje óptimo de arena (árido fino)	POF =	46	%
Porcentaje óptimo de árido grueso	POG =	54	%
Capacidad de absorción AF	CAF=	1,65	%
Capacidad de absorción AG	CAG=	62,95	%
Contenido de humedad AF	CHF=	6,12	%
Contenido de humedad AG	CHG=	6,75	%

Fuente: Autor

En base a estos datos se procede de la siguiente manera:

1. Selección de la relación agua – cemento en base a la resistencia a la compresión del hormigón

La relación $\frac{W}{C}$ (Agua/Cemento) = 0,74 la cual se obtuvo de la extrapolación de la Relación de Resistencia a los 28 días (MPa) Vs Relación ($\frac{W}{C}$) que se indica en la Figura 4.3. [27]

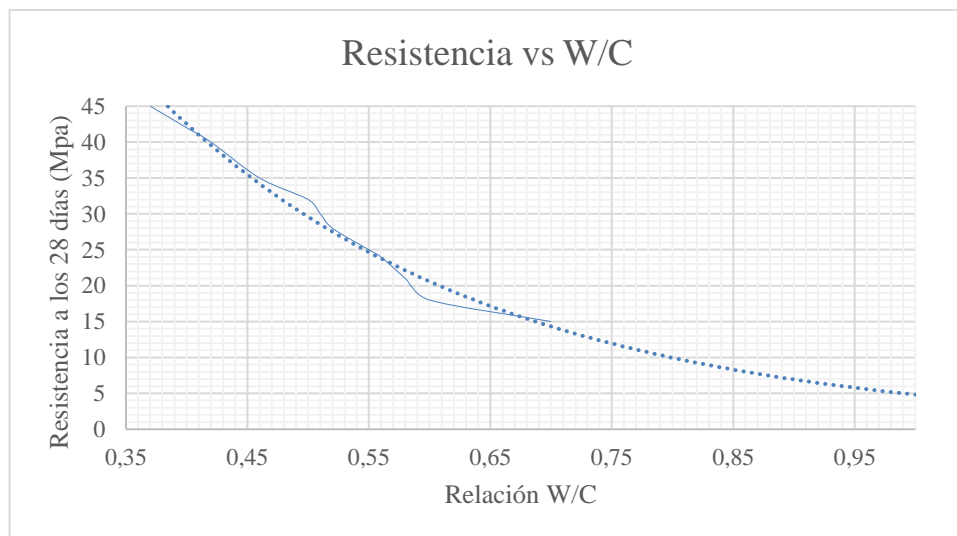


Figura 4.3. Resistencia a los 28 días (MPa) Vs la Relación de W/C

Fuente: [28]

2. Densidad Real de la Mezcla

$$DMR = \frac{DRF * POF}{100} + \frac{DRG * POG}{100} \quad \text{Ec. 4.1}$$

$$DMR = \frac{2.697 * 46}{100} + \frac{1.146 * 54}{100}$$

$$DMR = 1,860 \frac{g}{cm^3}$$

3. Porcentaje Óptimo de vacíos:

$$POV = \left[\frac{DMR - DOM}{DMR} * 100 \right] \% \quad \text{Ec. 4.2}$$

$$POV = \left[\frac{1.860 \frac{g}{cm^3} - 0.845 \frac{g}{cm^3}}{1.860 \frac{g}{cm^3}} * 100 \right] \%$$

$$POV = 54.56 \%$$

Sin embargo, se selecciona un porcentaje óptimo de vacíos de 23.0 % de acuerdo a la experiencia de la dosificación del concreto. [27]

$$POV = 23 \%$$

$$POV = \left[\frac{DMR - DOM}{DMR} * vol. hormigón \right] dm^3 \quad \text{Ec. 4.3}$$

$$POV = 230 dm^3$$

4. Cantidad de pasta para distintos asentamientos

Tabla 4.8. Cantidad de pasta

ASENTAMIENTO	CANTIDAD DE PASTA (%)
0 – 3	% OV + 2% + 3% (OV)
3 – 6	%OV + 2% + 6% (OV)
6 – 9	%OV + 2% + 8% (OV)
9 – 12	%OV + 2% + 11% (OV)
12 – 15	%OV + 2% + 13% (OV)

Fuente: [28]

$$CP = k * POV(dm^3) \quad \text{Ec. 4.4}$$

$$CP = \%OV + 2\% + 11\% * (OV)$$

$$CP = 23 + 2 + 0.11 * (23)$$

$$CP = 27.53$$

$$CP = 27.53 * 10$$

$$CP = 275.30 dm^3$$

5. Cantidades de Cemento, Arena, Agregado grueso y Agua:

a) Cemento:

$$C = \frac{10 * CP}{\left(\frac{W}{C}\right) + \left(\frac{1}{DRC}\right)} \quad \text{Ec. 4.5}$$

$$C = \frac{275.30 dm^3}{(0,74) + \left(\frac{1}{2,896 \frac{g}{cm^3}}\right)}$$

$$C = 253.67 kg$$

b) Árido Fino (Arena):

$$AF = (Vol.hormigón - CP) * \frac{POF * DRF}{100 \%} \quad \text{Ec. 4.6}$$

$$AF = (1000 - 275.30 dm^3) * \frac{46 \% * 2,697 \frac{kg}{dm^3}}{100 \%}$$

$$AF = 899.019 kg$$

c) Agregado grueso:

$$AG = (Vol.hormigón - CP) * \frac{POG * DRG}{100 \%} \quad \text{Ec. 4.7}$$

$$AG = (1000 - 275.30 \text{ dm}^3) * \frac{54 \% * 1,146 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}}{100 \%}$$

$$AG = 448.45 \text{ kg}$$

d) *Agua:*

$$W = \frac{w}{C} * C \quad \text{Ec. 4.8}$$

$$W = 0.74 * 253.67 \text{ k}$$

$$W = 187.72 \text{ Lit}$$

6. Dosificación para probetas requeridas

Tabla 4.9. Dimensiones de los cilindros para la dosificación del hormigón

DIMENSIONES MOLDES			
Cant.	2	%Pérdida=	30 %
Ø:	100 mm	V:	1,571 dm ³
h:	200 mm	Vt:	4,084 dm ³

Fuente: Autor

7. Dosificación al peso

La cantidad del hormigón determinamos en función a la sumatoria de material para 1 m³ y el volumen total a utilizarse en los moldes

$$\text{Cantidad de hormigón (g)} = 1789.03 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4.084 \text{ dm}^3 = 7306,513 \text{ kg}$$

Tabla 4.10. Dosificación al peso de dosificación base para B11_Ar

Material	A	B	C
	Cantidades para 1m ³ de hormigón (kg)	Dosificación al peso	Cantidad para saco de 50 Kg
1 Agua	187,72	0,74	37
2 Cemento	253.67	1,00	50
3 Arena	899.19	3,54	177,23
4 Ripio	448.45	1,77	88,4
SUMATORIA	1789,03 kg/m ³	7,05	352.6 kg

Fuente: Autor

Dosificación para probetas requeridas

Cantidad de hormigón (kg): 7306,513 kg

$$37x + x + 177.23x + 88.4x = 7306,513 \text{ kg}$$

$$x(g) = 1036,01 \text{ g}$$

Tabla 4.11. Dosificación al peso de 2 cilindros de hormigón con 30% de desperdicio

Material	Dosificación al peso	Dosificación para 2 probetas con 30% de desperdicio			
		Original	Adicionar	Dosificación M.	Corrección por humedad.
W	0,74	766,6	288,72 ml	1,02	1055,4 cc
C	1,00	1036,0	-----	1,00	1036,0 g
AF	3,54	3672,03	123,3 g	3,66	3795,6 g
AG	1,77	1831,5	-655,7 g	1,13	1175,8 g

Fuente: Autor

7.1 Fórmulas empleadas para la corrección por humedad

$$\text{➤ Agregado fino (AF)} = \text{Masa(Agregado Fino)} * \frac{100 + \% \text{ Humedad}}{100 + \% \text{ Absorción}} * 0,99 \quad \text{Ec. 4.9}$$

$$\text{Agregado fino (AF)} = 3672,3 \text{ g} * \frac{100 \% + 6.12\%}{100\% + 1.65\%} * 0,99$$

$$\text{Agregado fino (AF)} = 3795,6 \text{ g}$$

$$\text{➤ Agua (AF)} = \text{Masa(AF)} * \frac{\% \text{ Humedad(AF)} - \% \text{ Absorción(AF)}}{100 + \% \text{ Absorción(AF)}} \quad \text{Ec. 4. 10}$$

$$\text{Agua (AF)} = 3795,6 \text{ g} * \frac{6.12\% - 1.65\%}{100\% + 1.65\%}$$

$$\text{Agua (AF)} = 166,909 \text{ g}$$

$$\text{➤ Agregado grueso(AG)} = \text{Masa(AG)} * \frac{100 + \% \text{ Humedad}}{100 + \% \text{ Absorción}} * 0,98 \quad \text{Ec. 4.11}$$

$$\text{Agregado grueso(AG)} = 1831,5 \text{ g} * \frac{100\% + 6.75\%}{100\% + 62.95\%} * 0,98$$

$$\text{Agregado grueso(AG)} = 1175,8 \text{ g}$$

$$\text{➤ Agua (AG)} = \text{Masa(AG)} * \frac{\% \text{ Humedad(AG)} - \% \text{ Absorción(AG)}}{100 + \% \text{ Absorción(AG)}} \quad \text{Ec. 4.12}$$

$$Agua (AG) = 1175,8 g * \frac{6.75\% - 62.95\%}{100\% + 62.95\%}$$

$$Agua (AG) = -405.523g$$

➤ *Cemento* = 1036,0 g

➤ *Agua total* = [*Agua Inicial* - (*Agua (AF)* + *Agua(AG)*)] * 1.05

Ec. 4. 13

$$Agua total = [766.7 - (166,909 g + (-405.523g))] * 1.05$$

$$Agua total = 1055,4 cc$$

4.4.1. Resumen de dosificaciones de prueba realizadas para cilindros de 100 x200 mm

Tabla 4.12. Resumen de dosificaciones de prueba para hormigón base y sustitución de PET

Normas: INEN 1578 (Asentamiento)													fck= 1,7 Mpa		fcm= 3,4 Mpa					
INEN 3124 (Elaboración y curado cilindros)													n 2		0.7fcm= 2,38 Mpa					
INEN 1579 (Densidad, contenido de aire y rendimiento)													Cement.. Hidráulico GU							
Realizado por : Ing. Willan Castillo Herrera																				
ID	Vol t dm3	W/C orig	Dosif. al peso con correc					Cantidades para cada elemento					Peso total (g)	Densi teor. kg/m³	Estado fresco			Estado endurecido 7 días		
			W	C	AF	AG	PET	W (cc)	C (g)	AF (g)	AG (g)	PET (g)			Densi kg/m³	Cont. aire	Rend Relat	Densi sss kg/m³	Esfuerzo (Mpa)	% (65-75)
B11_Ar	4,084	0,74	1,02	1,00	3,66	1,13	---	1055,4	1036,0	3795,6	1175,8	---	7062,9	1789,0	1714,5	4,17%	1,04	1762,0	5,28	155%
B8_Ar	4,084	0,70	0,89	1,00	4,05	1,00	---	1004,5	1129,87	4578	1133,0	---	7845,4	1955,4	1906,7	2,49%	1,03	1950,8	5,00	147%
B3_Ar	3,456	0,69	0,89	1,00	3,57	2,11	---	897,8	1011,60	3615,0	2133,6	---	7658,0	2138,1	1902,2	11,04%	1,12	1950,1	2,96	87%
C1	4,084	0,74	1,02	1,00	3,66	0,96	0,12	1055,4	1036,0	3795,6	999,4	121,6	7008,1	1789,0	1775,0	0,78%	1,01	1806,8	5,31	156%
C2	4,084	0,74	1,02	1,00	3,66	0,85	0,20	1055,4	1036,0	3795,6	881,9	202,7	6971,6	1789,0	1787,1	0,11%	1,00	1801,4	4,25	125%
C3	4,084	0,70	0,89	1,00	4,05	0,80	0,14	1004,5	1129,9	4578,1	906,4	155,1	7774,0	1955,4	1917,3	1,95%	1,02	1934,8	4,33	127%
C4	3,456	0,69	0,89	1,00	3,57	1,58	0,16	897,8	1011,6	3615,0	1600,2	160,6	7285,3	2138,1	1893,2	11,45%	1,13	1931,2	3,23	95%
C5	3,456	0,69	0,89	1,00	3,57	1,79	0,11	897,8	1011,6	3615,0	1813,6	107,6	7445,6	2138,1	1706,9	20,17%	1,25	1829,0	2,70	79%
C6	3,456	0,69	0,89	1,00	3,57	1,58	0,13	897,8	1011,6	3615,0	1600,2	132,4	7257,0	2138,1	1736,3	18,80%	1,23	1895,0	3,27	96%

Fuente: Autor

La Tabla 4.12 presenta un resumen de los **Anexos B, C, D1, D2 y D3** y dentro de los parámetros señalados en ésta se tienen los siguientes:

- La resistencia característica a compresión (F_{ck} , nivel de confianza 95%) fue la obtenida por la fachaleta comercial CB4 siendo de 2.04 MPa, pero redondeándose a 2 MPa.
- El factor de seguridad (n) con el que se trabajó fue del 70% considerando las posibles afectaciones externas referentes a errores en las diversas etapas de la elaboración de las fachaletas y asegurando la obtención de un mayor esfuerzo a compresión que el de la fachaleta comercial CB4, equiparando el aumento de precio que generará el proceso de obtención de PET; obteniéndose así el valor de 3.4 MPa de la resistencia media a la compresión a los 28 días, con el que se realizó el diseño de las mezclas base.

El valor que se espera obtener a los 7 días de la resistencia media oscila entre el 65 al 75%, trabajándose con el promedio, es decir el 70%, que es un valor de 2.38 MPa; se puede apreciar que en las combinaciones B11_Ar se llega hasta un 155% con relación a la resistencia media a la compresión a los 28 días (3.4 MPa).

Así mismo a pesar de obtener buenos resultados en los ensayos de probetas cilíndricas (morteros ordinarios 1:4, en relación al volumen), al momento de efectuarlas las dosificaciones en fachaletas éstas se partían de manera prematura mostrando poca cohesión, por lo que se recomienda efectuar las pruebas en las condiciones finales para las que se destina la mezcla, es decir las fachaletas; esto llevó a un reajuste del porcentaje óptimo de vacíos (POV) con la finalidad de aumentar la cantidad de cemento para trabajar con morteros ricos (1:2), quedando finalmente las dosificaciones base presentadas en el **Anexo E** y logrando así la dosificación final para las 45 combinaciones de las fachaletas.

4.4.2. Dosificación de fachaletas

Son 45 combinaciones realizadas para obtener 2 fachaletas para los ensayos de flexión y compresión; los materiales se deben pesar y posteriormente realizar su mezcla para ser vertida en un molde de 499 mm de largo, 122 mm de ancho y una altura de 43 mm.

Tabla 4.13. Dosificaciones por realizarse en las fachaletas

COMBINACIONES REQUERIDAS								
Combinación	PET (%)	Dimensión del PET (mm)	Dimensión del agregado (mm)	DOSIFICACIONES				
	15-20-25	6-8-14	3-8-11	W (cc)	C (g)	AF (g)	PET (g)	AG (g)
1	20	8	8	883	1146	2462	103	602
2	25	14	8	883	1146	2462	95	564
3	20	6	3	952	1189	1965	130	1723
4	20	14	3	952	1189	1965	107	1723
5	20	6	11	961	1104	2247	118	563
6	15	6	8	883	1146	2462	69	639
7	15	8	11	961	1104	2247	99	598
8	25	14	8	883	1146	2462	95	564
9	15	14	8	883	1146	2462	57	639
10	20	8	8	883	1146	2462	103	602
11	15	8	3	952	1189	1965	109	1831
12	20	8	8	883	1146	2462	103	602
13	25	6	8	883	1146	2462	115	564
14	20	8	8	883	1146	2462	103	602
15	25	8	3	952	1189	1965	181	1616
16	25	6	8	883	1146	2462	115	564
17	25	8	11	961	1104	2247	164	527
18	25	8	3	952	1189	1965	181	1616
19	20	14	11	961	1104	2247	97	563
20	25	8	3	952	1189	1965	181	1616
21	20	8	8	883	1146	2462	103	602
22	20	6	11	961	1104	2247	118	563
23	20	8	8	883	1146	2462	103	602
24	20	8	8	883	1146	2462	103	602
25	20	14	11	961	1104	2247	97	563
26	25	8	11	961	1104	2247	164	527
27	20	8	8	883	1146	2462	103	602
28	25	14	8	883	1146	2462	95	564
29	20	8	8	883	1146	2462	103	602
30	15	8	3	952	1189	1965	109	1831
31	25	8	11	961	1104	2247	164	527
32	15	14	8	883	1146	2462	57	639
33	20	14	3	952	1189	1965	107	1723
34	15	6	8	883	1146	2462	69	639
35	15	14	8	883	1146	2462	57	639
36	20	6	3	952	1189	1965	130	1723
37	20	6	11	961	1104	2247	118	563
38	20	14	3	952	1189	1965	107	1723
39	20	6	3	952	1189	1965	130	1723
40	15	8	11	961	1104	2247	99	598
41	20	14	11	961	1104	2247	97	563
42	15	8	3	952	1189	1965	109	1831
43	15	6	8	883	1146	2462	69	639
44	25	6	8	883	1146	2462	115	564
45	15	8	11	961	1104	2247	99	598

Fuente: Autor

4.5. Construcción del molde para la fachaleta

Se procedió a seleccionar el material Artesil 1 que es un elastómero de silicona, el mismo que se procede a mezclar a temperatura ambiente. Posteriormente se obtiene un molde flexible, elástico y de excelentes propiedades mecánicas para poder realizar varias réplicas de las fachaletas (Ver Figura 4.4).



Figura 4.4. Molde a utilizar para fabricación de fachaletas

Fuente: Autor

4.6. Resultados de los ensayos de las fachaletas elaboradas de concreto más la adición de triturado de tereftalato de polietileno reciclado

En la Figura 4.5 se muestra el modelo de la fachaleta obtenida en esta investigación, misma que está constituida de concreto y la adición del triturado de PET reciclado de botellas plásticas. Esta fachaleta se denomina también ecológica por motivo que se encapsula en su interior un material que no contamina el medio ambiente para ser reutilizado en la industria de la construcción, además posee un buen acabado superficial.



Figura 4.5. Modelo de fachaleta desarrollada en la investigación

Fuente: Autor

Se procedió a realizar los ensayos de flexión a 4 puntos (Figura 4.6), así como el de compresión (Figura 4.7) en las fachaletas a los 21 días de edad, para lo cual se utilizó

la Máquina Shimadzu – Concreto 2000x del Laboratorio de Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

➤ **Ensayo a flexión**

El ensayo de flexión se realiza a 4 puntos, para lo cual se procede a utilizar una fachaleta a la cual se procede a señalar las siguientes dimensiones: Soporte superior: 15 cm y el soporte Inferior: 42 cm. Las medidas del espesor es 10 cm y la anchura es 3 cm. Las mismas medidas se ingresan en el Software de la máquina Shimadzu – Concreto 2000x.

Posteriormente se coloca la fachaleta en la máquina Shimadzu – Concreto 2000x para aplicar la carga a flexión. El esfuerzo máximo a flexión que soporta la fachaleta es de 1.59958 MPa la cual pertenece a la combinación 2A la cual está fabricada con un 25% de triturado de PET reciclado, la dimensión del tereftalato de polietileno de 14mm y la dimensión del agregado de 8mm.



Figura 4.6. Ensayo a flexión de fachaleta a 4 puntos, Norma INEN 2554: 2011

Fuente: Autor

La rotura de las fachaletas que se presenta luego del ensayo a flexión a 4 puntos se presenta en la Figura 4.7, el tipo de rotura se presenta igual en las 45 fachaletas ensayadas.

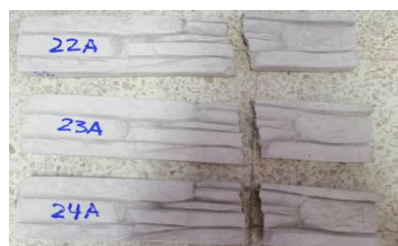


Figura 4.7. Rotura de fachaletas a flexión, combinación 22 A, 23 A, 24 A.

Fuente: Autor

➤ Ensayo a compresión

El ensayo de compresión se realiza insertando la fachaleta en la Máquina Shimadzu – Concreto 2000x, para lo cual se determina las medidas del área de 141cm^2 y la altura de 10cm, estos valores se ingresan en el Software de la Máquina Shimadzu – Concreto 2000x.

Se coloca la fachaleta en la Máquina Shimadzu – Concreto 2000x para aplicar la carga a compresión. El esfuerzo máximo que soporta la fachaleta es de 4. 31367 MPa la cual pertenece a la combinación 37B que está con un 20% de triturado de PET reciclado, la dimensión del tereftalato de polietileno de 6mm y la dimensión del agregado de 11mm.



Figura 4.8. Ensayo a compresión de fachaleta, Norma INEN 1573 -2010

Fuente: Autor

La rotura de las fachaletas que se presenta luego de realizar el ensayo a compresión se muestra en la Figura 4.9, siendo igual en las 45 fachaletas ensayadas.

La densidad de las fachaletas se determinó mediante fórmula en cada una de las combinaciones.

Los resultados obtenidos de los 90 ensayos realizados de flexión a 4 puntos y compresión de las fachaletas de concreto más la adición del triturado de tereftalato de polietileno reciclado se muestran en la Tabla 4.14



Figura 4.9. Rotura de fachaletas a compresión, combinaciones 39B, 34B, 35B, 36 B, 37B, 38B.

Fuente: Autor

4.7. Peso de Fachaletas de concreto más adición de triturado de PET reciclado


Para obtener el peso se utilizó una balanza electrónica marca Hotcom Modelo DJ6001A y serie CHQ-DJ de 6000 g x 0.1 g, que se encuentra en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. La toma del peso se realizó a los 21 días luego de la fabricación y a 10 minutos a realizar el ensayo de flexión a 4 puntos y el ensayo de compresión en todas las 90 fachaletas con la finalidad de comparar con el peso de las fachaletas comerciales.



Figura 4.10. Balanza electrónica Hotcom



Fuente: Autor

Tabla 4.14. Resultados de los ensayos en fachaletas elaboradas

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Laboratorios de Ingeniería Civil 									
RESULTADOS DE ESFUERZOS A FLEXIÓN A 4 PUNTOS Y COMPRESIÓN DE FACHALETAS DE CONCRETO MÁS LA ADICIÓN DE TRITURADO DE TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO									
Número de muestras: 90 Fachaletas					Fecha de expedición: 29 de Marzo del 2019				
Realizado Por: Ing. Willan Castillo Herrera									
Comb	Densidad (kg/m ³)	ENSAYO A FLEXIÓN			ENSAYO A COMPRESIÓN			FECHAS	
		Fuerza (KN)	Esfuerzo (Mpa)	Deformación (mm)	Fuerza (KN)	Esfuerzo (Mpa)	Max Defor (%)	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo
1	1772	0,86975	1,17416	0,62675	42,9000	3,04255	2,12772	19/3/2019	9/4/2019
2	1756	1,17747	1,59958	0,62988	50,5000	3,58156	3,02143		
3	2032	0,89995	1,21493	0,58850	58,3000	4,13475	3,17192		
4	2024	0,67902	0,91667	0,25338	32,6000	2,31205	0,90956	20/3/2019	10/4/2019
5	1702	0,79950	1,07932	0,34100	50,5000	3,58156	3,43944		
6	1773	0,86975	1,17416	0,92413	34,9000	2,47517	2,27310		
7	1708	0,42084	0,56820	0,12475	33,2889	2,36099	2,65725	21/3/2019	11/4/2019
8	1756	0,47620	0,64287	0,57400	58,7095	4,16379	3,03875		
9	1769	0,85417	1,15314	0,45950	57,6251	4,08689	2,94575		
10	1772	0,68601	0,92611	0,47600	39,6185	2,80982	2,00450	22/3/2019	12/4/2019
11	2061	0,54550	0,73643	0,22263	39,3438	2,79034	1,69600		
12	1772	0,43996	0,59395	0,29750	25,4787	1,80700	1,84338		
13	1763	0,72416	0,97761	0,68438	42,3110	3,00078	3,34688	25/3/2019	15/4/2019
14	1772	0,69745	0,94156	0,48163	57,5549	4,08191	3,65475		
15	2013	0,58142	0,78492	0,67375	35,3308	2,50573	2,76250		
16	1763	0,56903	0,76818	0,95975	39,0781	2,77150	2,28600	26/3/2019	16/4/2019
17	1706	0,58174	0,78535	0,63825	43,2673	3,06860	2,61663		
18	2013	0,51117	0,69008	1,22613	41,1841	2,92086	1,68138		
19	1695	0,70222	0,94800	1,66350	36,3973	2,58137	2,08475	27/3/2019	17/4/2019
20	2013	0,83733	1,13039	1,82725	46,8009	3,31922	2,57238		
21	1772	0,68188	0,92053	1,27313	45,3800	3,21844	1,98350		
22	1702	1,07066	1,44539	1,08625	51,1176	3,62536	3,48150	28/3/2019	18/4/2019
23	1772	1,08274	1,46170	0,96850	57,3546	4,06770	3,56200		
24	1772	1,01980	1,37672	0,46500	56,1667	3,98345	3,68075		
25	1695	0,94223	1,27201	1,11650	34,4038	2,43999	2,54675	29/3/2019	19/4/2019
26	1706	0,84623	1,14241	1,37600	41,2626	2,92643	3,20075		
27	1772	0,84686	1,14327	1,10013	42,3508	3,00360	2,24188		
28	1756	0,51435	0,69437	1,10525	42,0141	2,97973	2,25325	1/4/2019	22/4/2019
29	1772	0,77693	1,04885	0,28175	42,5860	3,02028	2,89538		
30	2061	0,37130	0,50125	0,12825	28,7024	2,03563	2,59600		
31	1706	0,64214	0,86689	0,74888	40,6342	2,88186	2,96000	2/4/2019	23/4/2019
32	1769	1,07479	1,45097	0,51950	51,9985	3,68783	3,94800		
33	2024	0,67900	0,91665	0,25336	58,1640	4,12510	3,60163		
34	1773	0,85704	1,15700	0,93663	54,3448	3,85424	2,07388	3/4/2019	24/4/2019
35	1769	1,12979	1,52521	1,47975	58,0594	4,11769	1,20500		
36	2032	0,84050	1,13468	1,32700	53,7386	3,81125	2,92375		
37	1702	0,78964	1,06602	1,85825	60,8228	4,31367	2,59325	4/4/2019	25/4/2019
38	2024	0,64023	0,86432	1,20750	38,8715	2,75684	1,57000		
39	2032	0,73147	0,98748	2,70813	38,8165	2,75294	2,01400		
40	1708	0,63324	0,85487	1,68613	38,8009	2,75184	2,94400	5/4/2019	26/4/2019
41	1695	0,86530	1,16816	2,17125	46,1404	3,27237	2,83850		
42	2061	0,72734	0,98190	0,53650	58,8147	3,88756	4,41950		
43	1773	0,71748	0,96860	0,99650	56,5440	4,01021	3,71475	8/4/2019	29/4/2019
44	1763	0,72320	0,97632	1,04425	51,1939	3,63077	2,69825		
45	1708	0,73814	0,99649	1,62188	51,1011	3,62419	2,65437		

Fuente: Autor

Tabla 4.15. Peso de las fachaletas con adición de triturado de PET reciclado

 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Laboratorios de Ingeniería Civil </div> 												
PESO DE FACHALETAS DE CONCRETO MÁS LA ADICIÓN DE TRITURADO DE TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO												
Número de muestras: 90 Fachaletas						Fecha de expedición: 29 de Marzo del 2019						
Realizado Por: Ing. Willan Castillo Herrera												
COMBINACIONES REQUERIDAS									ENSAYO A FLEXIÓN	ENSAYO A COMPRESIÓN	FECHAS	
Comb	PET (%)	Dimensión PET (mm)	Dimensión Agregado (mm)	DOSIFICACIONES					Peso (Kg)	Peso (Kg)	Fecha de Fabricación	Fecha de Ensayo
	15-20-25	6-8-14	3-8-11	W (cc)	C (g)	AF (g)	PET (g)	AG (g)				
1	20	8	8	883	1146	2462	103	602	1,780	1,790		
2	25	14	8	883	1146	2462	95	564	1,850	1,790	19/3/2019	9/4/2019
3	20	6	3	952	1189	1965	130	1723	1,800	1,890		
4	20	14	3	952	1189	1965	107	1723	1,820	1,880		
5	20	6	11	961	1104	2247	118	563	1,720	1,740	20/3/2019	10/4/2019
6	15	6	8	883	1146	2462	69	639	1,740	1,770		
7	15	8	11	961	1104	2247	99	598	1,630	1,580		
8	25	14	8	883	1146	2462	95	564	1,850	1,870	21/3/2019	11/4/2019
9	15	14	8	883	1146	2462	57	639	1,810	1,800		
10	20	8	8	883	1146	2462	103	602	1,770	1,690		
11	15	8	3	952	1189	1965	109	1831	1,650	1,760	22/3/2019	12/4/2019
12	20	8	8	883	1146	2462	103	602	1,690	1,870		
13	25	6	8	883	1146	2462	115	564	1,780	1,850		
14	20	8	8	883	1146	2462	103	602	1,740	1,780	25/3/2019	15/4/2019
15	25	8	3	952	1189	1965	181	1616	1,780	1,770		
16	25	6	8	883	1146	2462	115	564	1,740	1,770		
17	25	8	11	961	1104	2247	164	527	1,640	1,610	26/3/2019	16/4/2019
18	25	8	3	952	1189	1965	181	1616	1,700	1,720		
19	20	14	11	961	1104	2247	97	563	1,660	1,620		
20	25	8	3	952	1189	1965	181	1616	1,840	1,790	27/3/2019	17/4/2019
21	20	8	8	883	1146	2462	103	602	1,770	1,780		
22	20	6	11	961	1104	2247	118	563	1,610	1,550		
23	20	8	8	883	1146	2462	103	602	1,810	1,730	28/3/2019	18/4/2019
24	20	8	8	883	1146	2462	103	602	1,720	1,760		
25	20	14	11	961	1104	2247	97	563	1,520	1,530		
26	25	8	11	961	1104	2247	164	527	1,620	1,640	29/3/2019	19/4/2019
27	20	8	8	883	1146	2462	103	602	1,670	1,730		
28	25	14	8	883	1146	2462	95	564	1,740	1,740		
29	20	8	8	883	1146	2462	103	602	1,730	1,700	1/4/2019	22/4/2019
30	15	8	3	952	1189	1965	109	1831	1,170	1,690		
31	25	8	11	961	1104	2247	164	527	1,540	1,620		
32	15	14	8	883	1146	2462	57	639	1,740	1,680	2/4/2019	23/4/2019
33	20	14	3	952	1189	1965	107	1723	1,730	1,700		
34	15	6	8	883	1146	2462	69	639	1,720	1,660		
35	15	14	8	883	1146	2462	57	639	1,790	1,730	3/4/2019	24/4/2019
36	20	6	3	952	1189	1965	130	1723	1,690	1,700		
37	20	6	11	961	1104	2247	118	563	1,650	1,700		
38	20	14	3	952	1189	1965	107	1723	1,690	1,700	4/4/2019	25/4/2019
39	20	6	3	952	1189	1965	130	1723	1,620	1,640		
40	15	8	11	961	1104	2247	99	598	1,620	1,620		
41	20	14	11	961	1104	2247	97	563	1,570	1,600	5/4/2019	26/4/2019
42	15	8	3	952	1189	1965	109	1831	1,640	1,640		
43	15	6	8	883	1146	2462	69	639	1,760	1,730		
44	25	6	8	883	1146	2462	115	564	1,640	1,670	8/4/2019	29/4/2019
45	15	8	11	961	1104	2247	99	598	1,620	1,670		

Fuente: Autor

4.8 Optimización mediante metodología de superficies

Con los resultados obtenidos en los ensayos de flexión a 4 puntos y de compresión se procede a la eliminación de los valores atípicos, para lo cual se realizan dos matrices una para la densidad y otra para los ensayos de flexión y compresión de las 15 combinaciones de las fachaletas. Para la verificación de la hipótesis se realiza únicamente para 2 réplicas para lo cual se hizo referencia a los dos valores más cercanos.

4.9. Análisis de la Densidad de las fachaletas

4.9.1. Organización de datos

Considerando los factores de entrada: porcentaje de PET, dimensión del PET y dimensión del agregado; y el objetivo de optimizar los mismos; se efectúa un Diseño de Superficie de Respuesta considerando el Diseño de Box Behnken para plantear la matriz dispuesta en la Tabla 4.16, en la que se tienen 15 tratamientos los cuales cuentan con 3 puntos al centro, la respuesta experimental a analizar es la densidad.

Tabla 4.16. Matriz del diseño de Box Behnken

% PET	Dimensión del PET (mm)	Dimensión del Agregado (mm)	Densidad (kg/m³)
20	6	3	2031.93
15	8	3	2061.48
25	8	3	2012.73
20	14	3	2024.16
15	6	8	1772.85
25	6	8	1762.92
20	8	8	1771.56
20	8	8	1771.56
20	8	8	1771.56
15	14	8	1768.71
25	14	8	1756.02
20	6	11	1702.09
15	8	11	1707.57
25	8	11	1705.99
20	14	11	1695.04

Fuente: Autor

4.9.2. Análisis de la varianza

Teniendo presente que el objetivo es optimizar, un medio para conseguir esto es basar el análisis en encontrar un tratamiento particularmente diferente al resto para esta respuesta experimental, catalogándolo como el mejor. Es así como se plantea la hipótesis a probar de la siguiente manera:

H₀: Las medias poblacionales de la densidad son estadísticamente iguales.

H₁: Al menos una de las medias poblacionales de la densidad es estadísticamente diferente.

Se analiza la variabilidad de la densidad transformada por Box-Cox, empleando un parámetro de transformación de 0.

Tabla 4.17. Análisis de la varianza de la densidad transformada

Fuente de variabilidad	G.L.	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Valor- <i>p</i>
Modelo	6	0.072800	0.012133	4834.71	0.000
% PET	1	0.000177	0.000177	70.68	0.000
Dim. PET	1	0.000025	0.000025	10.11	0.013
Dim. Agregado	1	0.062708	0.062708	24986.96	0.000
Dim. PET*Dim. PET	1	0.000064	0.000064	25.66	0.001
Dim. Agreg.*Dim. Agreg.	1	0.009531	0.009531	3797.67	0.000
% PET*Dim. Agregado	1	0.000132	0.000132	52.74	0.000
Falta de ajuste	6	0.000020	0.000003	-	-
Error puro	2	0.000000	0.000000		
Total	14	0.072820			

Fuente: Autor

Con la información de la Tabla 4.17, se revisa el valor de la significancia calculada del modelo, siendo esta de 0.000 y menor a la significancia predefinida de 0.05 se puede rechazar la hipótesis nula, asegurando que consta un tratamiento diferente del resto, permitiendo decir que existe un caso óptimo.

El modelo de regresión de superficie de respuesta explica un 99.97% de la variabilidad de la densidad transformada y para confiar plenamente en que se tiene la precisión adecuada, se procede, previo a más interpretaciones del análisis de la varianza, a verificar los supuestos paramétricos.

4.9.3. Verificación de supuestos

➤ Normalidad de los residuos

Para comprobar que los residuos cumplan con el supuesto de normalidad, es adecuado emplear la prueba de bondad de ajuste de Anderson – Darling, en la que a través de su estadístico se puede estimar el valor de la significancia calculada de 0.051, el mismo que se contrasta con la significancia predefinida de 0.05, poniendo en evidencia que la primera es mayor.

Esto expresa que se comprueba el supuesto, afirmando que en base a la información con la que se cuenta, no se rechaza la hipótesis nula.

H₀: Los residuos de la densidad provienen de una distribución normal

H₁: Los residuos de la densidad no provienen de una distribución normal

En la Figura 4.11 se disponen los estadísticos de prueba, la significancia calculada y el gráfico de probabilidad normal, con el que se puede corroborar lo expresado con la significancia.

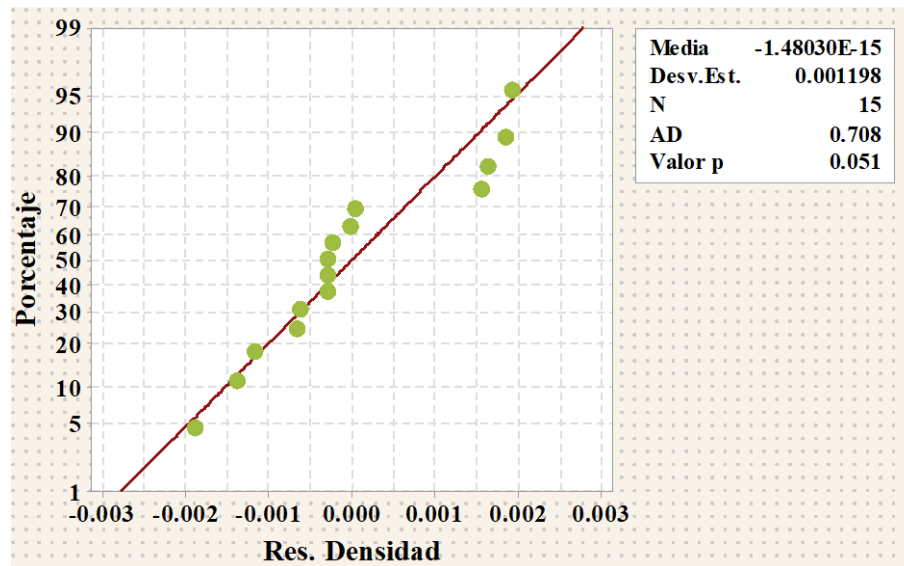


Figura 4.11. Transformada de probabilidad normal de los residuos de la densidad

Fuente: Autor

➤ **Igualdad de varianza de los tratamientos**

Para comprobar que los residuos cumplan con el supuesto de igualdad de varianza en los tratamientos, se revisa la información de la Figura 4.12, en la que se presenta la gráfica de los ajustes versus los residuos; esta gráfica describe los residuos distribuidos de manera aleatoria en una franja horizontal, esto indica que a razón que los valores de los ajustes o respuestas predichas aumentan, el error atribuido a cada uno de estos ajustes se mantiene constante; este comportamiento se interpreta como una clara muestras de que los tratamientos tienen varianza constante.

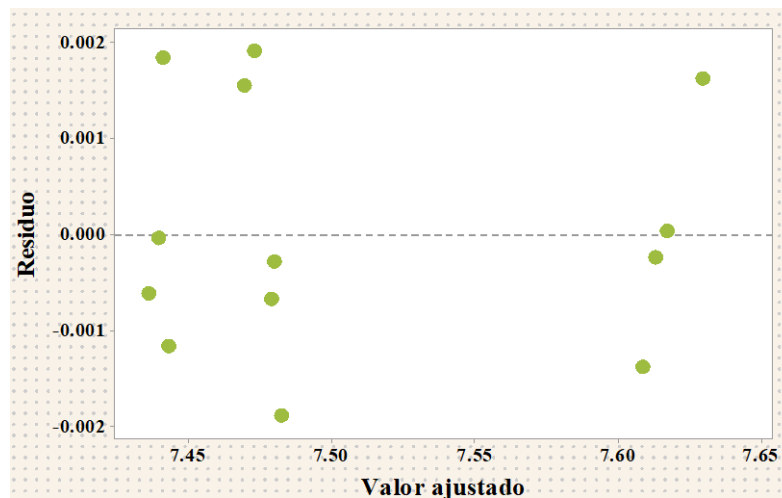


Figura 4.12. Ajustes vs residuos de la densidad transformada

Fuente: Autor

➤ **Independencia de residuos**

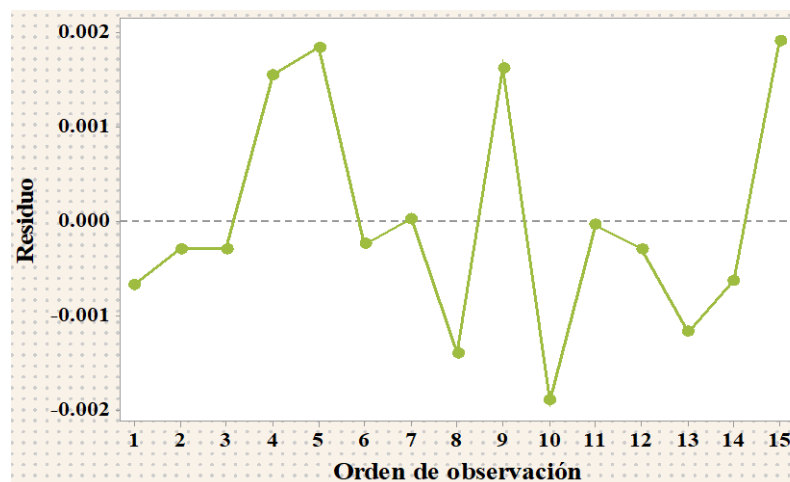


Figura 4.13. Residuos vs orden de observación de la densidad transformada

Fuente: Autor

Para comprobar que los residuos cumplan con el supuesto de independencia, analizamos la información brindada por la gráfica de los residuos versus el orden de observación, mostrada en la Figura 4.13, en la que se entiende que los residuos no siguen un patrón definido en función del orden en el que se consideraron, esto indica una clara independencia entre ellos y de factores no estimados en el análisis.

4.9.4. Gráficas factoriales

➤ Efectos principales

Para complementar la información de la tabla del análisis de la varianza, se revisa a gráfica de efectos principales que se muestra en la Figura 4.14, esta gráfica aclara el marcado efecto que genera el variar la dimensión del agregado sobre la densidad del material. Hay que aclarar que, de acuerdo con la curvatura de la línea descrita por este factor, se puede afirmar la presencia de un efecto cuadrático o de segundo orden sobre la respuesta experimental antes mencionada.

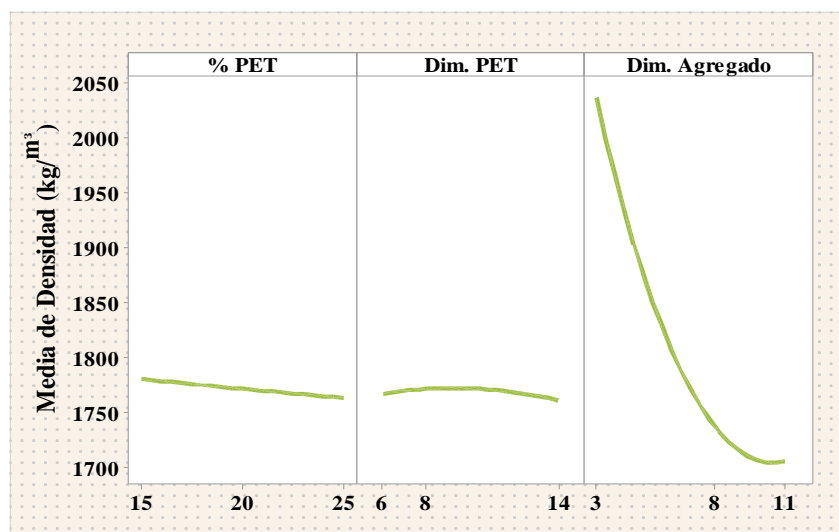


Figura 4.14. Gráfica de efectos principales de la densidad transformada

Fuente: Autor

De manera general se especifica una acentuada reducción de la densidad al aumentar la dimensión del agregado hasta su nivel alto.

Contrario a lo anteriormente mencionado, se observa que el porcentaje y la dimensión del PET no influyen significativamente sobre los valores de la densidad.

➤ Interacciones

Se presenta particular interés en el efecto activo que proporciona la interacción entre el porcentaje de PET y la dimensión del agregado, este efecto de interacción se visualiza en la Figura 4.15, aquí se puede confirmar que el cambio en el nivel de la dimensión del agregado repercute de manera considerable en los valores de densidad para los niveles del porcentaje de PET.

A manera de ejemplo se puede entender que: para un agregado de 3 mm, la densidad baja al variar el porcentaje de PET, sin embargo, al tener un agregado de 8 mm, la densidad aumenta en función que se aumente el porcentaje de PET.

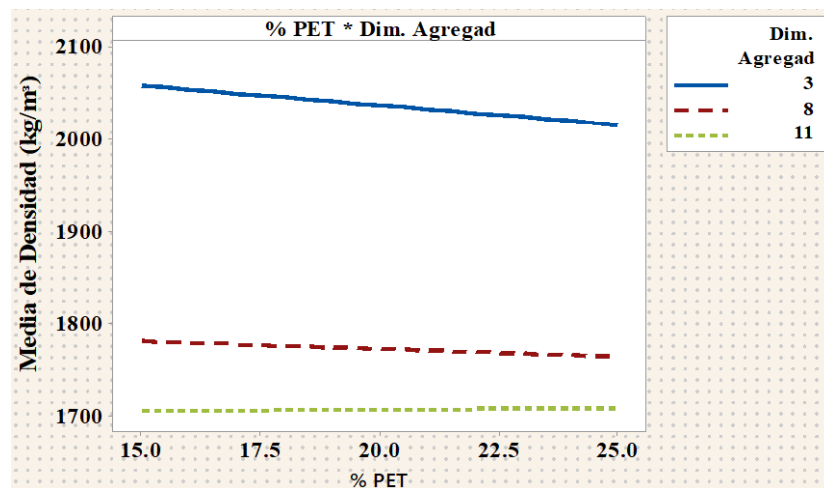


Figura 4.15. Efectos de interacción de la densidad transformada

Fuente: Autor

➤ Superficie

De acuerdo con la limitación visual de poder apreciar solo una percepción tridimensional de la superficie generada por el modelo, se dispone de una gráfica por cada par de combinación de factores, estas gráficas se visualizan en la Figura 4.16.

Cuando se toma en consideración el porcentaje y la dimensión del PET, se puede notar claramente que el valor más bajo de densidad se da cuando se emplea un alto porcentaje de PET y un tamaño grande de PET.

También se puede ver la gráfica en la que se consideraron el porcentaje de PET y la dimensión de agregado, en la que, a menor porcentaje de PET y mayor dimensión de

agregado, la densidad baja contundentemente. Finalmente se toma la gráfica en la que se puede ver las dimensiones de agregado y del PET, aquí se nota que el valor más bajo de densidad se obtiene al combinar una baja dimensión de PET y una dimensión grande de agregado.

Para un enfoque más preciso, a más de requerir visualizar lo que sucede con la densidad en cada par de factores, es necesario encontrar un punto óptimo general para la respuesta experimental analizada, en este caso la densidad.

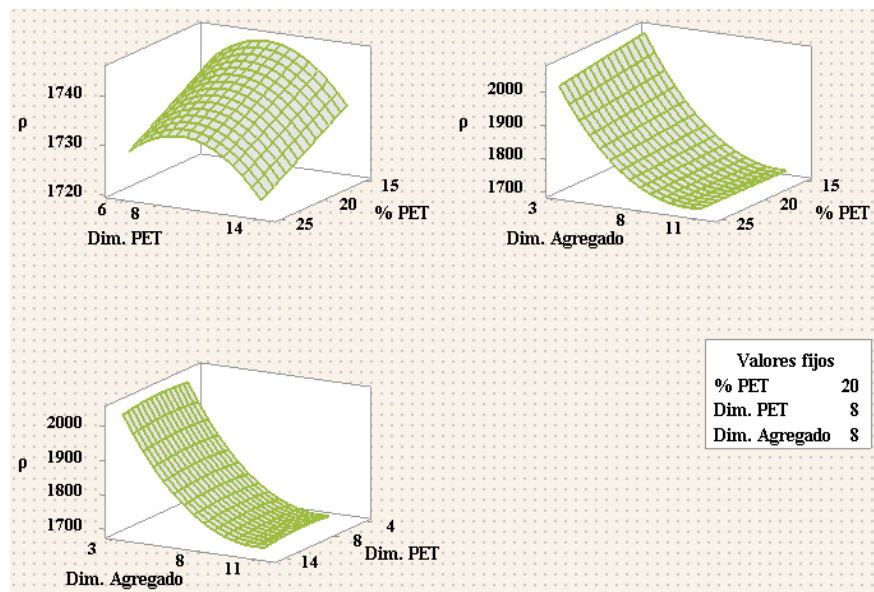


Figura 4.16. Superficie de la densidad transformada

Fuente: Autor

4.9.5. Optimización individual

Empleando la función de deseabilidad, se califican los tratamientos que pueden generarse dentro de la región de experimentación con el fin de encontrar entre ellos un tratamiento o combinación que será designada como la óptima para obtener valores más bajos de densidad.

Es así como en la Figura 4.17, se aclara de manera gráfica la localización del punto óptimo, en donde al emplear un 15% de PET de una dimensión de 14 mm y agregado de 10.76 mm de dimensión, se puede obtener un compuesto con una densidad de 1693.93 kg/m².

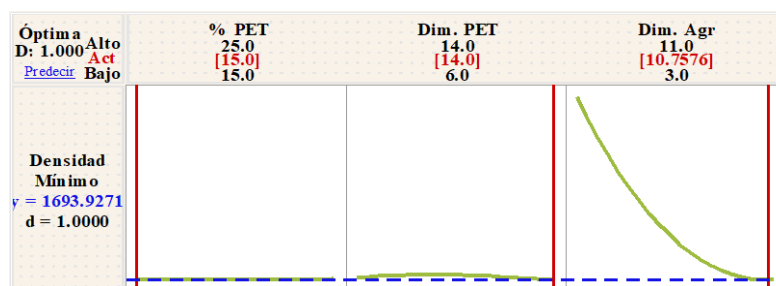


Figura 4.17. Optimización de la densidad transformada

Fuente: Autor

4.10. Organización de datos del esfuerzo a flexión, de la deformación a flexión, del esfuerzo a compresión y de la máxima deformación a la compresión

Tabla 4.18. Matriz del diseño de Box Behnken

% PET	Dimensión del PET (mm)	Dimensión del Agregado (mm)	Esfuerzo Flexión (MPa)	Deformación Flexión (mm)	Esfuerzo Compresión (MPa)	Máxima Deformación Compresión (%)
20	6	3	1.21493	0.58850	4.13475	3.17192
20	6	3	1.13468	1.32700	3.81125	2.92375
15	8	3	0.73643	0.22263	2.79034	1.69600
15	8	3	0.98190	0.53650	3.88756	4.41950
25	8	3	0.78492	0.67375	2.92086	1.68138
25	8	3	0.69008	1.22613	3.31922	2.57238
20	14	3	0.91667	0.25338	2.31205	0.90956
20	14	3	0.91665	0.25336	2.75684	1.57000
15	6	8	1.17416	0.92413	3.85424	2.07388
15	6	8	1.15700	0.93663	4.01021	3.71475
25	6	8	0.97761	0.68438	3.00078	3.34688
25	6	8	0.97632	1.04425	3.63077	2.69825
20	8	8	1.17416	0.62675	3.04255	2.12772
20	8	8	0.92611	0.47600	2.80982	2.00450
20	8	8	0.94156	0.48163	4.08191	3.65475
20	8	8	0.92053	1.27313	4.06770	3.56200
20	8	8	1.14327	1.10013	3.00360	2.24188
20	8	8	1.04885	0.28175	3.02028	2.89538
15	14	8	1.45097	0.51950	4.08689	2.94575
15	14	8	1.52521	1.47975	4.11769	1.20500
25	14	8	0.64287	0.57400	3.58156	3.02143
25	14	8	0.69437	1.10525	4.16379	3.03875
20	6	11	1.07932	0.34100	3.58156	3.43944
20	6	11	1.06602	1.85825	3.62536	3.48150
15	8	11	0.85487	1.68613	2.36099	2.65725
15	8	11	0.99649	1.62188	2.75184	2.94400
25	8	11	0.78535	0.63825	2.92643	3.20075
25	8	11	0.86689	0.74888	2.88186	2.96000
20	14	11	1.27201	1.11650	2.58137	2.08475
20	14	11	1.16816	2.17125	2.43999	2.54675

Fuente: Autor

Considerando los factores de entrada: porcentaje de PET, dimensión del PET y dimensión del agregado; y optimizar los mismos; se efectúa un Diseño de Superficie de Respuesta considerando el Diseño de Box Behnken para plantear la matriz dispuesta en la Tabla 4.18, en la que se tienen 15 tratamientos base, los cuales cuentan con 3 puntos al centro, se tienen dos réplicas de cada tratamiento, disponiéndose de 30 datos; las respuestas experimentales a analizar son: el esfuerzo a flexión, la deformación a flexión, el esfuerzo a compresión y la máxima de formación a la compresión.

4.11. Análisis del esfuerzo a Flexión a 4 puntos

4.11.1. Análisis de la varianza

Teniendo presente que el objetivo es optimizar, un medio para conseguir este objetivo es basar el análisis en encontrar un tratamiento particularmente diferente al resto para esta respuesta experimental, catalogándolo como el mejor. Es así que se plantea la hipótesis a probar de la siguiente manera:

H₀: Las medias poblacionales del esfuerzo a flexión son estadísticamente iguales.

H₁: Al menos una de las medias poblacionales del esfuerzo a flexión es estadísticamente diferente.

Tabla 4.19. Análisis de la varianza del esfuerzo a flexión

Fuente de variabilidad	G.L.	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Valor-p
Modelo	9	0.648084	0.072009	20.18	0.000
% PET	1	0.013428	0.013428	3.76	0.067
Dim. PET	1	0.001279	0.001279	0.36	0.556
Dim. Agregado	1	0.017426	0.017426	4.88	0.039
% PET*% PET	1	0.044617	0.044617	12.51	0.002
Dim. PET*Dim. PET	1	0.096099	0.096099	26.94	0.000
Dim. Agreg.*Dim. Agreg.	1	0.028384	0.028384	7.96	0.011
% PET*Dim. PET	1	0.109185	0.109185	30.60	0.000
Dim. PET*Dim. Agregado	1	0.045123	0.045123	12.65	0.002
% PET*Dim. PET*Dim. PET	1	0.084930	0.084930	23.81	0.000
Falta de ajuste	3	0.002566	0.000855	0.21	0.887
Error puro	17	0.068789	0.004046		
Total	29	0.719439			

Fuente: Autor

Con la información de la Tabla 4.19, se revisa el valor de la significancia calculada del modelo, siendo esta de 0.000 y menor a la significancia predefinida de 0.05 se puede afirmar que, con la evidencia analiza se rechaza la hipótesis nula, asegurando que existe un tratamiento diferente del resto, permitiendo decir que existe un caso óptimo.

El modelo de regresión de superficie de respuesta explica un 90.08% de la variabilidad del esfuerzo a flexión y para confiar en que se tiene la precisión adecuada, se procede, previo al análisis de la varianza, a verificar los supuestos paramétricos.

4.11.2. Verificación de supuestos

➤ Normalidad de los residuos.

Para comprobar que los residuos cumplan con el supuesto de normalidad, es adecuado emplear la prueba de bondad de ajuste de Anderson – Darling, en la que a través de su estadístico se pudo estimar el valor de la significancia calculada de 0.432, el mismo que se contrasta con la significancia predefinida de 0.05, poniendo en evidencia que la primera es mayor. Esto expresa que se comprueba el supuesto, afirmando que en base a la información con la que se cuenta, no se rechaza la hipótesis nula.

H₀: Los residuos del esfuerzo a flexión provienen de una distribución normal.

H₁: Los residuos del esfuerzo a flexión no provienen de una distribución normal.

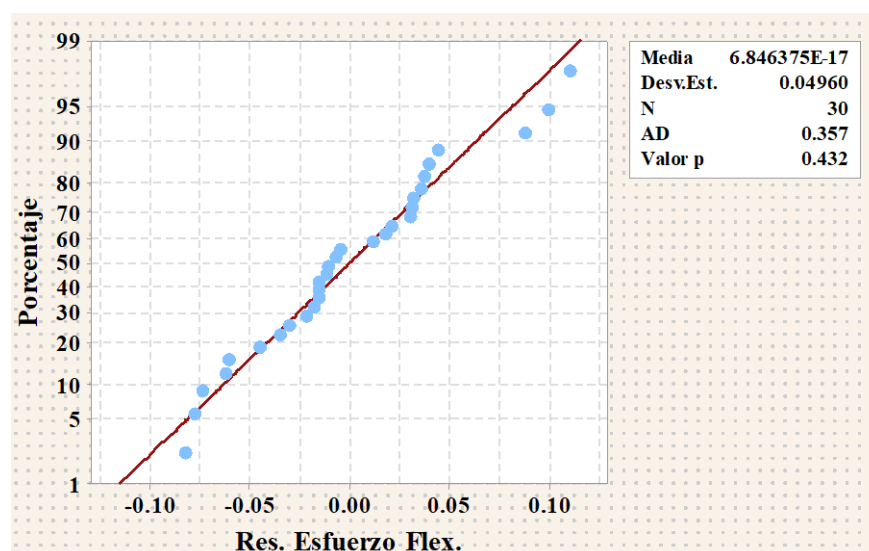


Figura 4.18. Probabilidad normal de los residuos del esfuerzo a la flexión

Fuente: Autor

En la Figura 4.18 se disponen los estadísticos de prueba, la significancia calculada y el gráfico de probabilidad normal, con el que se puede corroborar lo expresado con la significancia.

➤ **Igualdad de varianza de los tratamientos**

Para comprobar que los residuos cumplan con el supuesto de igualdad de varianza en los tratamientos, se revisa la información de la Figura 4.19, en la que se presenta la gráfica de los ajustes versus los residuos; esta gráfica describe los residuos distribuidos de manera aleatoria en una franja horizontal, esto indica que a razón que los valores de los ajustes o respuestas predichas aumentan, el error atribuido a cada uno de estos ajustes se mantiene constante; este comportamiento se interpreta como una clara muestras de que los tratamientos tienen varianza constante.

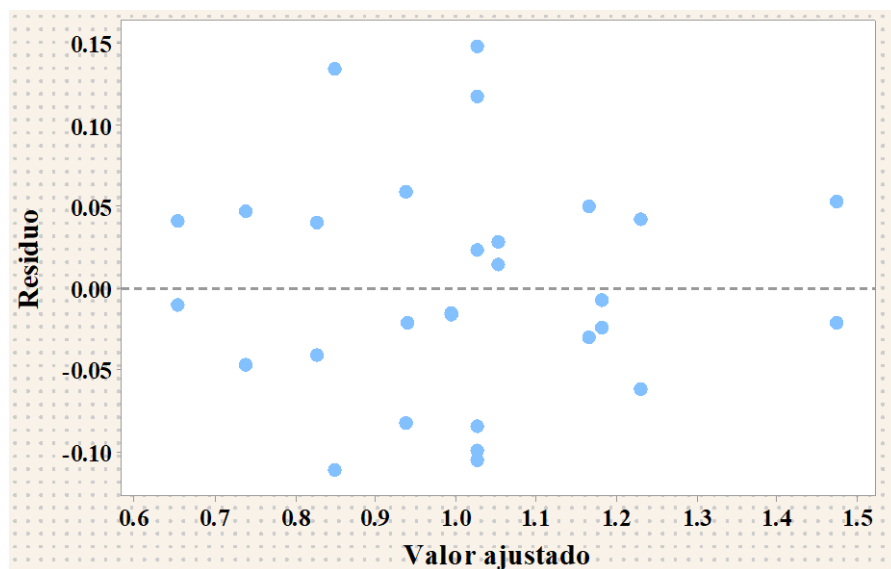


Figura 4.19. Ajustes vs residuos del esfuerzo a la flexión

Fuente: Autor

➤ **Independencia de residuos**

Para comprobar que los residuos cumplan con el supuesto de independencia, analizamos la información brindada por la gráfica de los residuos versus el orden de observación, mostrada en la Figura 4.20, en la que se entiende que los residuos no siguen un patrón definido en función del orden en el que se consideraron, esto indica una clara independencia entre ellos y de factores no estimados en el análisis.

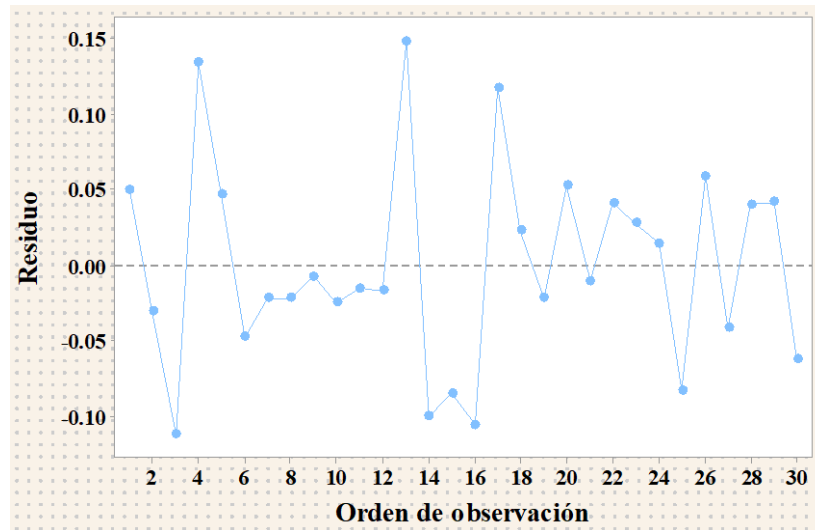


Figura 4.20. Residuos vs orden de observación del esfuerzo a la flexión

Fuente: Autor

4.11.3. Gráficas factoriales

➤ Efectos principales

Para complementar la información de la tabla del análisis de la varianza, se revisa a gráfica de efectos principales que se muestra en la Figura 4.21, esta gráfica aclara el marcado efecto que genera el variar la dimensión del agregado sobre el esfuerzo a la flexión del material. Hay que aclarar que, de acuerdo con la curvatura de la línea descrita por este factor, se puede afirmar la presencia de un efecto cuadrático o de segundo orden sobre la respuesta experimental antes mencionada.

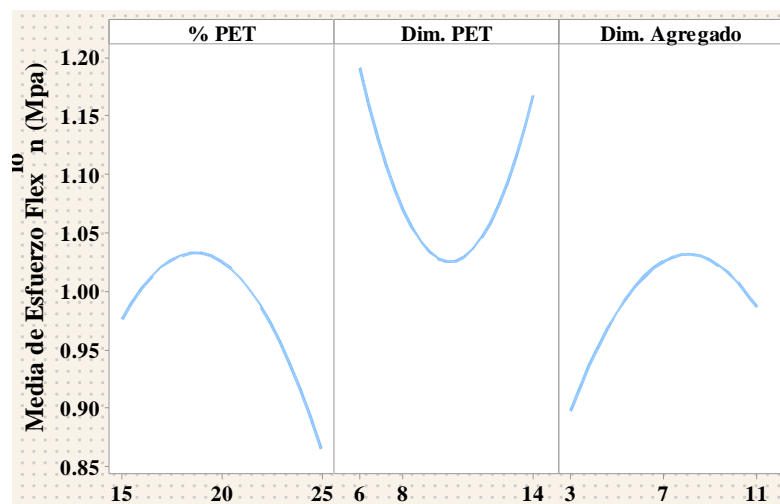


Figura 4.21. Efectos principales del esfuerzo a la flexión

Fuente: Autor

De manera general se especifica una acentuada reducción del esfuerzo a la flexión al alejarse la dimensión del agregado de su nivel medio. Contrario a lo anteriormente mencionado, se observa que el porcentaje y la dimensión del PET no influyen significativamente sobre los valores del esfuerzo a la flexión.

➤ Interacciones

Se presenta particular interés en el efecto activo que proporciona la interacción entre el porcentaje y dimensión de PET y la interacción entre las dimensiones de PET y de agregado, estos efectos de interacción se visualizan en la Figura 4.22, aquí se puede confirmar que el cambio en el nivel de la dimensión del agregado repercute de manera considerable en los valores del esfuerzo a la flexión para los niveles de la dimensión de PET.

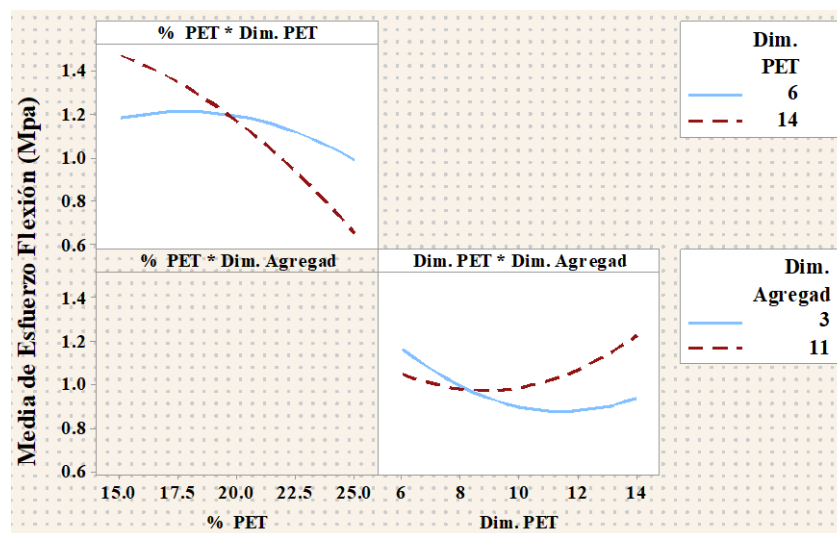


Figura 4.22. Efectos de interacción de la densidad transformada

Fuente: Autor

A manera de ejemplo se puede entender que: para un agregado de 3 mm, el esfuerzo a la flexión baja al variar la dimensión de PET, sin embargo, al tener un agregado de 11 mm, el esfuerzo a la flexión aumenta en función que se aumente la dimensión de PET.

➤ Superficie

De acuerdo a la limitación visual de poder apreciar solo una percepción tridimensional de la superficie generada por el modelo, se dispone de una gráfica por cada par de combinación de factores, estas gráficas se visualizan en la Figura 4.23.

Cuando se toma en consideración el porcentaje y la dimensión del PET, se puede notar claramente que el valor más alto del esfuerzo a la flexión se da cuando se emplea un bajo porcentaje de PET y un tamaño grande de PET.

También se puede ver la gráfica en la que se consideraron el porcentaje de PET y la dimensión de agregado, en la que, a un porcentaje medio de PET y mediana dimensión de agregado, el esfuerzo a la flexión aumenta contundentemente.

Finalmente se toma la gráfica en la que se puede ver las dimensiones de agregado y del PET, aquí se nota que el valor más alto del esfuerzo a la flexión se obtiene al combinar una alta dimensión de PET y una dimensión grande de agregado.

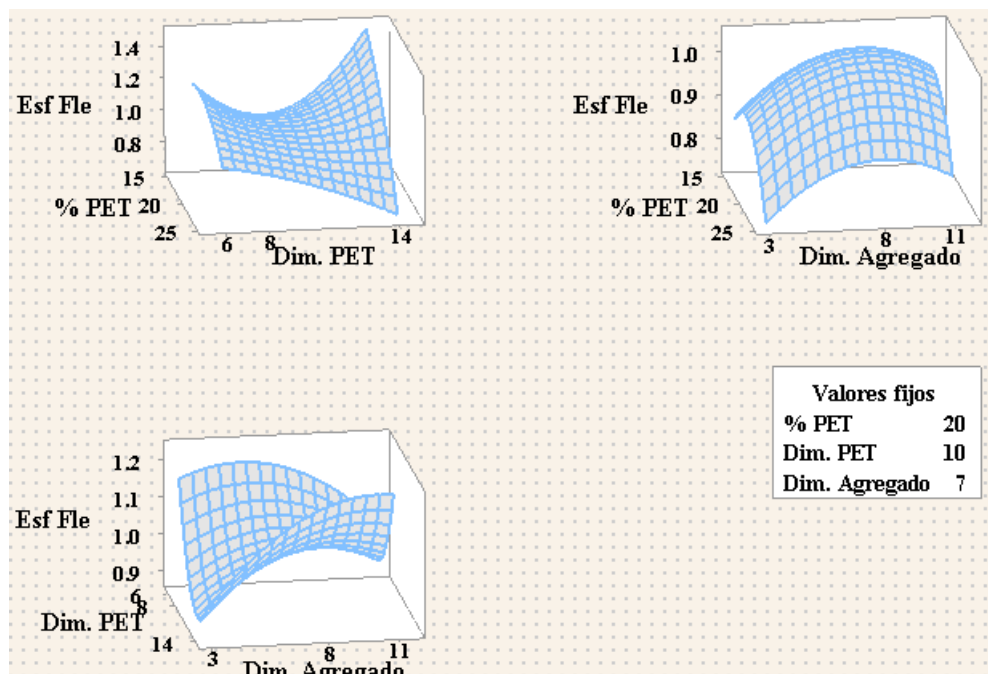


Figura 4.23. Superficie del esfuerzo a la flexión

Fuente: Autor

Para un enfoque más preciso, a más de requerir visualizar lo que sucede con la densidad en cada par de factores, es necesario encontrar un punto óptimo general para la respuesta experimental analizada, en este caso del esfuerzo a la flexión.

4.11.4. Optimización individual

Resumiendo, la información de las gráficas y empleando la función de deseabilidad, se califican los tratamientos que pueden generarse dentro de la región de

experimentación con el fin de encontrar entre ellos un tratamiento o combinación que será designada como la óptima para obtener valores más altos del esfuerzo a la flexión.

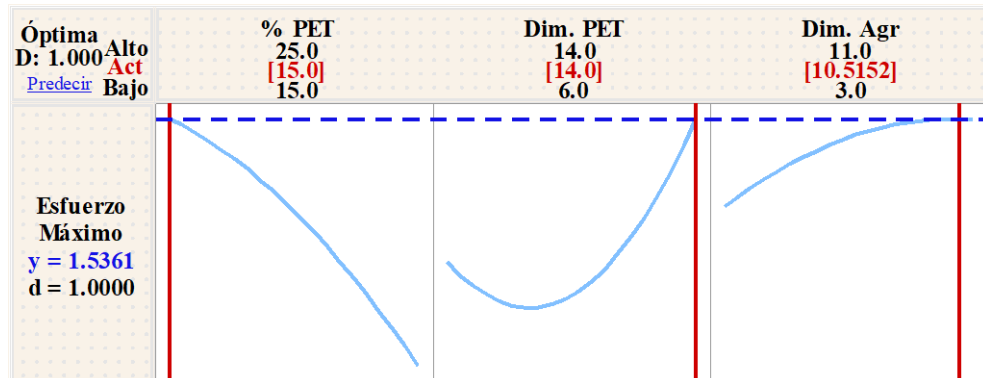


Figura 4.24. Optimización del esfuerzo a la flexión

Fuente: Autor

Es así como en la Figura 4.24, se aclara de manera gráfica la localización del punto óptimo, en donde al emplear un 15% de PET de una dimensión de 14 mm y agregado de 10.5152 mm de dimensión, se puede obtener un compuesto con un esfuerzo a la flexión de 1.5361 MPa.

4.12. Análisis de la deformación a Flexión a 4 puntos

4.12.1. Análisis de la varianza

Teniendo presente que el objetivo es optimizar, un medio para conseguir este objetivo es basar el análisis en encontrar un tratamiento particularmente diferente al resto para esta respuesta experimental, catalogándolo como el mejor. Es así que se plantea la hipótesis a probar de la siguiente manera:

H₀: Las medias poblacionales de la deformación a flexión son estadísticamente iguales.

H₁: Al menos una de las medias poblacionales de la deformación a flexión es estadísticamente diferente.

Se analiza la variabilidad de la deformación a flexión transformada por Box-Cox, empleando un parámetro de transformación de 0.

Tabla 4.20. Análisis de la varianza de la deformación a flexión transformada

Fuente de variabilidad	G.L.	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Valor-p
Modelo	5	5.9130	1.18261	5.14	0.002
% PET	1	0.0024	0.00235	0.01	0.920
Dim. PET	1	0.1216	0.12155	0.53	0.475
Dim. Agregado	1	2.2546	2.25459	9.79	0.005
% PET*Dim. Agregado	1	1.6911	1.69107	7.34	0.012
Dim. PET*Dim. Agregado	1	1.8435	1.84348	8.01	0.009
Falta de ajuste	7	0.5040	0.07200	0.24	0.968
Error puro	17	5.0229	0.29547		
Total	29	11.4400			

Fuente: Autor

Con la información de la Tabla 4.20 se revisa el valor de la significancia calculada del modelo, con lo que siendo esta de 0.002 y menor a la significancia predefinida de 0.05 se puede afirmar que, con la evidencia analizada se rechaza la hipótesis nula, asegurando que existe un tratamiento diferente del resto, permitiendo decir que existe un caso óptimo.

Hay que entender que el modelo de regresión de superficie de respuesta explica un 51.69% de la variabilidad de la densidad transformada, para confiar plenamente que los resultados tienen la precisión adecuada, se procede, previo a más interpretaciones del análisis de la varianza, a verificar los supuestos paramétricos.

4.12.2. Verificación de supuestos

➤ Normalidad de los residuos

Para comprobar que los residuos cumplan con el supuesto de normalidad, es adecuado emplear la prueba de bondad de ajuste de Anderson – Darling, en la que a través de su estadístico se puede estimar el valor de la significancia calculada de 0.654, el mismo que se contrasta con la significancia predefinida de 0.05, poniendo en evidencia que la primera es mayor. Esto expresa que se comprueba el supuesto, afirmando que en base a la información con la que se cuenta, no se rechaza la hipótesis nula.

H₀: Los residuos de la deformación a flexión provienen de una distribución normal.

H₁: Los residuos de la deformación a flexión no provienen de una distribución normal.

En la Figura 4.25. se disponen los estadísticos de prueba, la significancia calculada y el gráfico de probabilidad normal, con el que se puede corroborar lo expresado con la significancia.

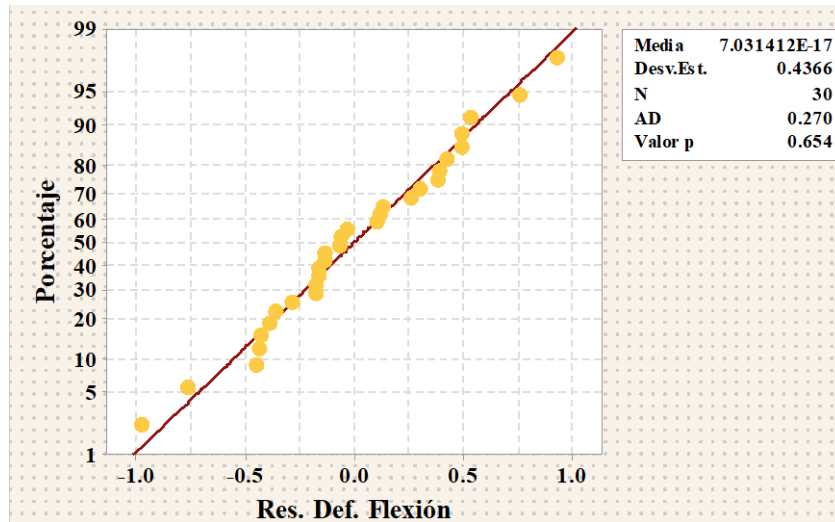


Figura 4.25. Probabilidad normal de los residuos de la deformación a flexión transformada

Fuente: Autor

➤ **Igualdad de varianza de los tratamientos**

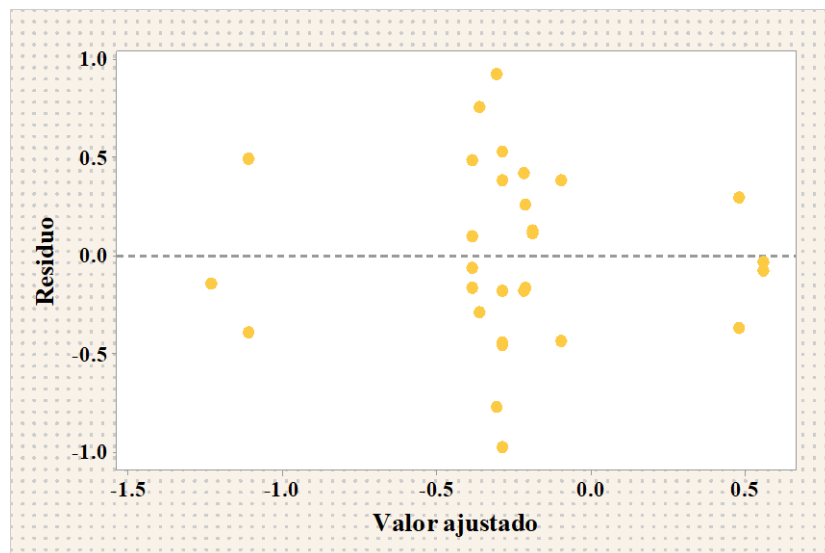


Figura 4.26. Ajustes vs residuos de la deformación a flexión transformada

Fuente: Autor

Para comprobar que los residuos cumplan con el supuesto de igualdad de varianza en los tratamientos, se revisa la información de la Figura 4.26, en la que se presenta la gráfica de los ajustes versus los residuos; esta gráfica describe los residuos distribuidos

de manera aleatoria en una franja horizontal, esto indica que a razón que los valores de los ajustes o respuestas predichas aumentan, el error atribuido a cada uno de estos ajustes se mantiene constante; este comportamiento se interpreta como una clara muestras de que los tratamientos tienen varianza constante.

➤ Independencia de residuos

Para comprobar que los residuos cumplan con el supuesto de independencia, analizamos la información brindada por la gráfica de los residuos versus el orden de observación, mostrada en la Figura 4.27, en la que se entiende que los residuos no siguen un patrón definido en función del orden en el que se consideraron, esto indica una clara independencia entre ellos y de factores no estimados en el análisis.

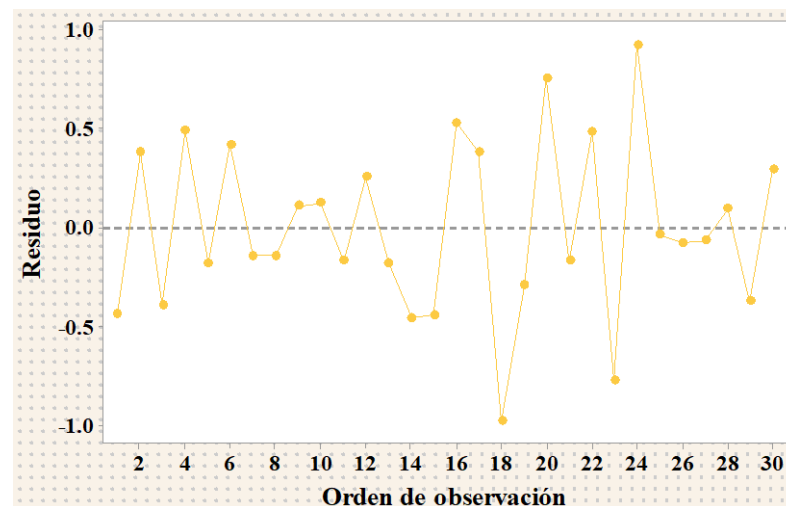


Figura 4.27.Residuos vs orden de observación de la deformación a flexión transformada

Fuente: Autor

4.12.3. Gráficas factoriales

➤ Efectos principales

Para complementar la información de la tabla del análisis de la varianza, se revisa a gráfica de efectos principales que se muestra en la Figura 4.28, esta gráfica aclara el marcado efecto que genera el variar la dimensión del agregado sobre la deformación a flexión del material. Hay que aclarar que, de acuerdo con la línea descrita por este factor, se puede afirmar la ausencia de un efecto cuadrático o de segundo orden sobre la respuesta experimental antes mencionada.

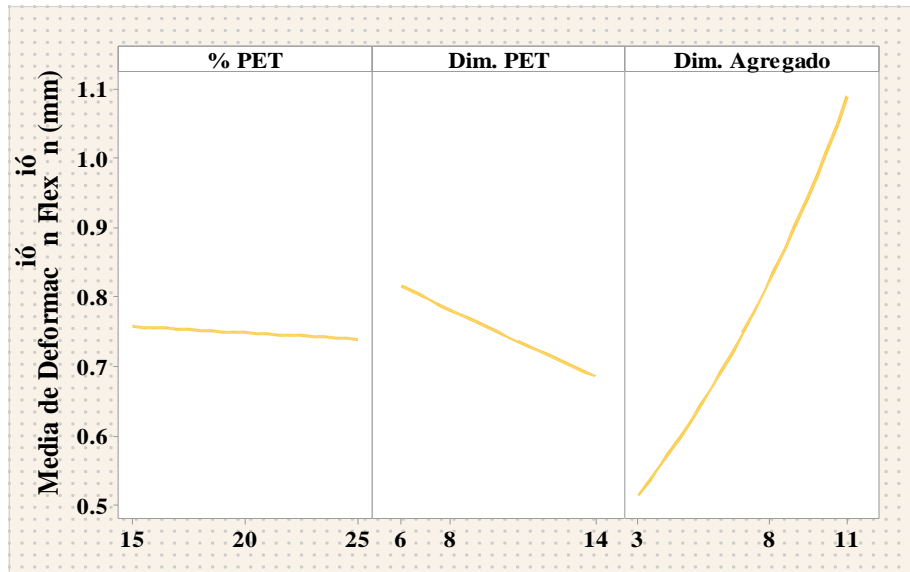


Figura 4.28. Gráfica de efectos principales de la deformación a flexión transformada

Fuente: Autor

De manera general se especifica una acentuada reducción de la densidad al aumentar la dimensión del agregado hasta su nivel alto.

Contrario a lo anteriormente mencionado, se observa que el porcentaje y la dimensión del PET no influyen significativamente sobre los valores de la densidad.

➤ Interacciones

De todas las interacciones posibles, se presenta particular interés en el efecto activo que proporciona la interacción entre el porcentaje de PET con la dimensión del agregado y la dimensión del PET con la dimensión del agregado, este efecto de interacción se visualiza en la Figura 4.29, aquí se puede confirmar que el cambio en el nivel de la dimensión del agregado repercute de manera considerable en los valores de densidad para los niveles del porcentaje de PET.

A manera de ejemplo se puede entender que: para un agregado de 3 mm, la deformación a flexión sube al variar el porcentaje de PET, sin embargo, al tener un agregado de 11 mm, la deformación a flexión disminuye en función que se aumente el porcentaje de PET.

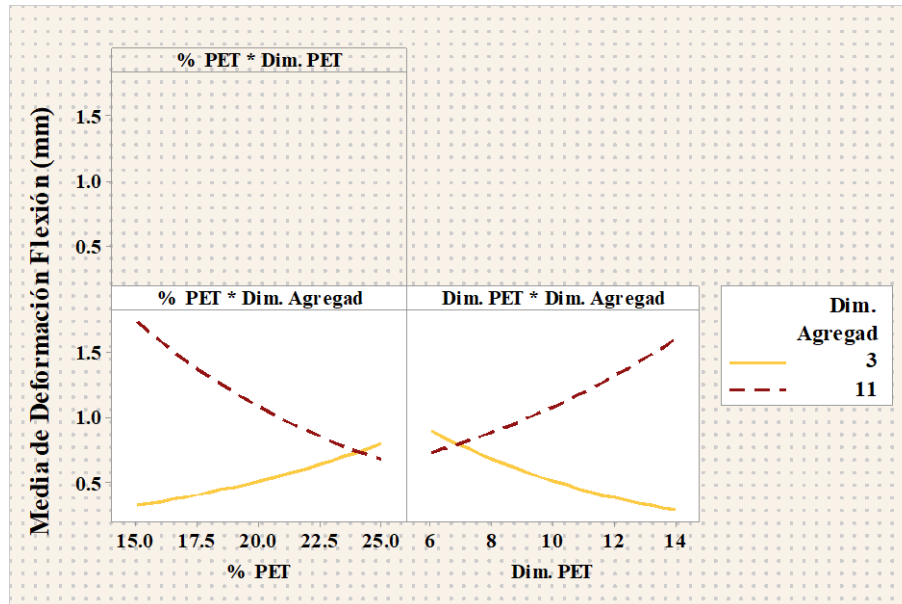


Figura 4.29. Efectos de interacción de la deformación a flexión transformada

Fuente: Autor

➤ Superficie

De acuerdo a la limitación visual de poder apreciar solo una percepción tridimensional de la superficie generada por el modelo, se dispone de una gráfica por cada par de combinación de factores, estas gráficas se visualizan en la Figura 4.30.

Cuando se toma en consideración el porcentaje y la dimensión del PET, se puede notar claramente que el valor más bajo de la deformación a flexión se da cuando se emplea un alto porcentaje de PET y un tamaño grande de PET.

También se puede ver la gráfica en la que se consideraron el porcentaje de PET y la dimensión de agregado, en la que, a menores porcentajes de PET y dimensión de agregado, la deformación a flexión disminuye contundentemente.

Finalmente se toma la gráfica en la que se puede ver las dimensiones de agregado y del PET, aquí se nota que el valor más bajo de la deformación a flexión se obtiene al combinar una alta dimensión de PET y una dimensión pequeña de agregado.

Para un enfoque más preciso, a más de requerir visualizar lo que sucede con la deformación a flexión en cada par de factores, es necesario encontrar un punto óptimo general para la respuesta experimental analizada, en este caso la deformación a flexión.

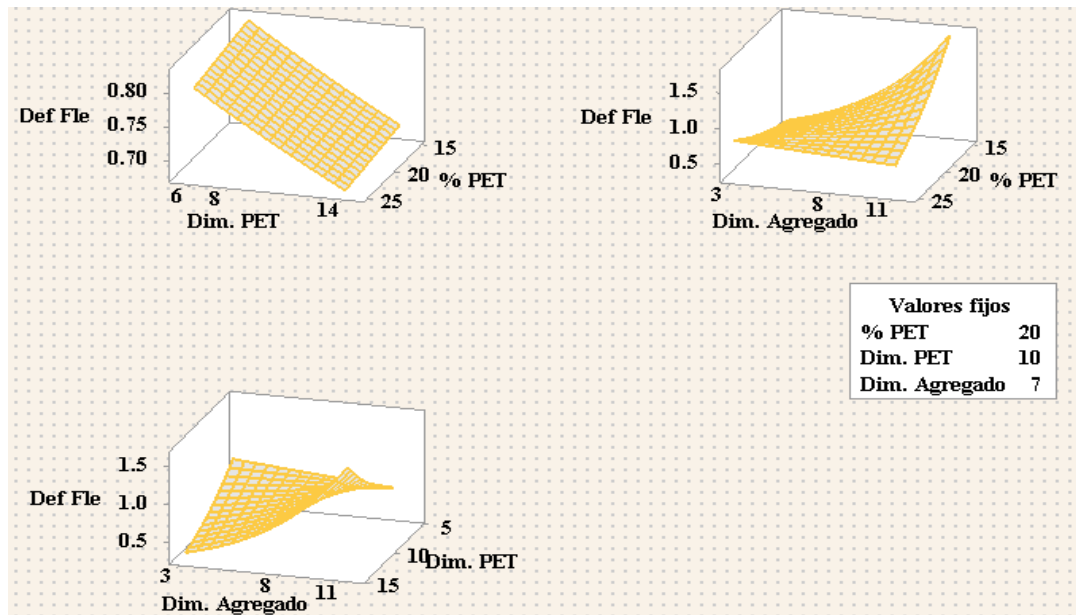


Figura 4.30. Superficie de la deformación a flexión transformada

Fuente: Autor

4.12.4. Optimización individual

Utilizando la función de deseabilidad, se califican los tratamientos que pueden generarse dentro de la región de experimentación con el fin de encontrar entre ellos una combinación que será designada como la óptima para obtener valores más bajos de la deformación a flexión.

Es así que en la Figura 4.31, se aclara de manera gráfica la localización del punto óptimo, en donde al emplear un 15% de PET de una dimensión de 14mm y agregado de 3mm de dimensión, se puede obtener un compuesto con una deformación a flexión de 0.1865mm

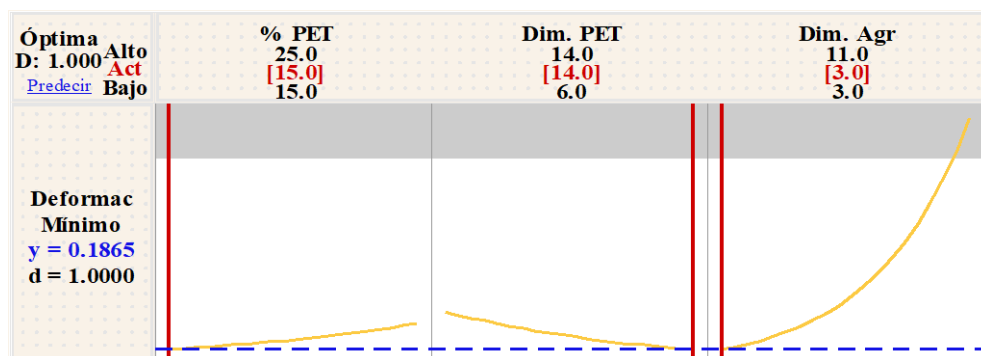


Figura 4.31. Gráficas de optimización de la deformación a flexión transformada

Fuente: Autor

4.13. Análisis del esfuerzo a Compresión

4.13.1. Análisis de la varianza

Teniendo presente que el objetivo es optimizar, un medio para conseguir este objetivo es basar el análisis en encontrar un tratamiento particularmente diferente al resto para esta respuesta experimental, catalogándolo como el mejor. Es así que se plantea la hipótesis a probar de la siguiente manera:

H₀: Las medias poblacionales del esfuerzo a compresión son estadísticamente iguales.

H₁: Al menos una de las medias poblacionales del esfuerzo a compresión es estadísticamente diferente.

Con la información de la Tabla 4.21, se revisa el valor de la significancia calculada del modelo, con lo que siendo esta de 0.001 y menor a la significancia predefinida de 0.05 se puede afirmar que, con la evidencia analiza se rechaza la hipótesis nula, asegurando que existe un tratamiento diferente del resto, permitiendo decir que existe un caso óptimo.

Tabla 4.21. Análisis de la varianza del esfuerzo a compresión

Fuente de variabilidad	G.L.	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Valor-p
Modelo	8	7.1873	0.89841	5.37	0.001
% PET	1	0.1286	0.12861	0.77	0.391
Dim. PET	1	3.2038	3.20383	19.14	0.000
Dim. Agregado	1	0.4842	0.48423	2.89	0.104
% PET*% PET	1	0.1580	0.15805	0.94	0.342
Dim. PET*Dim. PET	1	0.7647	0.76473	4.57	0.045
Dim. Agreg.*Dim. Agreg.	1	1.8762	1.87619	11.21	0.003
% PET*Dim. PET	1	0.0748	0.07482	0.45	0.511
% PET*% PET*Dim. PET	1	2.6541	2.65413	15.85	0.001
Falta de ajuste	4	0.5495	0.13737	0.79	0.549
Error puro	17	2.9663	0.17449		
Total	29	10.7031			

Fuente: Autor

Hay que entender que el modelo de regresión de superficie de respuesta explica un 67.15% de la variabilidad del esfuerzo a compresión, para confiar plenamente que los resultados tienen la precisión adecuada, se procede, previo a más interpretaciones del análisis de la varianza, a verificar los supuestos paramétricos.

4.13.2. Verificación de supuestos

➤ Normalidad de los residuos

Para comprobar que los residuos cumplan con el supuesto de normalidad, es adecuado emplear la prueba de bondad de ajuste de Anderson – Darling, en la que a través de su estadístico se puede estimar el valor de la significancia calculada de 0.098, el mismo que se contrasta con la significancia predefinida de 0.05, poniendo en evidencia que la primera es mayor. Esto expresa que se comprueba el supuesto, afirmando que en base a la información con la que se cuenta, no se rechaza la hipótesis nula.

H₀: Los residuos del esfuerzo a compresión provienen de una distribución normal.

H₁: Los residuos del esfuerzo a compresión no provienen de una distribución normal.

En la Figura 4.32 se disponen los estadísticos de prueba, la significancia calculada y el gráfico de probabilidad normal, con el que se puede corroborar lo expresado con la significancia.

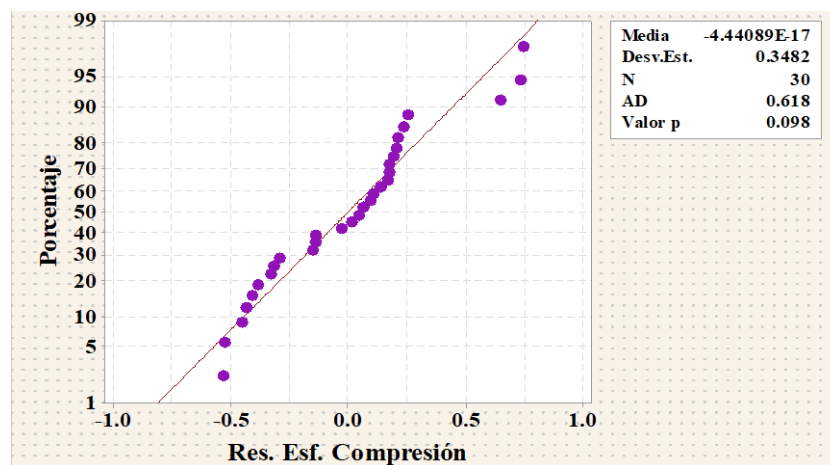


Figura 4.32. Probabilidad normal de los residuos del esfuerzo a la compresión

Fuente: Autor

➤ Igualdad de varianza de los tratamientos

Para comprobar que los residuos cumplan con el supuesto de igualdad de varianza en los tratamientos, se revisa la información de la Figura 4.33 que describe los residuos distribuidos de manera aleatoria en una franja horizontal, esto indica que a razón que los valores de los ajustes o respuestas predichas aumentan, el error atribuido a cada

uno de estos ajustes se mantiene constante; este comportamiento se interpreta como una clara muestras de que los tratamientos tienen varianza constante.

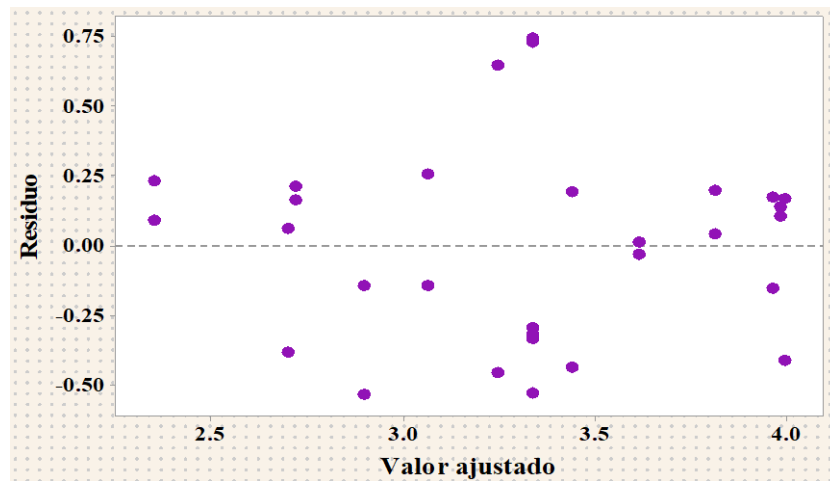


Figura 4.33. Ajustes vs residuos del esfuerzo a compresión

Fuente: Autor

➤ Independencia de residuos

Para comprobar que los residuos cumplan con el supuesto de independencia, analizamos la información brindada por la gráfica de los residuos versus el orden de observación, mostrada en la Figura 4.34, en la que se entiende que los residuos no siguen un patrón definido en función del orden en el que se consideraron, esto indica una clara independencia entre ellos y de factores no estimados en el análisis.

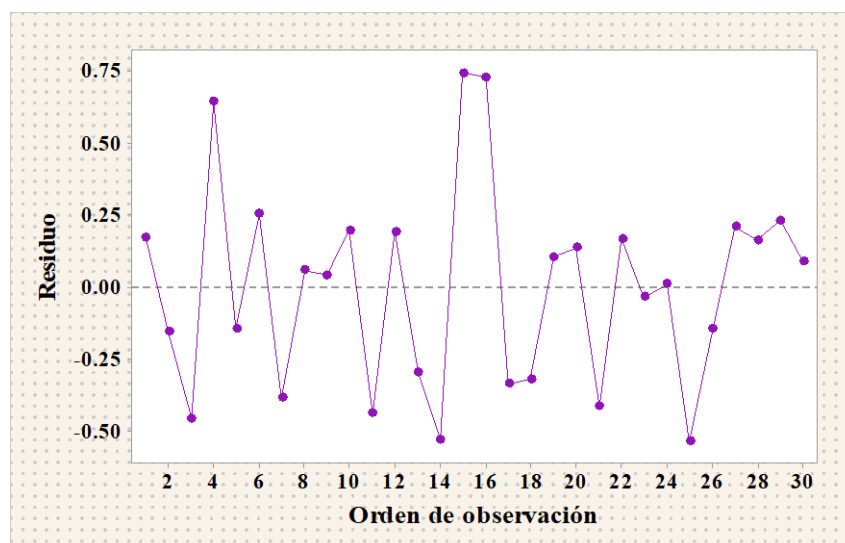


Figura 4.34. Residuos vs orden de observación del esfuerzo a compresión

Fuente: Autor

4.13.3. Gráficas factoriales

➤ Efectos principales

Para complementar la información de la tabla del análisis de la varianza, se revisa a gráfica de efectos principales que se muestra en la Figura 4.35, esta gráfica aclara el marcado efecto que genera el variar la dimensión del agregado sobre la densidad del material. Hay que aclarar que, de acuerdo con la curvatura de la línea descrita por este factor, se puede afirmar la presencia de un efecto cuadrático o de segundo orden sobre la respuesta experimental antes mencionada.

De manera general se especifica un acentuado aumento del esfuerzo a compresión al disminuir la dimensión del agregado hasta su nivel bajo.

Contrario a lo anteriormente mencionado, se observa que el porcentaje de PET y la dimensión del agregado no influyen significativamente sobre los valores de la densidad.

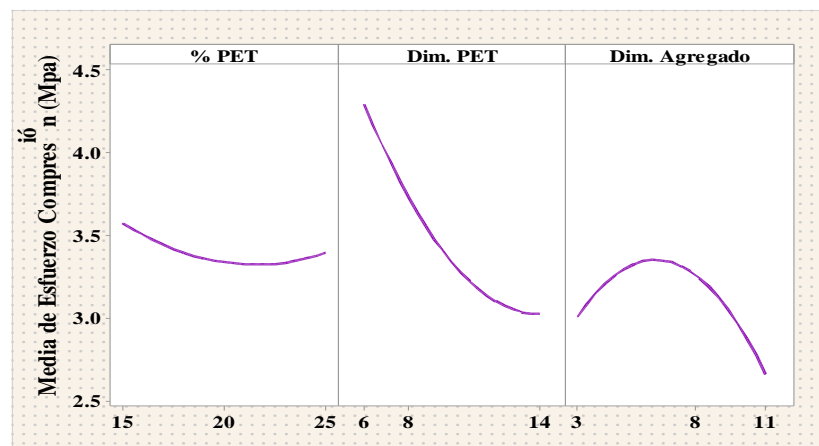


Figura 4.35. Efectos principales del esfuerzo a compresión

Fuente: Autor

➤ Interacciones

Se presenta interés en el efecto activo que proporciona la interacción entre el porcentaje y dimensión del PET, este efecto se visualiza en la Figura 4.36, aquí se puede confirmar que el cambio en el nivel de la dimensión repercute de manera considerable en los valores del esfuerzo a compresión para los niveles del porcentaje de PET.

A manera de ejemplo se puede entender que: para un PET de 6mm, el esfuerzo a compresión aumenta al acercarse al nivel medio del porcentaje de PET, sin embargo, al tener un agregado de 14 mm, el esfuerzo a compresión disminuye en función que se acerque al nivel medio del porcentaje de PET.

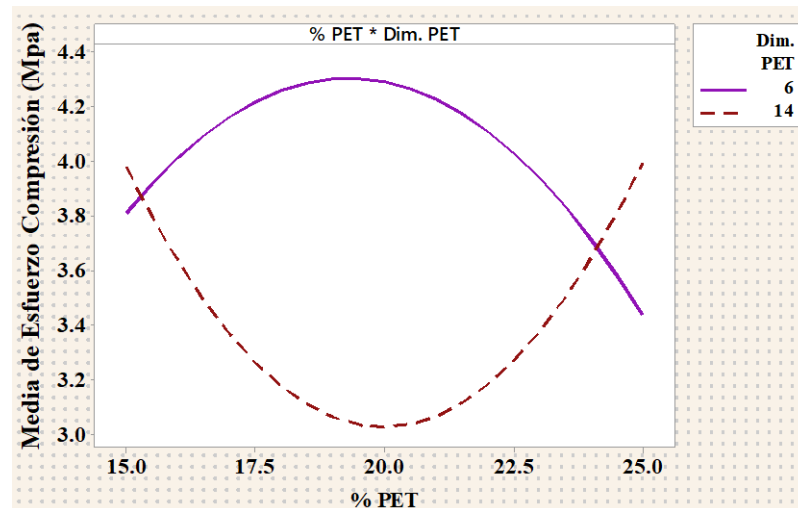


Figura 4.36. Efectos de interacción del esfuerzo a compresión

Fuente: Autor

➤ Superficie

De acuerdo a la limitación visual de poder apreciar solo una percepción tridimensional de la superficie generada por el modelo, se dispone de una gráfica por cada par de combinación de factores, éstas se visualizan en la Figura 4.37.

Cuando se toma en consideración el porcentaje y la dimensión del PET, se puede notar claramente que el valor más alto del esfuerzo a compresión se da cuando se emplea un porcentaje medio y un tamaño pequeño de PET.

También se puede ver la gráfica en la que se consideraron el porcentaje de PET y la dimensión de agregado, en la que a menor porcentaje de PET y una dimensión media de agregado, el esfuerzo a compresión aumenta contundentemente.

Finalmente se toma la gráfica en la que se puede ver las dimensiones de agregado y del PET, aquí se nota que el valor más alto del esfuerzo a compresión se obtiene al combinar una baja dimensión de PET y una dimensión mediana de agregado.

Para un enfoque más preciso, a más de requerir visualizar lo que sucede con el esfuerzo a compresión en cada par de factores, es necesario encontrar un punto óptimo general para la respuesta experimental analizada, en este caso la densidad.

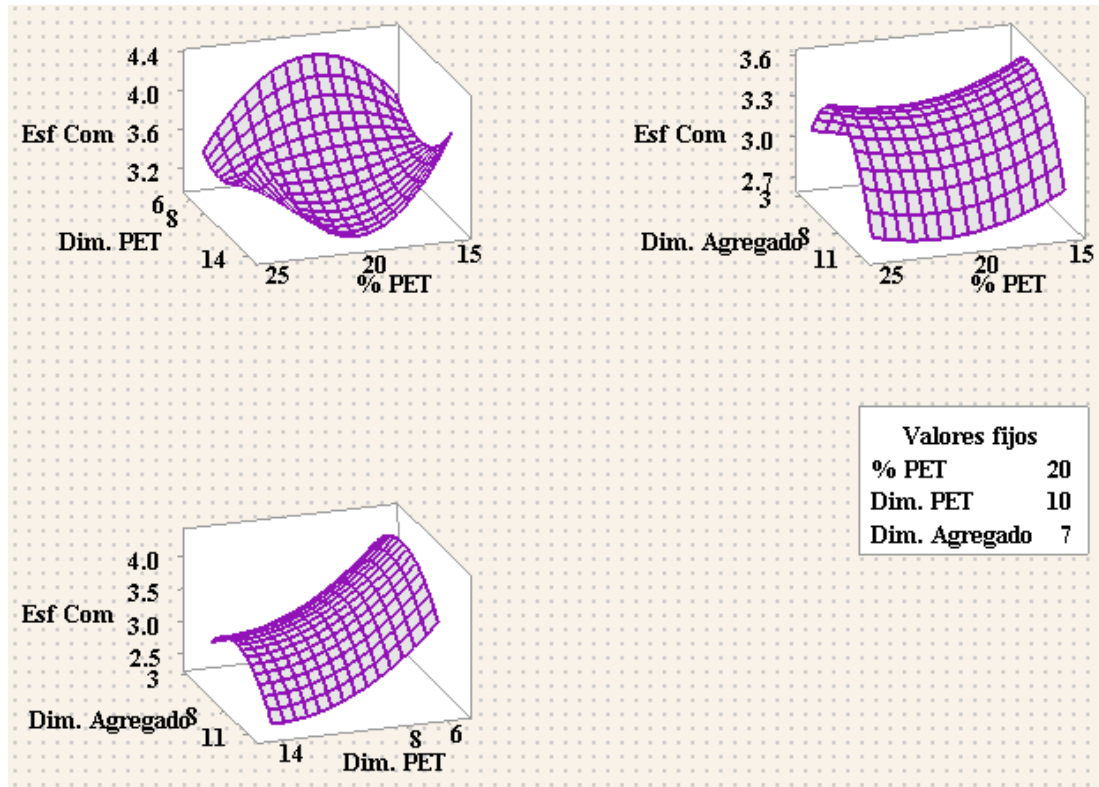


Figura 4.37. Superficie del esfuerzo a compresión

Fuente: Autor

4.13.4. Optimización individual

Empleando la función de deseabilidad, se califican los tratamientos que pueden generarse dentro de la región de experimentación con el fin de encontrar entre ellos un tratamiento o combinación que será designada como la óptima para obtener valores más altos del esfuerzo a compresión.

Es así que en la Figura 4.38, se aclara de manera gráfica la localización del punto óptimo, en donde al emplear un 19.3434% de PET de una dimensión de 6 mm y agregado de 6.3131 mm de dimensión, se puede obtener un compuesto con un esfuerzo a compresión de 4.3202 MPa.

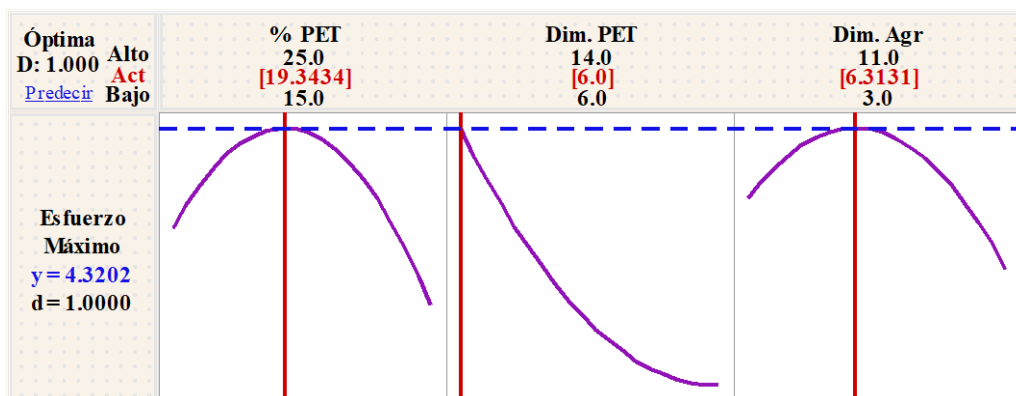


Figura 4.38. Optimización del esfuerzo a compresión

Fuente: Autor

4.14. Análisis de la máxima deformación a la Compresión

4.14.1. Análisis de la varianza

Teniendo presente que el objetivo es optimizar, un medio para conseguir este objetivo es basar el análisis en encontrar un tratamiento particularmente diferente al resto para esta respuesta experimental, catalogándolo como el mejor. Es así como se plantea la hipótesis a probar de la siguiente manera:

H₀: Las medias poblacionales de la deformación a la compresión son estadísticamente iguales.

H₁: Al menos una de las medias poblacionales de la deformación a la compresión es estadísticamente diferente.

Se analiza la variabilidad de la densidad transformada por Box-Cox, empleando un parámetro de transformación de 0.5.

Con la información de la Tabla 4.22, se revisa el valor de la significancia calculada del modelo, con lo que siendo esta de 0.267 y mayor a la significancia predefinida de 0.05 se puede afirmar que, con la evidencia analizada no se rechaza la hipótesis nula, asegurando que todos los tratamientos son estadísticamente iguales, permitiendo decir que no existe un caso óptimo.

El modelo de regresión de superficie de respuesta explica un 49.26% de la variabilidad de la deformación a la compresión transformada, este valor relativamente bajo de

ajuste hace que el error experimental sea demasiado grande, no pudiendo tener una conclusión fiable de esta propiedad mecánica, sin embargo, por la naturaleza de la optimización posterior, también se considerará esta respuesta.

Tabla 4.22. Análisis de la varianza de la deformación a la compresión transformada

Fuente de variabilidad	G.L.	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Valor-p
Modelo	12	0.97265	0.08105	1.38	0.267
% PET	1	0.01448	0.01448	0.25	0.626
Dim. PET	1	0.48261	0.48261	8.19	0.011
Dim. Agregado	1	0.14113	0.14113	2.40	0.140
% PET*% PET	1	0.01313	0.01313	0.22	0.643
Dim. PET* Dim. PET	1	0.01541	0.01541	0.26	0.616
Dim. Agreg.*Dim. Agreg.	1	0.01334	0.01334	0.23	0.640
% PET*Dim. PET	1	0.03959	0.03959	0.67	0.424
% PET*Dim. Agregado	1	0.05572	0.05572	0.95	0.344
Dim. PET*Dim. Agregado	1	0.04552	0.04552	0.77	0.392
% PET*% PET*Dim. PET	1	0.12617	0.12617	2.14	0.162
% PET*% PET*Dim. Agreg.	1	0.01640	0.01640	0.28	0.605
% PET*Dim. PET*Dim. PET	1	0.07734	0.07734	1.31	0.268
Error puro	17	1.00175	0.05893		
Total	29	1.97440			

Fuente: Autor

Para confiar plenamente que los resultados de la Tabla 4.22 tienen la precisión adecuada, se procede, previo a más interpretaciones del análisis de la varianza, a verificar los supuestos paramétricos.

Se debe saber que, con el modelo de regresión evaluado en el análisis de la varianza, se tienen las diferencias existentes entre la respuesta experimental y la respuesta predicha por el modelo en cuestión, entendiéndose este valor como el residuo de cada uno de los datos, esta será la información que paralela a los datos, revelará el cumplimiento de los supuestos.

4.14.2. Verificación de supuestos

➤ Normalidad de los residuos

Para comprobar que los residuos cumplan con el supuesto de normalidad, es adecuado emplear la prueba de bondad de ajuste de Anderson – Darling, en la que a través de su estadístico se puede estimar el valor de la significancia calculada de 0.884, el mismo

que se contrasta con la significancia predefinida de 0.05, poniendo en evidencia que la primera es mayor. Esto expresa que se comprueba el supuesto, afirmando que en base a la información con la que se cuenta, no se rechaza la hipótesis nula.

H₀: Los residuos de la deformación a la compresión provienen de una distribución normal.

H₁: Los residuos de la deformación a la compresión no provienen de una distribución normal.

En la Figura 4.39 se disponen los estadísticos de prueba, la significancia calculada y el gráfico de probabilidad normal, con el que se puede corroborar lo expresado con la significancia.

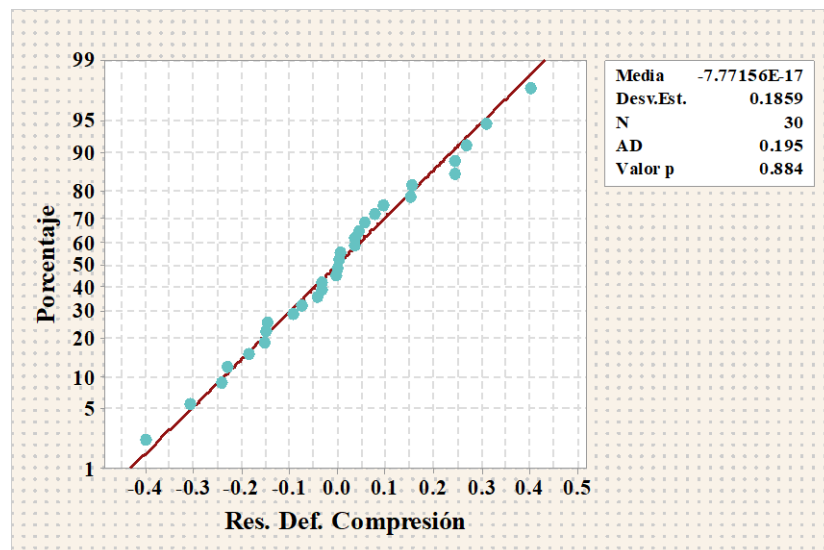


Figura 4.39. Probabilidad normal de los residuos de la deformación a la compresión transformada

Fuente: Autor

➤ **Igualdad de varianza de los tratamientos**

Para comprobar que los residuos cumplan con el supuesto de igualdad de varianza en los tratamientos, se revisa la información de la Figura 4.40, en la que se presenta la gráfica de los ajustes versus los residuos; esta gráfica describe los residuos distribuidos de manera aleatoria en una franja horizontal, esto indica que a razón que los valores de los ajustes o respuestas predichas aumentan, el error atribuido a cada uno de estos

ajustes se mantiene constante; este comportamiento se interpreta como una clara muestras de que los tratamientos tienen varianza constante.

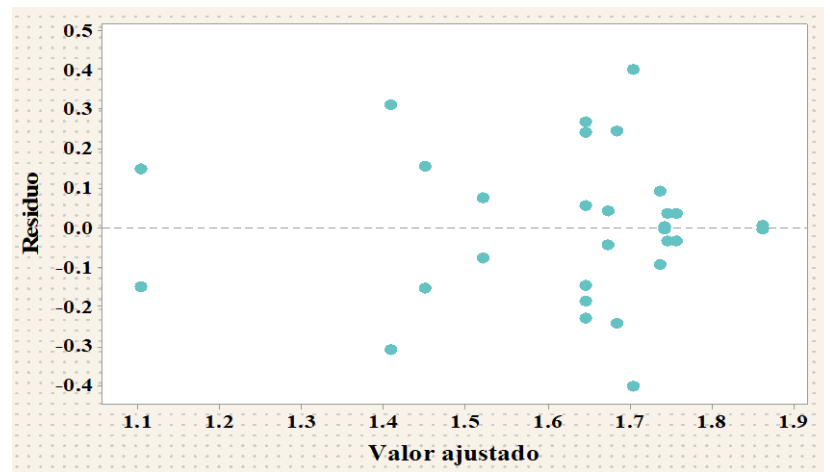


Figura 4.40. Ajustes vs residuos de la deformación a la compresión transformada

Fuente: Autor

➤ **Independencia de residuos**

Para comprobar que los residuos cumplan con el supuesto de independencia, analizamos la información brindada por la gráfica de los residuos versus el orden de observación, mostrada en la Figura 4.41, en la que se entiende que los residuos no siguen un patrón definido en función del orden en el que se consideraron, esto indica una clara independencia entre ellos y de factores no estimados en el análisis.

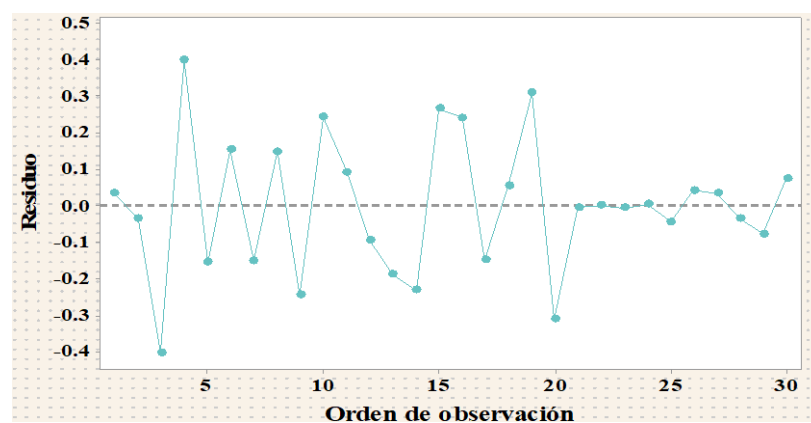


Figura 4.41. Residuos vs orden de observación de la deformación a la compresión transformada

Fuente: Autor

4.14.3. Gráficas factoriales

➤ Efectos principales

La Figura 4.42 aclara el marcado efecto que genera el variar la dimensión del agregado sobre la deformación a la compresión del material. De acuerdo con la tenue curvatura de la línea descrita por este factor, se puede afirmar que casi no existe la presencia de un efecto cuadrático o de segundo orden sobre la respuesta experimental antes mencionada.

De manera general se especifica una acentuada reducción de la deformación a la compresión al aumentar la dimensión del agregado hasta su nivel alto. Contrario a lo anteriormente mencionado, se observa que el porcentaje y la dimensión del PET no influyen significativamente sobre los valores de la deformación a la compresión.

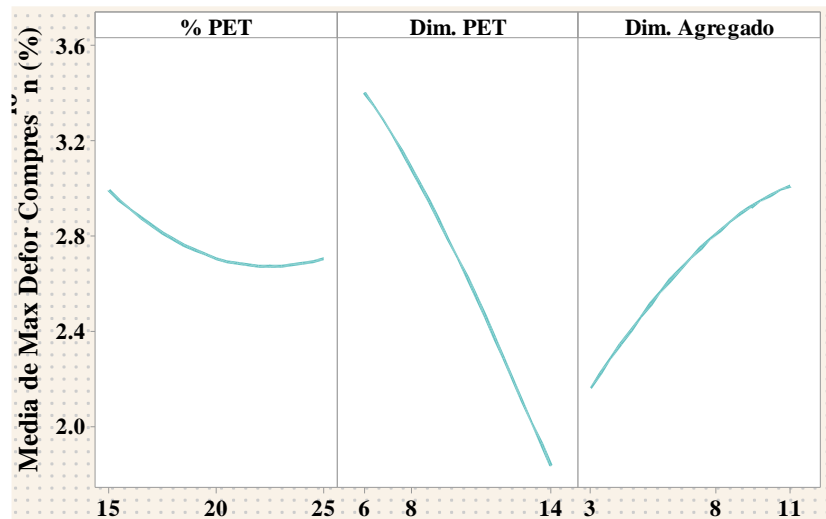


Figura 4.42. Efectos principales de la deformación a la compresión transformada

Fuente: Autor

➤ Interacciones

Ninguna presenta particular interés con un efecto activo que proporciona a la deformación a la compresión, ya que al variar el nivel de un factor el cambio en la deformación a la compresión es similar en los niveles del otro factor de contraste en la Figura 4.43.

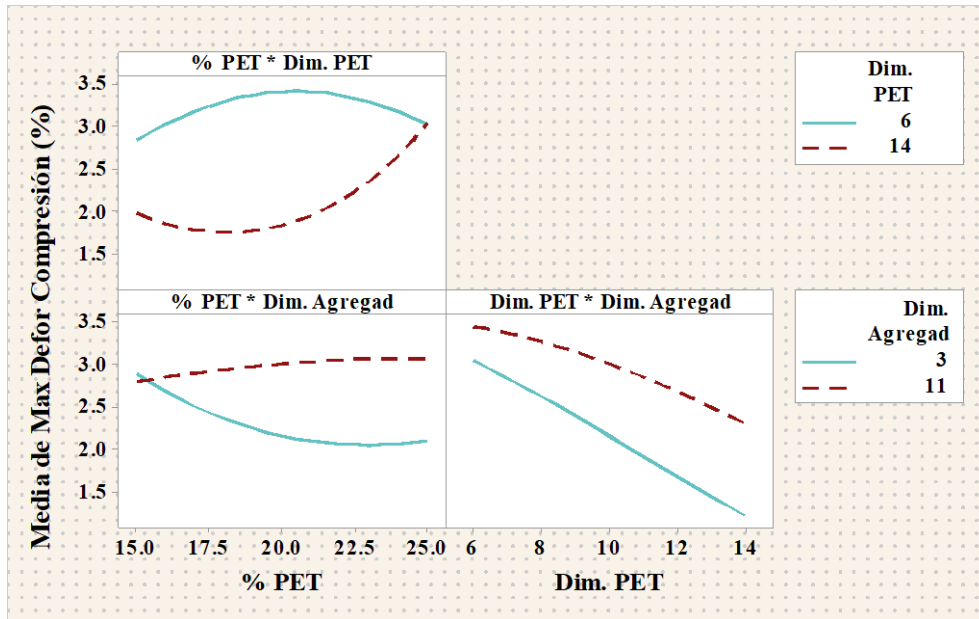


Figura 4.43. Efectos de interacción de la deformación a la compresión transformada.

Fuente: Autor

➤ Superficie

Se dispone de una gráfica por cada par de combinación de factores, estas se visualizan en la Figura 4.44 cuando se toma en consideración el porcentaje y la dimensión del PET, se puede notar claramente que el valor más bajo de la deformación a la compresión se da cuando se emplea un bajo porcentaje junto con un tamaño grande de PET.

También se puede ver la gráfica en la que se consideraron el porcentaje de PET y la dimensión de agregado, en la que, a mayor porcentaje de PET y menor dimensión de agregado, la deformación a la compresión se reduce contundentemente.

Finalmente se toma la gráfica en la que se puede ver las dimensiones de agregado y del PET, aquí se nota que un valor bajo de la deformación a la compresión se obtiene al combinar una alta dimensión de PET y una dimensión pequeña de agregado.

Hay que aclarar que esta conclusión no es totalmente acertada, debido a que el cambio de la respuesta para todos los niveles no es significativo.

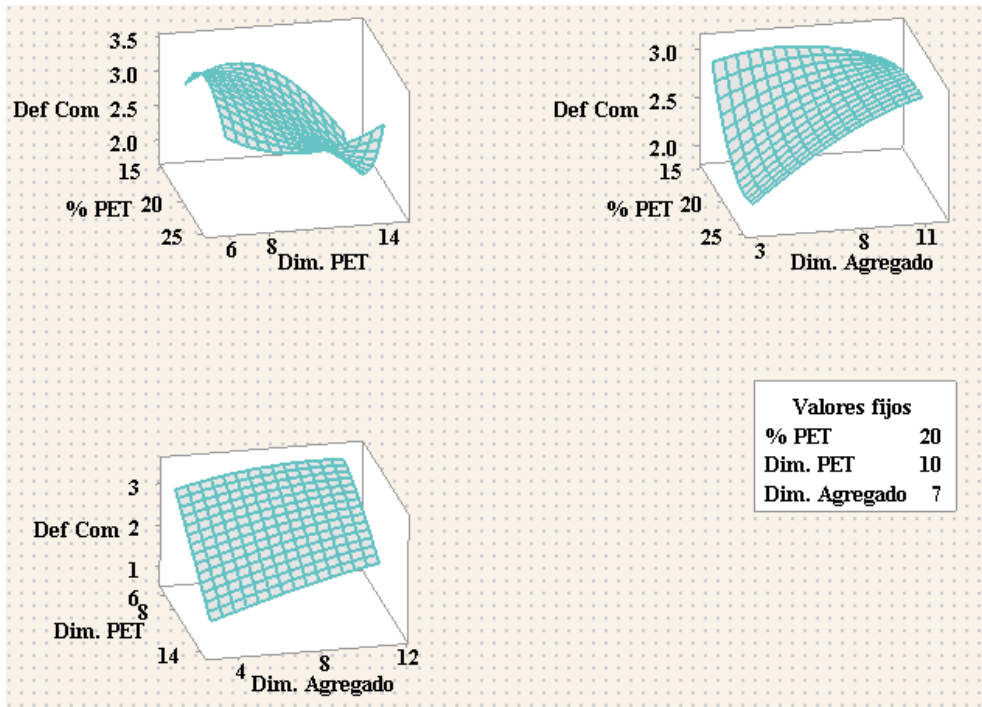


Figura 4.44. Superficie de la deformación a la compresión transformada

Fuente: Autor

4.14.4. Optimización individual

A manera de sintetizar la información de las gráficas y empleando la función de deseabilidad, se califican los tratamientos que pueden generarse dentro de la región de experimentación con el fin de encontrar entre ellos un tratamiento o combinación que será designada como la óptima para obtener valores bajos de la deformación a la compresión.

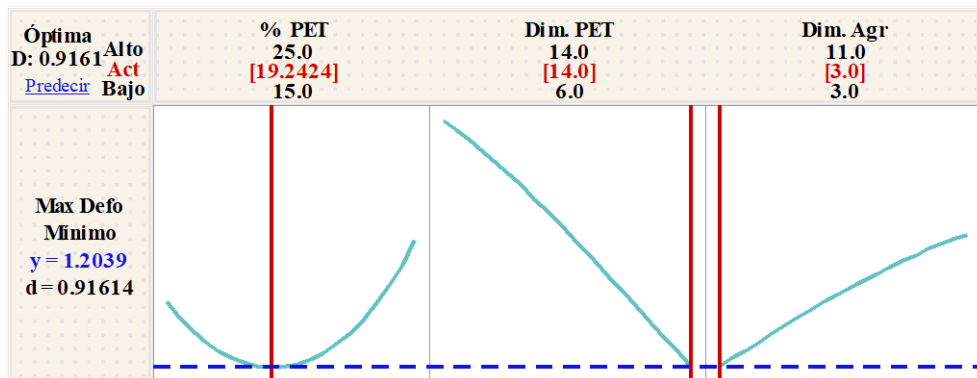


Figura 4.45. Gráficas de optimización de la deformación a la compresión transformada

Fuente: Autor

Es así que en la Figura 4.45, se aclara de manera gráfica la localización del punto óptimo, en donde al emplear un 19.2424% de PET de una dimensión de 14mm y agregado de 3mm de dimensión, se puede obtener un compuesto con una densidad de 1.2039 %.

4.15. Optimización múltiple

Después de tener los puntos óptimos individuales se engloban los valores de deseabilidad individual de cada una de las respuestas experimentales analizadas, este único valor analizable de manera objetiva se denomina deseabilidad global.

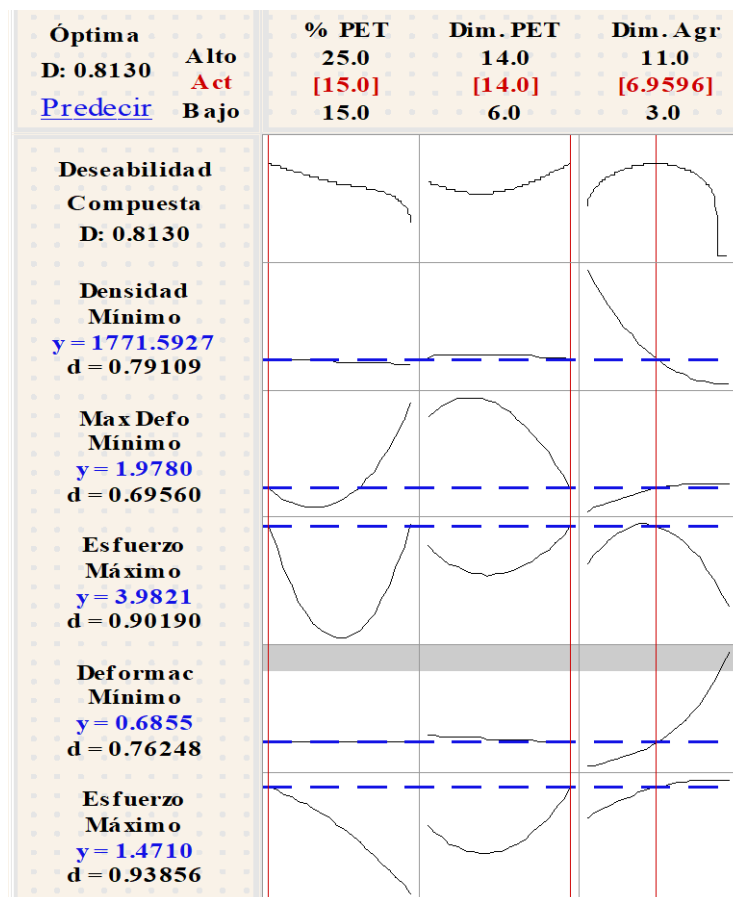


Figura 4.46. Optimización múltiple

Fuente: Autor

La deseabilidad global califica todas las combinaciones posibles dentro de la región experimental descrita por los niveles de los tres factores analizados; en la Figura 4.46 se visualizan las líneas de cada deseabilidad individual y la deseabilidad global, donde se especifica los valores óptimos de cada factor.

El punto óptimo global se describe de manera más detallada en la Tabla 4.23, en el cual se entiende que se aprovechan de mejor manera las propiedades analizadas, las mismas también especifican su valor predicho por cada uno de los modelos de regresión obtenidos por el análisis de la varianza.

Tabla 4.23. Punto óptimo global

Factores	Variable	Valor
	% PET	15 %
	Dimensión del PET	14 mm
	Dimensión del agregado	6.9596 mm
Respuestas	Respuesta	Valor
	Densidad (kg/m ³)	1771.5927
	Max Deformación. Compresión (%)	1.9780
	Esfuerzo Compresión (MPa)	3.9821
	Deformación Flexión (mm)	0.6855
	Esfuerzo Flexión (MPa)	1.4710

Fuente: Autor

4.16. Validación mediante software el análisis de flexión y compresión de las fachaleta

4.16.1. Desarrollo de la fachaleta

Para obtener la geometría de la fachaleta se realizó un scanner 3D en la empresa BKB de la provincia de Pichincha, con la finalidad de obtener todas las superficies regulares e irregulares de la fachaleta.

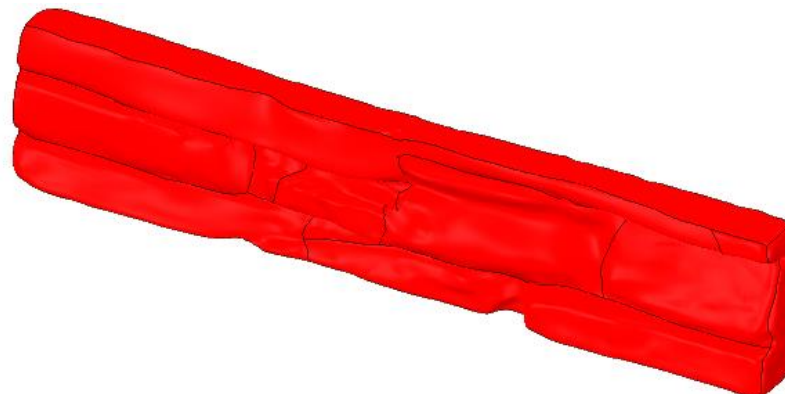


Figura 4.47. Geometría de la fachaleta

Fuente: Autor

La Figura 4.47 muestra la configuración geométrica de la fachaleta la cual se realizó mediante un software CAD.

4.16.2. Desarrollo del molde

La configuración geometría del molde se indica en la Figura 4.48 se realizó en un software CAD para luego ser fabricado en un material Artesil 1 que es un Elastómero de Silicona. Con el molde ya construido se realizó varias réplicas de las fachaleta para realizar el ensayo real de flexión a 4 puntos y de compresión.

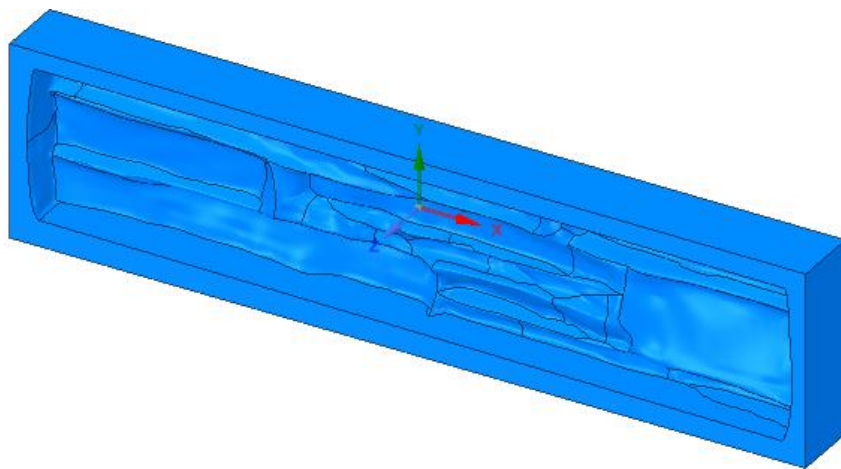


Figura 4.48. Fachaleta realizada en un software de diseño

Fuente: Autor

4.16.3. Selección del material de la fachaleta

Para la selección del material en nuestro software de diseño es necesario realizar el cálculo de la Densidad, Módulo de Young o Módulo de elasticidad y Coeficiente de Poisson, en la Tabla 4.24 se muestra el cálculo de cada una de las 45 combinaciones para la elaboración de fachaletas.

➤ **Determinación del Módulo de Elasticidad en flexión estática**

Para realizar el cálculo modulo de elasticidad a flexión de cuatro puntos nos basamos en la siguiente ecuación: [29]

$$MOE = \frac{\Delta P}{\Delta y} \frac{(3aL^2 - 4a^3)}{48 I} \quad \text{Ec. 4.14}$$

Dónde:

MOE: Módulo de elasticidad en flexión estática o Módulo de Young (Pa)

ΔP = Intervalo de carga en el dominio elástico (N)

Δy = Intervalo de deflexión en el dominio elástico (m)

L = Distancia entre apoyos (m)

a = Distancia de un apoyo al punto de carga (m)

I = Momento de inercia de la sección transversal de la viga (m⁴)

Se realiza el cálculo para la combinación 35, la cual está formada de 15 % de adición de PET en la mezcla, el tamaño del PET de 14 mm y del agregado de 8mm y además tiene los valores más próximos a la Optimización Global (Ver Tabla 4.23) que tiene un % de PET de 15, la dimensión del PET de 14mm y la dimensión del agregado de 6.9596 mm. Se tiene en consideración los siguientes datos L= 420 mm, a=140 mm, h=100 mm, w = 30 mm. El momento de Inercia de la sección transversal de la viga es la siguiente.

$$I = \frac{w * h^3}{12} \quad \text{Ec. 4.15}$$

$$I = \frac{30\text{mm} * (100 \text{ mm})^3}{12}$$

$$I = 2\,500\,000 \text{ mm}^4$$

Realizamos el cálculo del Módulo de elasticidad

$$\text{MOE} = \frac{\Delta P}{\Delta y} \frac{(3aL^2 - 4a^3)}{48 I}$$

$$\text{MOE} = \frac{1.12979 (1000)\text{N}}{1.47975 \text{ mm}} \frac{(3(140 \text{ mm})(420\text{mm})^2 - 4(140 \text{ mm})^3)}{48 (2\,500\,000) \text{ mm}^4}$$

$$\text{MOE} = 401.55 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{MOE} = 401.55 \text{ MPa}$$

➤ **Determinación del Módulo de Ruptura**

El cálculo de la ruptura en flexión estática cuatro puntos se realizaron con la fórmula

$$\text{MOR} = \frac{3 a P_r}{b h^2} \quad \text{Ec. 4.16}$$

Donde:

MOR = Módulo de Ruptura (Pa)

P_r = Carga a la ruptura (N)

a = Distancia de un apoyo al punto de carga (m)

b = Grueso (base)de la viga (m)

h = Ancho (altura)de la viga (m)

$$\text{MOR} = \frac{3 a P_r}{b h^2}$$

$$\text{MOR} = \frac{3 (140 \text{ mm})(1.12979(1000))\text{N}}{30 \text{ mm} (100 \text{ mm})^2}$$

$$\text{MOR} = 1.58 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{MOR} = 1.58 \text{ MPa}$$

➤ **Determinación del Coeficiente de Poisson**



Para determinar el coeficiente de Poisson se hace relación entre el Módulo de Elasticidad en flexión estática y el Módulo de Ruptura. [29]

$$\nu = \frac{\frac{E}{2G} - 1}{1000} \quad \text{Ec. 4.17}$$

$$\nu = \frac{\frac{401.55 \text{ MPa}}{2 (1.58) \text{ MPa}} - 1}{1000}$$

$$\nu = 0.13$$

Tabla 4.24. Densidad, módulo de Young y coeficiente de Poisson de las fachaletas

 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Laboratorios de Ingeniería Civil </div> 													
ESFUERZO A FLEXIÓN A 4 PUNTOS Y COMPRESIÓN DE FACHALETAS DE CONCRETO MÁS LA ADICIÓN DE TRITURADO DE TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO													
Número de muestras: 45 Fachaletas							Fecha de expedición: 29 de Marzo del 2019						
Realizado Por: Ing. Willan Castillo Herrera													
COMBINACIONES REQUERIDAS				ENSAYO A FLEXIÓN				ENSAYO A COMPRESIÓN			MÓDULO DE YOUNG (MPa)	MÓDULO DE RUPTURA (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
Combinación	PET (%)	Dimensión PET (mm)	Dimensión Agregado (mm)	Densidad (kg/m ³)	Fuerza (KN)	Esfuerzo (Mpa)	Deformación (mm)	Fuerza (KN)	Esfuerzo (Mpa)	Máxima Deformación (%)			
	15-20-25	6-8-14	3-8-11										
1	20	8	8	1772	0,86975	1,17416	0,62675	42,9000	3,04255	2,12772	729,85	1,22	0,30
2	25	14	8	1756	1,17747	1,59958	0,62988	50,5000	3,58156	3,02143	983,16	1,65	0,30
3	20	6	3	2032	0,89995	1,21493	0,58850	58,3000	4,13475	3,17192	804,27	1,26	0,32
4	20	14	3	2024	0,67902	0,91667	0,25338	32,6000	2,31205	0,90956	1409,42	0,95	0,74
5	20	6	11	1702	0,79950	1,07932	0,34100	50,5000	3,58156	3,43944	1233,09	1,12	0,55
6	15	6	8	1773	0,86975	1,17416	0,92413	34,9000	2,47517	2,27310	494,99	1,22	0,20
7	15	8	11	1708	0,42084	0,56820	0,12475	33,2889	2,36099	2,65725	1774,22	0,59	1,50
8	25	14	8	1756	0,47620	0,64287	0,57400	58,7095	4,16379	3,03875	436,32	0,67	0,33
9	15	14	8	1769	0,85417	1,15314	0,45950	57,6251	4,08689	2,94575	977,66	1,20	0,41
10	20	8	8	1772	0,68601	0,92611	0,47600	39,6185	2,80982	2,00450	757,97	0,96	0,39
11	15	8	3	2061	0,54550	0,73643	0,22263	39,3438	2,79034	1,69600	1288,67	0,76	0,84
12	20	8	8	1772	0,43996	0,59395	0,29750	25,4787	1,80700	1,84338	777,78	0,62	0,63
13	25	6	8	1763	0,72416	0,97761	0,68438	42,3110	3,00078	3,34688	556,50	1,01	0,27
14	20	8	8	1772	0,69745	0,94156	0,48163	57,5549	4,08191	3,65475	761,61	0,98	0,39
15	25	8	3	2013	0,58142	0,78492	0,67375	35,3308	2,50573	2,76250	453,86	0,81	0,28
16	25	6	8	1763	0,56903	0,76818	0,95975	39,0781	2,77150	2,28600	311,82	0,80	0,19
17	25	8	11	1706	0,58174	0,78535	0,63825	43,2673	3,06860	2,61663	479,37	0,81	0,29
18	25	8	3	2013	0,51117	0,69008	1,22613	41,1841	2,92086	1,68138	219,26	0,72	0,15
19	20	14	11	1695	0,70222	0,94800	1,66350	36,3973	2,58137	2,08475	222,01	0,98	0,11
20	25	8	3	2013	0,83733	1,13039	1,82725	46,8009	3,31922	2,57238	241,01	1,17	0,10
21	20	8	8	1772	0,68188	0,92053	1,27313	45,3800	3,21844	1,98350	281,69	0,95	0,15
22	20	6	11	1702	1,07066	1,44539	1,08625	51,1176	3,62536	3,48150	518,39	1,50	0,17
23	20	8	8	1772	1,08274	1,46170	0,96850	57,3546	4,06770	3,56200	587,97	1,52	0,19
24	20	8	8	1772	1,01980	1,37672	0,46500	56,1667	3,98345	3,68075	1153,43	1,43	0,40
25	20	14	11	1695	0,94223	1,27201	1,11650	34,4038	2,43999	2,54675	443,84	1,32	0,17
26	25	8	11	1706	0,84623	1,14241	1,37600	41,2626	2,92643	3,20075	323,45	1,18	0,14
27	20	8	8	1772	0,84686	1,14327	1,10013	42,3508	3,00360	2,24188	404,85	1,19	0,17
28	25	14	8	1756	0,51435	0,69437	1,10525	42,0141	2,97973	2,25325	244,75	0,72	0,17
29	20	8	8	1772	0,77693	1,04885	0,28175	42,5860	3,02028	2,89538	1450,27	1,09	0,67
30	15	8	3	2061	0,37130	0,50125	0,12825	28,7024	2,03563	2,59600	1522,64	0,52	1,46
31	25	8	11	1706	0,64214	0,86689	0,74888	40,6342	2,88186	2,96000	450,97	0,90	0,25
32	15	14	8	1769	1,07479	1,45097	0,51950	51,9985	3,68783	3,94800	1088,10	1,50	0,36
33	20	14	3	2024	0,67900	0,91665	0,25336	58,1640	4,12510	3,60163	1409,49	0,95	0,74
34	15	6	8	1773	0,85704	1,15700	0,93663	54,3448	3,85424	2,07388	481,24	1,20	0,20
35	15	14	8	1769	1,12979	1,52521	1,47975	58,0594	4,11769	1,20500	401,55	1,58	0,13
36	20	6	3	2032	0,84050	1,13468	1,32700	53,7386	3,81125	2,92375	333,12	1,18	0,14
37	20	6	11	1702	0,78964	1,06602	1,85825	60,8228	4,31367	2,59325	223,49	1,11	0,10
38	20	14	3	2024	0,64023	0,86432	1,20750	38,8715	2,75684	1,57000	278,86	0,90	0,15
39	20	6	3	2032	0,73147	0,98748	2,70813	38,8165	2,75294	2,01400	142,06	1,02	0,07
40	15	8	11	1708	0,63324	0,85487	1,68613	38,8009	2,75184	2,94400	197,52	0,89	0,11
41	20	14	11	1695	0,86530	1,16816	2,17125	46,1404	3,27237	2,83850	209,60	1,21	0,09
42	15	8	3	2061	0,72734	0,98190	0,53650	58,8147	3,88756	4,41950	713,01	1,02	0,35
43	15	6	8	1773	0,71748	0,96860	0,99650	56,5440	4,01021	3,71475	378,67	1,00	0,19
44	25	6	8	1763	0,72320	0,97632	1,04425	51,1939	3,63077	2,69825	364,24	1,01	0,18
45	15	8	11	1708	0,73814	0,99649	1,62188	51,1011	3,62419	2,65437	239,36	1,03	0,11

Fuente: Autor

4.16.4. Ensayo virtual de flexión a 4 puntos de una fachaleta compuesta de concreto más la adición de triturado de tereftalato de polietileno reciclado

En el tema de investigación se ha obtenido un modelo que representa una fachaleta fabricada de un material compuesto de concreto más la adición de triturado de tereftalato de polietileno reciclado para lo cual se realiza un ensayo de flexión a 4 puntos, el cual se obtiene a partir de las operaciones con superficies en el software CAD. Se ha generado un modelo matemático mediante software para determinar parámetros ingenieriles cuando la probeta sea sometida a una fuerza y se genere esfuerzos por flexión. Se realizó el proceso de simulación obteniendo los resultados esperados los cuales han sido procesados y además se obtienen curvas de parámetros, así como interpretación de las mismas. En la Tabla 4.25 se muestran las unidades a utilizarse en el análisis de la simulación de la fachaleta a flexión de 4 puntos.

Tabla 4.25. Unidades utilizadas en la simulación del ensayo a flexión a 4 puntos

Unidades del sistema	Métrica (mm, t, N, s, mV, mA)
Ángulo	Grados
Velocidad rotacional	Rad/s
Temperatura	Celsius

Fuente: Autor

Las principales propiedades obtenidas de los ensayos reales son:

- Densidad = $1769 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- Módulo de Young = 401,55 MPa
- Coeficiente de Poisson = 0.13

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	1769	kg m ⁻³		
4	Isotropic Elasticity				
5	Derive from	Young's Modulus and Poisson...			
6	Young's Modulus	401,55	MPa		
7	Poisson's Ratio	0,13			
8	Bulk Modulus	1,8088E+08	Pa		
9	Shear Modulus	1,7768E+08	Pa		
10	Isotropic Thermal Conductivity	0,25	W m ⁻¹ C ⁻¹		
11	Specific Heat, C _p	293	J kg ⁻¹ C ⁻¹		
12	Tensile Pressure Failure				
13	Maximum Tensile Pressure	-0,00025	MPa		

Figura 4.49. Ingreso material con adición de PET triturado en el software de diseño

Fuente: Autor

Como puede verse en la Figura 4.49 estos valores de las propiedades del material de la fachaleta fueron ingresados para realizar el análisis de flexión y compresión y así obtener resultados muy cercanos a los reales.

La Figura 4.50 muestra las propiedades de los apoyos fijos que se utilizan en la simulación del ensayo a flexión de 4 puntos, este material es un acero estructural las propiedades vienen definidas en el software de análisis y se lo puede utilizar ya que este material no es objeto de nuestro estudio.

Properties of Outline Row 4: Structural Steel				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	7850	kg m ⁻³	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
4	Isotropic Elasticity			<input type="checkbox"/>
5	Derive from	Young...		
6	Young's Modulus	2E+11	Pa	<input type="checkbox"/>
7	Poisson's Ratio	0,3		<input type="checkbox"/>
8	Bulk Modulus	1,6667E+11	Pa	<input type="checkbox"/>
9	Shear Modulus	7,6923E+10	Pa	<input type="checkbox"/>
10	Isotropic Thermal Conductivity	60,5	W m ⁻¹ ...	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
11	Specific Heat, C _p	434	J kg ⁻¹ ...	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Figura 4.50. Propiedades de los apoyos fijos

Fuente: Autor

4.16.5. Análisis del ensayo a flexión de 4 puntos de la fachaleta

Sirve para evaluar el comportamiento esfuerzo-deformación y la resistencia a la flexión de la fachaleta.

Para el análisis es necesario diseñar los apoyos fijos, así como los punzones móviles a una distancia específica para cada uno, la Figura 4.51 indica cómo están colocados dichos apoyos.

Se aplica el desplazamiento máximo obtenido del ensayo real a cada punzón móvil la dirección del desplazamiento es perpendicular a la fachaleta. El tiempo de análisis de la fachaleta cualquiera que sea la deformación es de 0,2 segundos y deberá aplicarse el desplazamiento lo más rápido posible.

El modelo de la fachaleta es un elemento de tipo solido se utiliza el color rojo para la probeta y para los punzones móviles de color azul y son de tipo superficie de la misma manera los apoyos fijos son de color verde y tipo de elemento superficie.

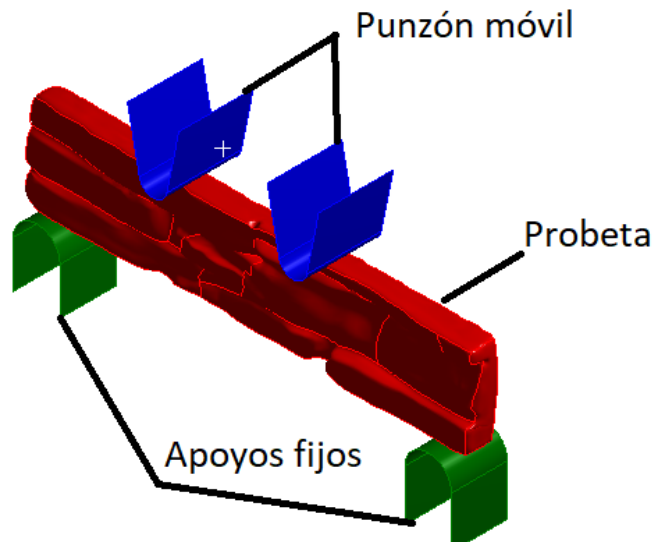


Figura 4.51. Esquema ensayo a flexión 4 puntos

Fuente: Autor

El modelo fue mallado con elementos solidos triangulares para la fachaleta y para los apoyos y punzones elementos cuadriláteros tipo shell como muestra el ejemplo de la Figura 4.52.

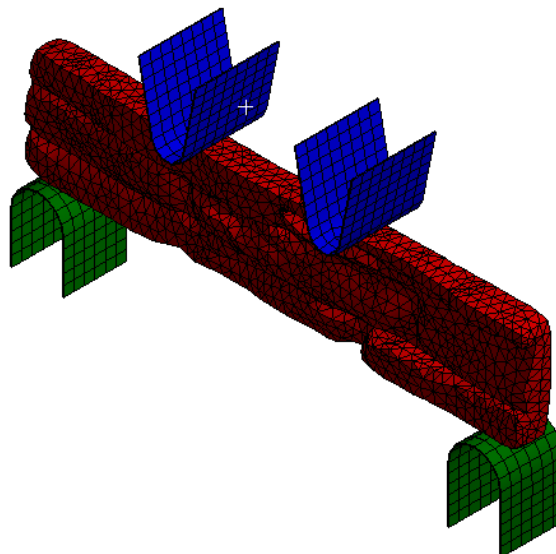


Figura 4.52. Mallado de la fachaleta realizada en un software de diseño

Fuente: Autor

La malla se compone de elementos sólidos y elementos shell, y su la calidad se ha evaluado en base a la relación de aspecto de los elementos siendo el valor mínimo de 1.25 y el máximo de 9.11 dichos están dentro de los valores recomendados ya que se encuentran muy cercanos al valor ideal de relación de aspecto que es 1.

El ejemplo de la Figura 4.53 muestra los valores de calidad de malla del ensayo de flexión. Donde los valores de 1.25 son la mayor cantidad de elementos de la probeta.

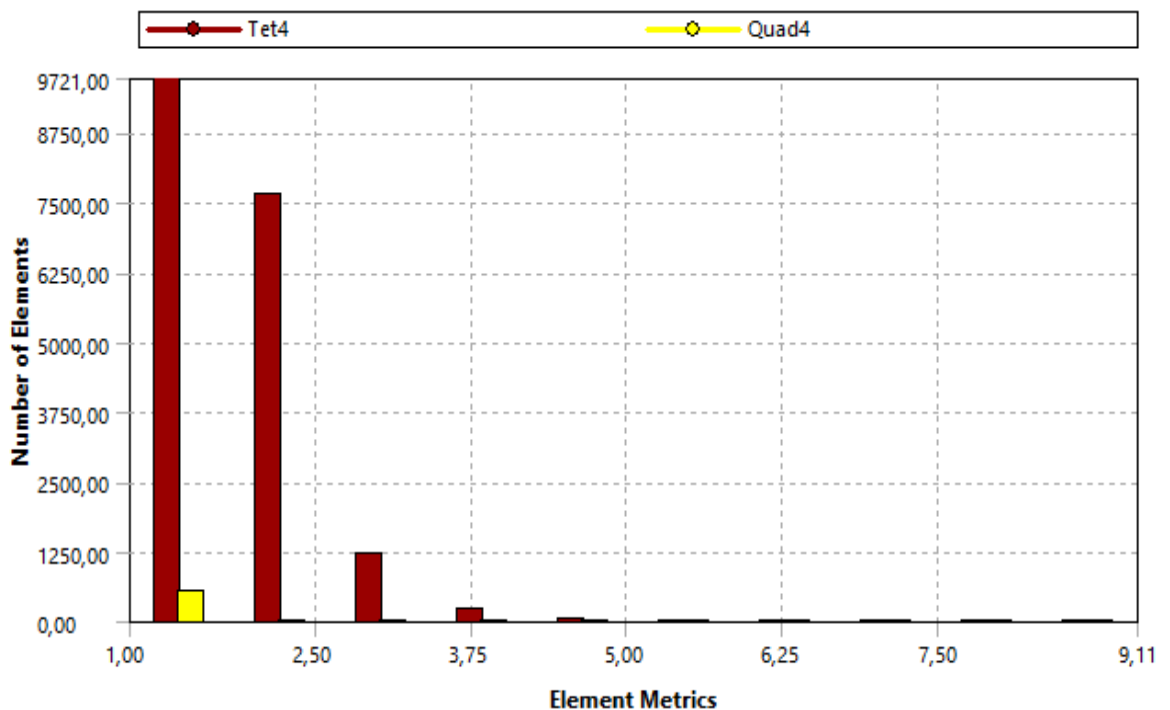


Figura 4.53. Calidad de malla de la probeta a flexión

Fuente: Autor

De la comparación de resultados se obtiene un error promedio de 0.6 %, el cual es un valor lo suficientemente bajo como para dar por válido el modelo de material utilizado en la simulación.

4.16.6. Simulación del ensayo a compresión

Se realizó el modelo de la probeta de la fachaleta tipo sólido y del apoyo móvil, apoyo fijo en elemento tipo Shell; se aplica un desplazamiento al apoyo móvil en toda la probeta como muestra la Figura 4.54.

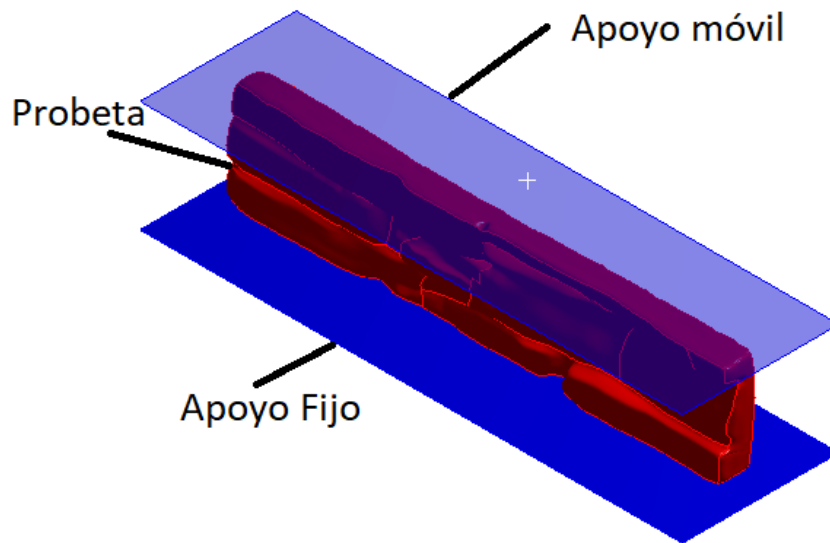


Figura 4.54. Esquema del ensayo a compresión

Fuente: Autor

El mallado de muestra en la Figura 4.55 donde es un mallado uniforme para los apoyos móvil y fijo con un tamaño de malla cercano a 1 para la fachaleta que es el tema de nuestro estudio.

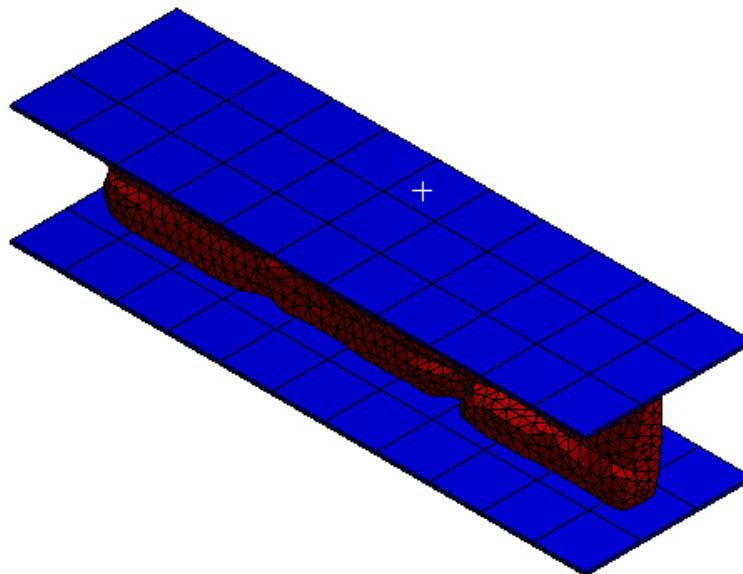


Figura 4.55. Mallado de la probeta a compresión

Fuente: Autor

La cantidad de elementos indica el valor del Aspect Ratio con un valor mínimo de 1,9 como muestra el ejemplo de la Figura 4.56 y un valor máximo de 6,8 siendo los elementos más cercanos a 1, estando dentro de la caracterización recomendada.

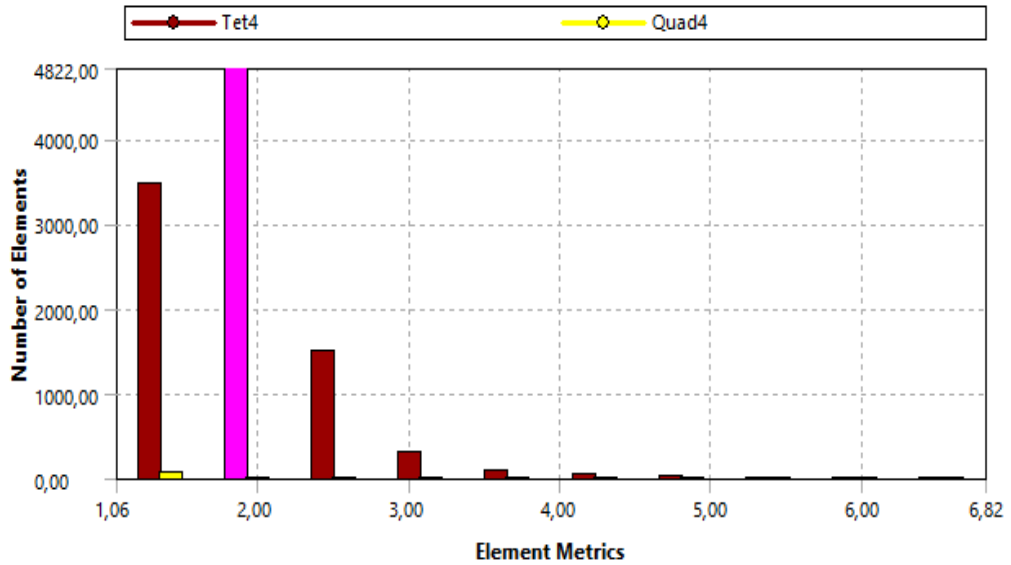


Figura 4.56. Calidad de malla de la probeta a compresión

Fuente: Autor

4.16.7. Comparación de resultados de la simulación de flexión

Los resultados obtenidos de la fachaleta presentan un comportamiento muy cercano al ensayo de flexión real al tratarse de una simulación dinámica explícita, se ha evaluado su validez por medio del esfuerzo deformación de Von Misses como muestra la Figura 4.57, siendo 2.0134 MPa mientras que el ensayo real fue de 1.525 MPa de la combinación 35A.

$$e\% = \frac{\text{valor máximo} - \text{valor mínimo}}{\text{valor máximo}} \quad \text{Ec. 4.18}$$

$$e\% = \frac{2.0134 \text{ MPa} - 1.525 \text{ MPa}}{2.0134 \text{ MPa}} * 100$$

$$e\% = 24.25$$

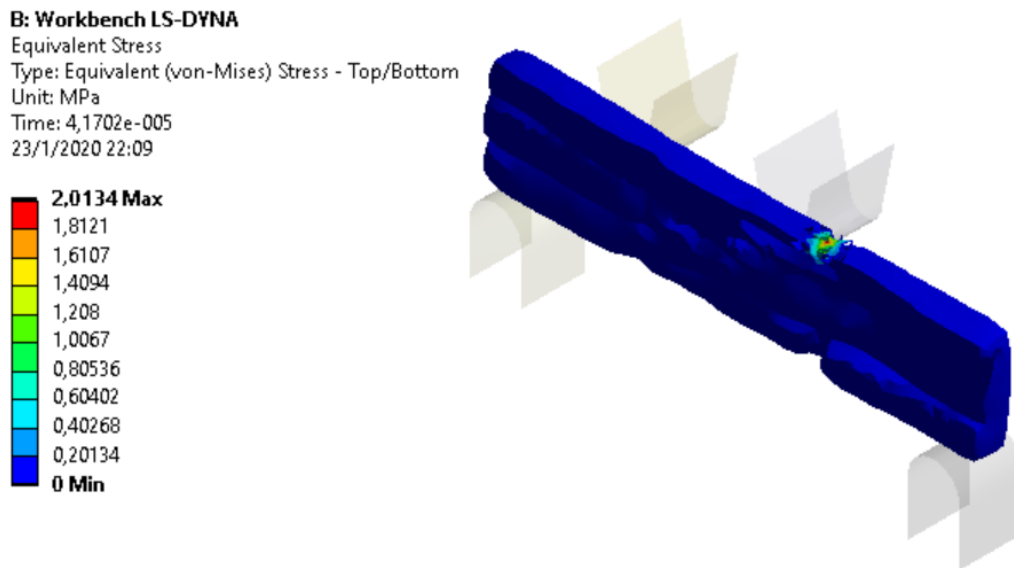


Figura 4.57. Esfuerzo Von Misses a flexión

Fuente: Autor

Una vez realizada la simulación se ha determinado que la probeta de la fachaleta falla en la misma zona que en el ensayo real como muestra la Figura 4.58, por tal motivo se valida el ensayo simulado.

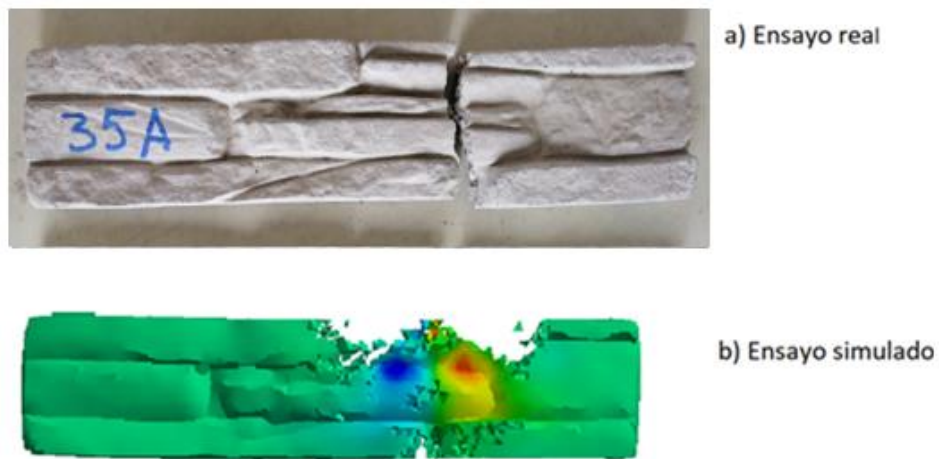


Figura 4.58. Comparación a) ensayo real vs b) ensayo simulado flexión

Fuente: Autor

4.16.8. Comparación de resultados de la simulación de compresión

Se ha evaluado su validez por medio del esfuerzo de Von Misses como muestra la Figura 4.59 donde obteniendo 3.7421 MPa mientras que el ensayo real fue de 4.11769 MPa de la combinación 35B.

Cálculo del error de la simulación del ensayo a compresión

$$e\% = \frac{\text{valor máximo} - \text{valor mínimo}}{\text{valor máximo}} \quad \text{Ec. 4.19}$$

$$e\% = \frac{4.11769 \text{ MPa} - 3.7421 \text{ MPa}}{4.11769 \text{ MPa}} * 100$$

$$e\% = 9.12$$

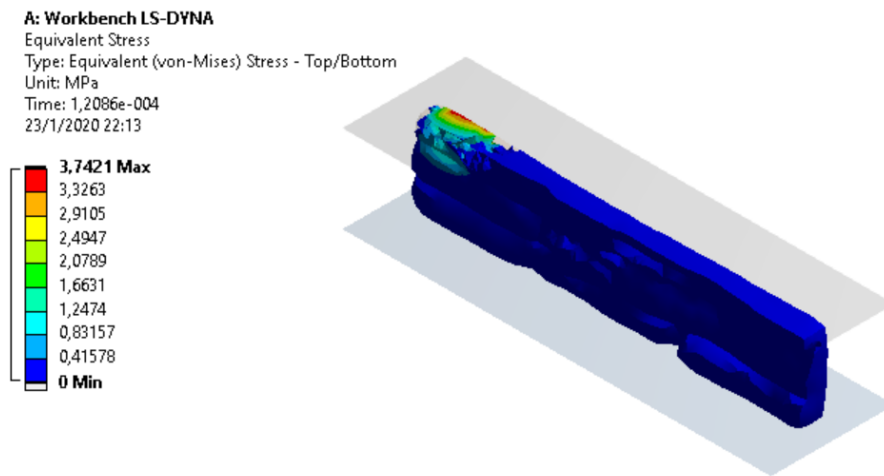


Figura 4.59. Esfuerzo Von Mises a compresión

Fuente: Autor

Una vez realizada la simulación se observa que la probeta falla o produce rotura en la misma zona del ensayo real de compresión como muestra la Figura 4.60, por tal motivo se valida el ensayo simulado.

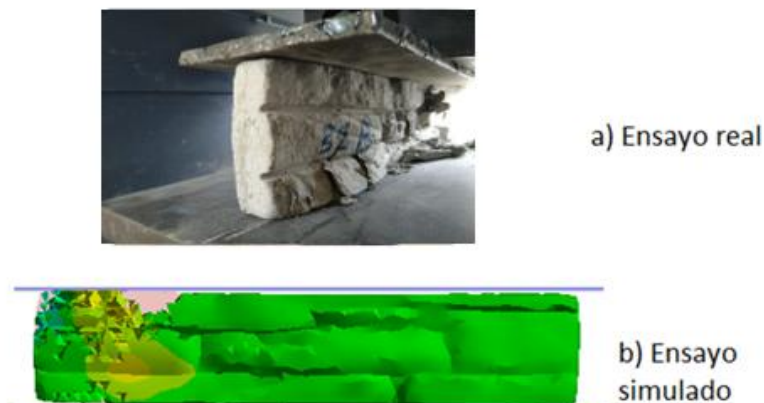


Figura 4.60. Comparación a) ensayo real vs b) ensayo simulado compresión

Fuente: Autor

4.17. Ensayo virtual del molde a utilizarse en la fabricación de las fachaletas

Para la siguiente simulación se presenta un molde para la obtención de las fachaletas, el modelo se ha obtenido a partir de las operaciones con superficies en software. Se ha generado un modelo matemático para determinar los parámetros ingenieriles cuando el molde soporte una presión de 2 MPa, que es el material compuesto que se vierte sobre el interior del molde. Las propiedades del material Artesil 1 (Caucho) del molde que se utilizaron para realizar la simulación son los siguientes valores:

- Densidad = $1000 \frac{kg}{m^3}$
- Módulo de Young = 6.1 MPa
- Coeficiente de Poisson = 0.49

Propiedades of Outline Row 3: molde				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	1000	kg m ⁻³	
4	Isotropic Elasticity			
5	Derive from	Young's Modulus and Poisso...		
6	Young's Modulus	6,1	MPa	
7	Poisson's Ratio	0,49		
8	Bulk Modulus	1,0167E+08	Pa	
9	Shear Modulus	2,047E+06	Pa	
10	Tensile Yield Strength	3,42	MPa	

Figura 4.61. Ingreso del material del molde en el software de diseño

Fuente: Autor

Para obtener la geometría del molde se realizó ingeniería inversa en un scanner en 3D en la empresa BKB de la Provincia de Pichincha, con la finalidad de obtener todas las superficies regulares e irregulares del molde para así poder obtener las fachaleta con las nuevas propiedades.

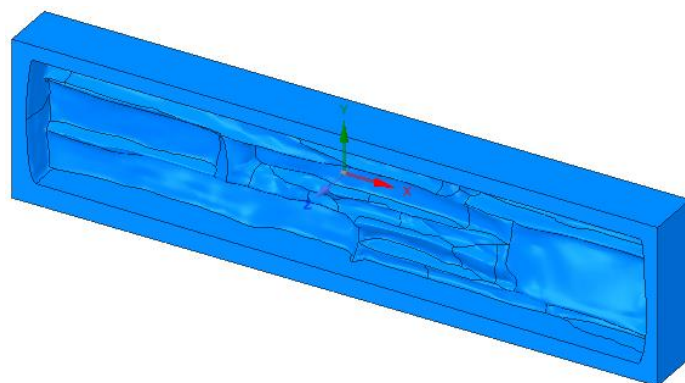


Figura 4.62. Geometría del molde de la fachaleta realizada en un software de diseño

Fuente: Autor

El mallado es uniforme para el molde con un tamaño de malla cercano a 1. La cantidad de elementos indica el valor del Aspect Ratio con un valor mínimo de 1,18 como muestra el ejemplo de la Figura 4.63 y un valor máximo de 16,90 siendo los elementos con valor 1,18 los más cercanos a 1 y están dentro de la caracterización recomendada.

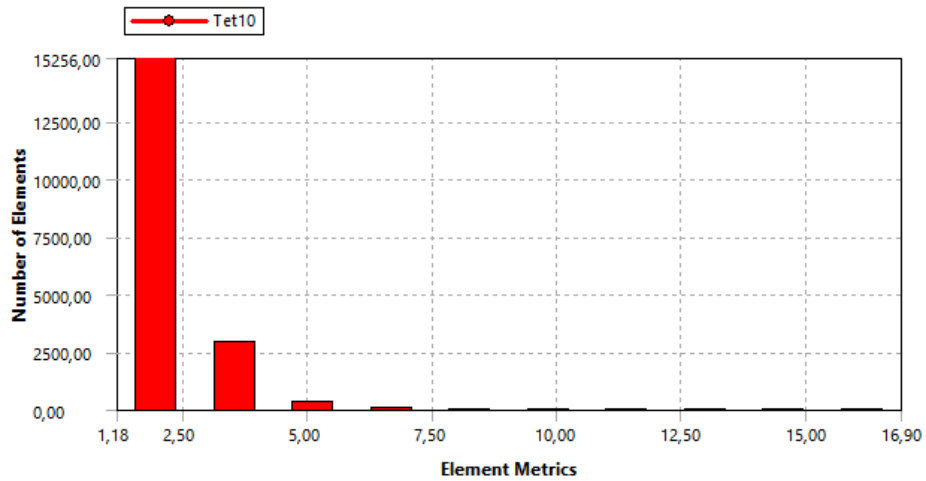


Figura 4.63. Calidad de malla del molde

Fuente: Autor

4.17.1. Análisis de resultados del molde de la fachaleta

El comportamiento del molde mientras se agrega el material para fabricación de la fachaleta no sufre un esfuerzo elevado como para destruirse, al contrario, soporta este esfuerzo máximo de 10.328 MPa que se obtiene en el software. (Ver Figura 4.64)

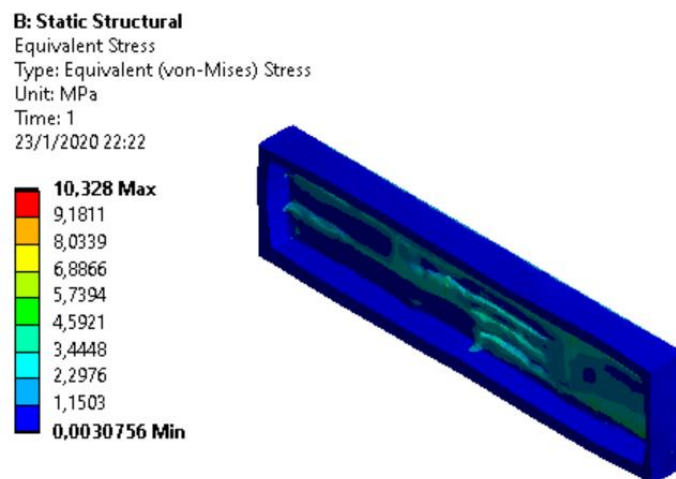


Figura 4.64. Esfuerzo equivalente de Von Misses del molde

Fuente: Autor

También se puede comparar con la deformación total en el molde que es mínima de 31.004 mm como se observa en la Figura 4.65.

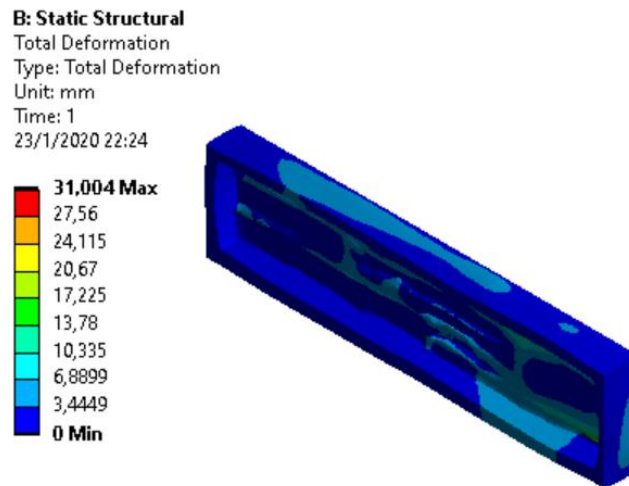


Figura 4.65. Deformación total del molde

Fuente: Autor

4.18. Verificación de la Hipótesis

Hipótesis

“La variación de parámetros en la fabricación de fachaletas al añadir en concreto el triturado de tereftalato de polietileno reciclado procedente de las botellas plásticas mejora las propiedades mecánicas respecto a las fachaletas comerciales”.

Verificación de la hipótesis

En función a los resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados en esta investigación se pudo confirmar la hipótesis planteada anteriormente, verificando que si se puede fabricar fachaletas mezclando concreto con triturado de tereftalato de polietileno reciclado. La hipótesis que se planteó en el capítulo II se comprueba de manera estadística (Ver Tabla 4.23) que realizando la optimización mediante metodología de superficie de respuesta los mejores parámetros para la fabricación de las fachaletas son con un porcentaje de PET del 15 %, el tamaño del Tereftalato de Polietileno de 14mm y 6.9596mm la dimensión del agregado. Se comprueba de manera experimental realizando los ensayos de flexión a 4 puntos y de compresión que las

fachaletas fabricadas de concreto más la adición de PET aumentan su resistencia (Ver Tabla 4.14) comparando con las fachaletas comerciales (Ver Tabla 4.2) .

La adición del triturado de Tereftalato de Polietileno triturado reciclado en el concreto para la fabricación de fachaletas nos ayuda a ganar mayor resistencia al esfuerzo a la Flexión en un 56% (ver Figura 6.28) y una resistencia al esfuerzo de Compresión en un 52% (ver Figura 6.29), la disminución del peso en un 10.85% (ver Figura 6.30) y un mejor acabado superficial (ver Figura 4.5) en relación a las fachaletas comerciales (ver Figura 4.2) que se distribuyen en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.

CAPITULO V

5.1. Conclusiones

- Se determinaron porcentajes de sustitución del triturado de tereftalato de polietileno reciclado de las botellas de plástico del 15 %, 20% y 25 % en la mezcla con el concreto, las dimensiones del triturado de tereftalato de polietileno fueron de 6mm – 8mm y 14mm y finalmente las dimensiones del agregado de 3mm, 8mm y 11mm.
- El diseño de experimentos se realizó en función a 15 combinaciones y 3 réplicas por cada combinación teniendo un total de 45 fachaletas. se fabricaron un total de 90 fachaletas para realizar los ensayos para determinar el esfuerzo máximo a flexión a 4 puntos y compresión de cada combinación de las fachaletas.
- El esfuerzo máximo a flexión a 4 puntos que soportaron las fachaletas que están fabricadas de concreto más la adición del triturado de tereftalato de polietileno reciclado es de 1.59958 MPa el cual es superior en un 56% de las fachaletas comerciales que tienen un esfuerzo máximo a la flexión a 4 puntos de 0.70381 MPa. El esfuerzo máximo a la compresión que soportaron las fachaletas fabricadas de concreto más la adición del triturado de tereftalato de polietileno reciclado es de 4.31367 MPa que es superior a un 52% de las fachaletas comerciales que tienen un esfuerzo máximo de 2.04373 MPa.
- Realizando la optimización de las 45 combinaciones y obtener los mejores resultados de la densidad mínima, el esfuerzo a la flexión a 4 puntos máximo, la deformación a flexión mínimo, el esfuerzo a compresión máximo y la máxima deformación a la compresión mínima, se debe realizar con un porcentaje del 15% del triturado del tereftalato de polietileno reciclado, la dimensión del tereftalato de polietileno de 14mm y la dimensión del agregado de 6,95mm.
- Para determinar la dosificación del concreto se realizaron 3 combinaciones base con 2 réplicas y se utilizaron cilindros de 100mm x 200mm para determinar el

esfuerzo máximo a compresión obteniendo un valor promedio de 5.28 MPa a los 7 días de fabricación. además, se realizaron 6 cilindros de 100mm x 200mm con 2 réplicas con combinaciones de concreto con la adición del triturado de tereftalato de polietileno reciclado obteniendo un valor promedio de 5.31 MPa a los 7 días de fabricación.

- Las respuestas del punto óptimo global se determinan con la densidad de 1771.5927 kg/m^3 , el esfuerzo a la flexión a 4 puntos es de 1.4710 MPa, la deformación a la flexión es de 0.6855 mm, el esfuerzo máximo a la compresión es de 3.9821 MPa, la máxima deformación a la compresión 1.9780 %.
- El peso de la fachaleta comercial ca1 es de 1.705kg y de la fachaleta de concreto más la adición del triturado de tereftalato de polietileno reciclado de la combinación 25 que tiene un porcentaje de PET de 20% en la mezcla, 14mm de la dimensión del PET y 11mm de la dimensión del agregado tiene un peso de 1.520kg. se concluye que el peso de las fachaletas las cuales están fabricadas de concreto más la adición del triturado de tereftalato de polietileno reciclado tiene una disminución de 185gramos en relación a las fachaletas comerciales.
- Existe viabilidad para reutilizar el triturado de tereftalato de polietileno que se obtiene al reciclar botellas plásticas y posteriormente mezclar con concreto para la fabricación de fachaletas por motivo que se reutiliza un material que se consume a diario y la mayoría de este es desechado al ambiente produciendo una gran contaminación. para lo cual se pudo encapsular hasta 9 botellas de 500ml en la fabricación de 1 fachaleta.
- Para la simulación se determinaron la calidad de malla, aspect ratio, propiedades mecánicas del material para poder realizar la simulación de la resistencia de la fachaleta

5.2. Recomendaciones

- Para una próxima investigación se recomienda utilizar un pigmento en la mezcla del material compuesto con la finalidad de obtener fachaletas de colores para tener mayor aceptación por parte de la industria de la construcción.
- Tener en consideración para una futura investigación en la fabricación de fachaletas no utilizar arena de río, únicamente solo con agua, cemento portland,

triturado de tereftalato de polietileno reciclado en dimensiones mayores a 14 mm y un valor no mayor al 15% del triturado de Tereftalato de Polietileno reciclado en la mezcla y una dimensión del agregado de 7mm.

- Realizar fachaletas mediante la mezcla de concreto con la adición del triturado de polipropileno (PET 5) que se obtiene en las tapas y argollas de las botellas plásticas que se reciclan y además la etiqueta que disponen. Además, disponer de una norma apropiada para fachaletas y poder realizar los análisis de flexión y compresión.
- Realizar el modelo de la geometría de la fachaleta de forma detallada para su posterior análisis durante la simulación. En el análisis por elementos finitos, se recomienda utilizar un tamaño de malla uniforme. También se debe refinar la malla para poder tener igualdad en la distribución de esfuerzos.

CAPÍTULO VI

6.1. Propuesta

“PROCEDIMIENTO PARA LA FABRICACIÓN DE FACHALETAS MEZCLANDO CONCRETO CON TRITURADO DE TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADO MEDIANTE OPTIMIZACIÓN POR METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA”

6.1.1. Datos informativos

Institución Ejecutora: Universidad Técnica de Ambato

Beneficiarios: Industria de la Ingeniería Mecánica, Ingeniería Civil, y Medio Ambiente

Responsable: FICM, UTA

Equipo técnico responsable: Ing. Willan Castillo, Ing. Juan Paredes, Mg

Financiamiento: Recursos propios del Ing. Willan Castillo.

6.2. Antecedentes de la propuesta

Mediante el desarrollo esta investigación se tiene como objetivo fundamental un mejor acercamiento a una filosofía de trabajo, el desarrollo de un material compuesto el cual está constituido de concreto más la adición de triturado de Tereftalato de Polietileno reciclado el cual se obtiene de las botellas plásticas de agua, posteriormente este material compuesto se vierte en un molde para la obtención de fachaletas.

En la Universidad Técnica Ambato se realizó el desarrollo del tema de investigación “La adición de botellas plásticas PET en la elaboración de bloques alivianados para viviendas unifamiliares y su efecto en la variación de temperatura y acondicionamiento acústico en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua”, tema de investigación desarrollada por el Sr. Edison Andrés Paguay Córdova como tesis de pregrado para obtener el título de Ingeniero Civil y lo que realizó son bloques alivianados de

hormigón con plástico de tereftalato de polietileno para conocer la influencia en la variación de temperatura y acondicionamiento acústicos por medio de una cámara hermética. Para lo cual determina que al aumentar el porcentaje de material de PET en la mezcla la resistencia a la compresión disminuye en 4, 12, 30 y 50 %, sin embargo, esta resistencia a la compresión es superior al bloque artesanal tradicional. Además, en función como se siga aumentando el porcentaje de PET su variación térmica y acústica mejora en relación con una pared de bloque tradicional y de bloque normado. La mejor adición del PET en la mezcla es de 50% para los bloques y un 75% para la pared de bloques en el ensayo acústico. Existen investigaciones de la adición del tereftalato de polietileno triturado o cortado en la mezcla con el concreto y se ha desarrollado las investigaciones en la construcción de bloques o adoquines para utilizar en la industria de la construcción.

6.2.1. Justificación

En el Ecuador se han realizado varias investigaciones de la adición del triturado de tereftalato de polietileno en el concreto, la mayoría de éstas se han ejecutado para aplicación en bloques y ladrillos para ser utilizados en la industria de la construcción, sin embargo, no se han desarrollado con un enfoque a fachaletas; de esta manera se propone darle utilidad al PET que se obtiene al reciclar las botellas plásticas, minimizando la contaminación del medio ambiente y dándole un nuevo uso del mismo, por lo cual es necesario que la propuesta de esta investigación sea direccionada hacia la industria de la construcción. Se realiza la optimización mediante metodología de superficie de respuesta la mezcla de este material compuesto y su utilización para la elaboración de fachaletas que posteriormente se utilizarán en la industria de la construcción para mejorar las fachadas exteriores e interiores de las casas.

Finalmente se determinarán los valores del esfuerzo máximo a flexión a 4 puntos y compresión de las fachaletas fabricadas con el material compuesto y se procede a comparar estos valores de esfuerzos con los obtenidos en las fachaletas comerciales con la finalidad de verificar si son mayores o menores, de esta manera determinar la viabilidad de realizar las fachaletas de concreto con la adición del PET reciclado de las botellas plásticas.

6.2.2. Objetivos

6.2.2.1. Objetivo general

Elaborar un procedimiento para la fabricación de fachaletas mezclando concreto más la adición del triturado de PET reciclado de las botellas plásticas como un material compuesto alternativo a implementarse en la industria de la construcción, mejorando las propiedades mecánicas y minimizando la contaminación del medio ambiente.

6.2.2.2. Objetivos específicos

Definir el proceso de obtención del triturado de PET reciclado y la fabricación del molde para la obtención de la fachaleta.

Comparar el esfuerzo máximo a flexión a 4 puntos y el esfuerzo máximo a compresión de las fachaletas fabricadas de un material compuesto de concreto más la adición del triturado de tereftalato de polietileno reciclado y las fachaletas comerciales.

Determinar los costos de las fachaletas que son fabricadas de un material compuesto de concreto con la adición del triturado de PET reciclado a implementarse en la industria de la construcción y compararlas con los costos de las fachaletas comerciales.

6.2.3. Análisis de factibilidad

Esta investigación es viable por motivo que los materiales son fáciles de conseguir como: cemento, arena de río, agregados y el tereftalato de polietileno que se encuentra en las botellas plásticas, luego se debe realizar su proceso de triturado y clasificación de acuerdo a su tamizado. Se tiene información de las normas para los ensayos a Flexión a 4 puntos que es la norma INEN 2524 y para los ensayos a compresión es la norma INEN 1573, también se cuenta con un excelente recurso humano, instrumentos y máquinas de precisión que fueron facilitados en el Laboratorio de Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Los costos para el desarrollo de esta investigación son acordes a la propuesta que se presentó, lo cual facilita el desarrollo de la fabricación de fachaletas y que la propuesta sea factible.

6.2.3.1. Análisis tecnológico

Realizados y culminados los ensayos de flexión a 4 puntos y esfuerzos a compresión del material compuesto el cual está conformado de concreto más la adición del triturado de tereftalato de polietileno reciclado, se puede determinar que este material tiene excelentes propiedades mecánicas, resistencia al esfuerzo a la flexión y la compresión. También se determina que la presente investigación es tecnológicamente factible por motivo que el PET es un material que se consume a diario por todas las personas del mundo y su utilización nos ayudará a minimizar la contaminación del Medio Ambiente [4].

Los ensayos de flexión a 4 puntos y de compresión pueden realizarse en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

6.2.4. Definiciones

Modelo

Es la pieza original de la cual se procederá a la fabricación del molde, para nuestra investigación se utilizará una fachaleta comercial la cual no tiene ninguna imperfección en la parte exterior de la fachaleta, con la finalidad de obtener excelentes réplicas de fachaletas.

Molde

El molde por lo general es un receptáculo de hueco el cual está fabricado de materiales como madera, metal o plástico, el cual tiene como objetito dar la forma a la sustancia blanda o líquida que contiene cuando esta se solidifica. Al desmoldarlo, el material contenido, presenta la misma forma que el molde.

Fachaletas

Son materiales de aspecto de piedra las cuales sirven para revestir las paredes de exteriores e interiores hechas de concreto, yeso o fibrocemento. Se pueden utilizar para la decoración de muros, columnas, chimeneas, jardines, paredes, su instalación es muy

fácil por motivo que se sitúan de manera directa en cualquier superficie con la finalidad de simular una estructura de piedra natural.

Se caracterizan porque tienen una gran resistencia a la intemperie y a la abrasión lo cual nos permite utilizarlas con seguridad en paredes de exteriores y de esta manera salvaguardar su color y textura. Están por lo general fabricadas de materiales como ladrillo, mármol, piedra natural, cemento, adobe, granito, cerámica, concreto, dependiendo del tipo de acabado que se desea dar a la fachada de una casa es que se elige el tipo de material a utilizarse en la fabricación de las fachaletas.

Las fachaletas como son fabricadas de concreto requieren de poco mantenimiento para conservar sus propiedades físicas, en el mercado existe variedad en cuanto a tamaño, espesor, textura, color y forma.

6.2.5. Recolección y tamizado de agregados finos y gruesos

➤ Arena de Río

Recolección. - La extracción de la arena se realiza de la cantera Copeto C. LTDA la cual se encuentra ubicada en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas a 1 ½ kilómetro de la vía Santo Domingo - Los Bancos a margen derecho del río Toachi. La arena adquirida tiene unas dimensiones de 3mm la misma que se muestra en la siguiente Figura 6.1.



Figura 6.1. Arena de la cantera Copeto C. LTDA de 3mm

Fuente: Autor

➤ **Agregado de 3mm**

Recolección. - La extracción del agregado de 8 mm se realiza de la Cantera San Joaquin que se encuentra ubicada en la provincia de Cotopaxi, en la vía Panamericana sur Km 44, Ingreso al parque nacional Cotopaxi, sector Santa Rita S/N. Ecuador. (Ver Figura 6.2)

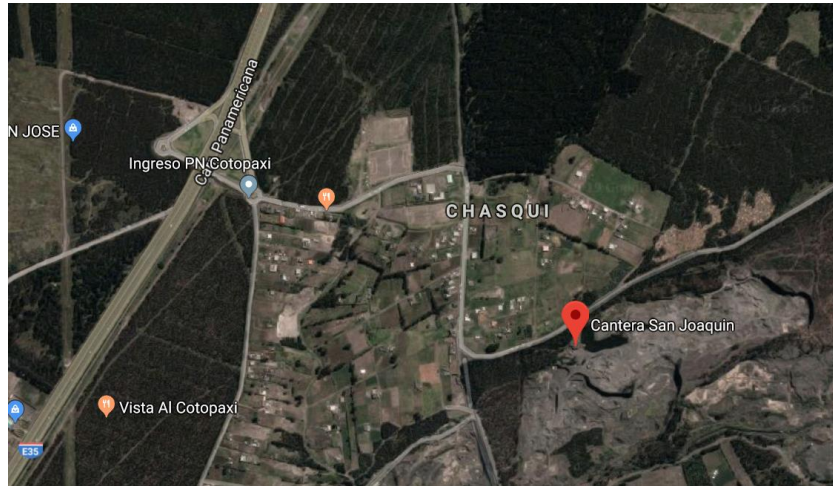


Figura 6.2. Ubicación de la cantera San Joaquin, Provincia de Cotopaxi

Fuente: Google Earth (2019)

Tamizado. - El tamizado se lo realiza en una zaranda la cual es de fabricación artesanal y se manipula entre dos personas como se presenta en la Figura 6.3 la zaranda tiene un tamiz con una dimensión de 3mm x 3mm, lo cual nos permite obtener un material homogéneo.



Figura 6.3. Zaranda con tamiz de 3mm x 3mm para obtención del agregado de 3mm

Fuente: Autor

El agregado final de 3mm que se obtiene luego del proceso de tamizado y homogéneo se muestra en la Figura 6.4.



Figura 6.4. Agregado de 3 mm

Fuente: Autor

➤ **Agregado de 8mm**

Recolección. - Se realiza de la Cantera San Joaquin. (Ver Figura 6.2)

Tamizado. - El tamizado se lo realiza en una zaranda la cual es de fabricación artesanal y se manipula entre dos personas como se presenta en la Figura 6.5 la zaranda tiene un tamiz con una dimensión de 8mm x 8mm, lo cual nos permite obtener un material homogéneo.



Figura 6.5. Zaranda para obtención del agregado de 8 mm

Fuente: Autor

El agregado final de 8mm que se obtiene luego del proceso de tamizado y homogéneo se muestra en la Figura 6.6.



Figura 6.6. Agregado de 8mm tamizado

Fuente: Autor

➤ **Agregado de 11mm**

Recolección. - Se realiza de la Cantera San Joaquin. (Ver Figura 6.2).

Tamizado. - El tamizado se lo realiza en una zaranda la cual es de fabricación artesanal y se manipula entre dos personas como se presenta en la Figura 6.7. La zaranda tiene un tamiz con una dimensión de 11mm x 11mm, lo cual nos permite obtener un material homogéneo.



Figura 6.7. Zaranda para obtención del agregado de 11mm.

Fuente: Autor

El agregado final de 11 mm que se obtiene luego del proceso de tamizado y homogéneo se muestra en la Figura 6.8.



Figura 6.8. Agregado de 11mm tamizado

Fuente: Autor

6.2.6. Triturado de tereftalato de polietileno reciclado

➤ **Recolección.** - Las botellas plásticas de PET se fabrican a través de petróleo las cuales si se encuentran enterradas pueden degradarse en 1000 años contaminando el medio ambiente [26].

Para la recolección de las botellas plásticas se ha utilizado una máquina recicladora automática, la cual tiene incentivos al usuario de \$ 0.01 centavo de dólar y un ticket de descuento por cada botella plástica que se ingresa al interior de la máquina para ser utilizado en cada una de las compras realizadas dentro de locales autorizados. Mediante el reciclaje con este tipo de máquinas nos aseguramos de que las botellas en el interior de la misma sean nuevas y por ende mantener las propiedades físicas y químicas del PET.

La máquina recicladora de botellas plásticas se muestra en la Figura 6.9, la cual se encuentra en la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas con una recolección diaria de 500 botellas plásticas entre botellas de 250ml y 3000ml, lo cual equivale a unos 10 kilogramos de tereftalato de polietileno. Mediante este tipo de reciclaje de botellas plásticas generamos una mejor conciencia ambiental evitando que muchas de ellas contaminen el medio ambiente Figura 6.10.



Figura 6.9. Máquina recicladora automática de botellas plásticas

Fuente: Autor



Figura 6.10. Recolección de botellas plásticas de PET

Fuente: Autor

- **Transporte.** - Una vez que la máquina recicladora de botellas plásticas se encuentre al 90% de su capacidad nominal, se procede a retirar del interior de la misma y posteriormente se traslada al centro de acopio mediante la utilización de una camioneta (Ver Figura 6.11).



Figura 6.11. Traslado de botellas plásticas de tereftalato de polietileno

Fuente: Autor

- **Separado de Materiales.** - A todas las botellas plásticas recicladas se les realiza el siguiente proceso.

Separación de argolla y tapa. - Las tapas de las botellas se proceden a retirar de manera manual, al igual que las argollas o anillos (Ver Figura 6.12). Por lo general las tapas y los anillos son de los siguientes materiales:

- Polipropileno
- Polietileno de baja densidad
- Polietileno de alta densidad



Figura 6.12. Separación de tapas y argollas de las botellas recicladas

Fuente: Autor

Retiro de etiqueta. - Las etiquetas de las botellas plásticas generalmente son de material de polietileno (PE) que muestran excelentes características de impresión y de estiramiento. Para retirar la etiqueta de las botellas se lo realizó de manera manual cortando un extremo de la misma con una tijera y posteriormente almacenándola en un recipiente como se muestra en la Figura 6.13.



Figura 6.13. Retiro de las etiquetas de las botellas plásticas

Fuente: Autor

➤ **Selección de la máquina trituradora de botellas plásticas de PET**

Una vez obtenidas las botellas plásticas de tereftalato de polietileno sin tapa, argolla y la etiqueta, se procedió a realizar la trituración de las botellas plásticas. Para obtener el triturado del tereftalato de polietileno se seleccionó una trituradora de cuchillas marca Nelmor, Modelo G1215 M1, Serial 73 03 5012 la cual dispone de tres cuchillas móviles y dos fijas para la trituración de las botellas. Las características de esta trituradora se muestran a continuación en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1. Características técnicas de la trituradora Nelmor, modelo G1215 M1

PRODUCT FEATURES
Used 12'' x 15 '' Nelmor Granulator Model G1215M1, 20 Hp,
3 Fly Knife, 2 Bed Knife, Closed Rotor
3/16'' Screen With Bin Discharge, With Starter, On Casters
Currently setup for 460V/3Ph/60Hz (25 Amps)
54'' Feed Height
Approximate Dimensions: 52'' x 36'' x 72 ''
Weight: 1700 LBS

Fuente: [30]

La máquina para triturar las botellas plásticas se muestra en la Figura 6.14.



Figura 6.14. Trituradora de botellas plásticas Nelmor, Modelo G1215 M1

Fuente: Autor

El proceso de trituración de las botellas plásticas consiste en ingresarlas en la parte superior de la tolva de la trituradora y el producto final se recibe en la parte inferior como se aprecia en la Figura 6.15.



Figura 6.15. Proceso de trituración de las botellas plásticas de PET

Fuente: Autor

Para la obtención de los 3 tamaños del triturado de PET reciclado, únicamente se procede a realizar el cambio de la criba en la parte inferior de la trituradora (Figura 6.16) en los tamaños establecidos en esta investigación que son de 6mm, 8mm y 14mm.



Figura 6.16. Criba utilizada para la obtención de tamaños de tereftalato de polietileno de 6 mm, 8 mm y 14 mm.

Fuente: Autor

- **Triturados de PET reciclado de 6mm, 8mm y 14mm.-** Se obtienen luego del proceso de trituración siendo homogéneos, se muestran en la Figura 6.17, Figura 6.18 y Figura 6.19 respectivamente.



Figura 6.17. Triturado de PET reciclado de 6mm.

Fuente: Autor



Figura 6.18. Triturado de PET reciclado de 8mm.

Fuente: Autor



Figura 6.19. Triturado de PET reciclado de 14mm.

Fuente: Autor

Lavado. - Una vez realizado el triturado del PET se procede a ingresar en un recipiente con agua y posteriormente a retirar los sedimentos productos del triturado con un colador (Ver Figura 6.20). Este proceso se realiza para cada uno de los tamaños de PET.



Figura 6.20. Lavado del PET de 6mm, 8mm y 14mm.

Fuente: Autor

Secado. - El secado del PET se realizó a una temperatura ambiente de 38 °C en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas con la finalidad de no alterar las propiedades físicas y químicas del material.



Figura 6.21. Secado del PET de 6 mm, 8mm y 14mm

Fuente: Autor

6.2.7. Selección del material para el molde

Para la realización del molde para la obtención de las fachaletas se procedió a utilizar el material Artesil 1, el cual es un elastómero de silicona que debe mezclarse con un catalizador en proporciones de 100 partes de Artesil 1 y 4 partes del catalizador a temperatura ambiente. Se obtiene un molde flexible, elástico y de excelentes propiedades mecánicas para poder realizar varias réplicas de las fachaletas. Las características físicas del material Artesil 1 se presentan en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2. Características físicas del material Artesil 1 y el catalizador

Características físicas	Artesil 1	Catalizador
Aspecto	Pasta fluida	Líquido
Color	Blanco	Transparente/Azul
Viscosidad a 25 °C, mPas	20-30,000	-----
Densidad a 25 °C, g/cm ³	1,2	0,95

Fuente: [31]

Las propiedades mecánicas del material Artesil 1 evaluado a los 7 días se presentan en la Tabla 6.3.

Tabla 6.3. Propiedades mecánicas del material Artesil 1

Propiedad	Valor
Dureza (Shore A)	18
Resistencia a la rotura	35 kg/cm ²
Alargamiento a la rotura	350%
Resistencia al desgarro	20 kg/cm

Fuente: [31]

6.2.8. Fabricación del molde

Para elaborar el molde se siguen los siguientes pasos:

1. Realizar una estructura hermética de madera que contenga a toda la fachaleta para ingresar fluido de Artesil 1 con un espesor de 2 cm más con la finalidad de dar robustez para desmoldar la fachaleta. Las medidas de la estructura de madera son de 14cm x 51cm y una altura de 5 cm (Ver Figura 6.22). Recubrir con plastilina los vértices para evitar que el fluido salga de la madera.



Figura 6.22. Estructura de madera para realizar el molde de la fachaleta

Fuente: Autor

2. Colocar una base en la parte inferior del molde con la finalidad de tener movilidad, se puede utilizar silicona para fijación y además nos ayudará al desmolde. Una vez ya realizada la estructura es necesario fijar a la fachaleta con silicona y proceder a hermetizar con plastilina a todo el molde de la fachaleta con el propósito de evitar desperdiciar el elastómero de silicona Artesil 1.



Figura 6.23. Fijación y hermetizado de la estructura del molde para la fachaleta

Fuente: Autor

3. Para calcular el volumen de ingreso de fluido en el interior del molde de la fachaleta se debe realizar con arroz y posteriormente ingresar la misma cantidad en volumen del fluido de Artesil 1.



Figura 6.24. Cálculo del volumen de Artesil 1

Fuente: Autor

4. Disponer de una superficie limpia, libre de residuos, y aplicar un agente de desmolde adecuado como la vaselina en toda la superficie del molde donde se ingresará el Artesil 1. La mezcla del Artesil 1 y del catalizador se debe realizar en un recipiente limpio en la proporción de 100 partes de Artesil 1 y 4 partes en peso del catalizador. Se debe mezclar ambos componentes hasta que el catalizador se encuentre totalmente disperso en la base, esta mezcla se puede realizar de manera manual o con la ayuda de un mezclador mecánico y no exponer la mezcla a temperaturas mayores de 35 °C.



Figura 6.25. Mezcla de Artesil 1 y el catalizador

Fuente: Autor

5. Aplicar la mezcla del fluido lo más pronto posible sobre el molde de la fachaleta, y evitar oclusiones de aire. La mezcla se efectuará lentamente sobre el punto más bajo y profundo de la estructura de madera. El material catalizador curará en un aproximado de 24 horas a una temperatura de (22 - 24 °C), formando de esta manera un molde de goma muy flexible el cual es capaz de separarse fácilmente del original. El molde de la fachaleta alcanzará sus propiedades mecánicas definitivas en el plazo de 7 días.



Figura 6.26. Mezcla de Artesil 1 y catalizador vertido en el molde de la fachaleta

Fuente: Autor

6. Finalmente se procede a realizar la misma mezcla para fabricar 6 Moldes de Artesil 1 y como se muestra en la Figura 6.27 para la elaboración de las 90 fachaletas.



Figura 6.27. Fabricación de 6 moldes de Artesil 1 para la elaboración de fachaletas

Fuente: Autor

6.2.9. Comparación del esfuerzo máximo a la flexión

En la Figura 6.28 podemos evidenciar que al sustituir en la mezcla para la fabricación de fachaletas un 25% de triturado de PET reciclado con una dimensión de 14 mm y un agregado de 8 mm podemos aumentar un 56% el esfuerzo a flexión de 4 puntos de las fachaletas comerciales, ver Tabla 4.24. El aumento de la resistencia al esfuerzo de flexión es de 0.89577 MPa en referencia a las fachaletas comerciales.

Tabla 6.4. Esfuerzo máximo a flexión de fachaletas con adición de triturado de PET reciclado y fachaletas comerciales

ESFUERZO MÁXIMO A FLEXIÓN DE 4 PUNTOS		
TIPO DE FACHALETA	TIPO DE COMBINACIÓN	ESFUERZO MÁXIMO A FLEXIÓN DE 4 PUNTOS (MPa)
Fachaleta de concreto más la adición de triturado de tereftalato de polietileno reciclado	25 % de tereftalato de polietileno con una dimensión de 14 mm y agregado de 8 mm.	1,59958
Fachaleta Comercial		0,70381

Fuente: Autor.

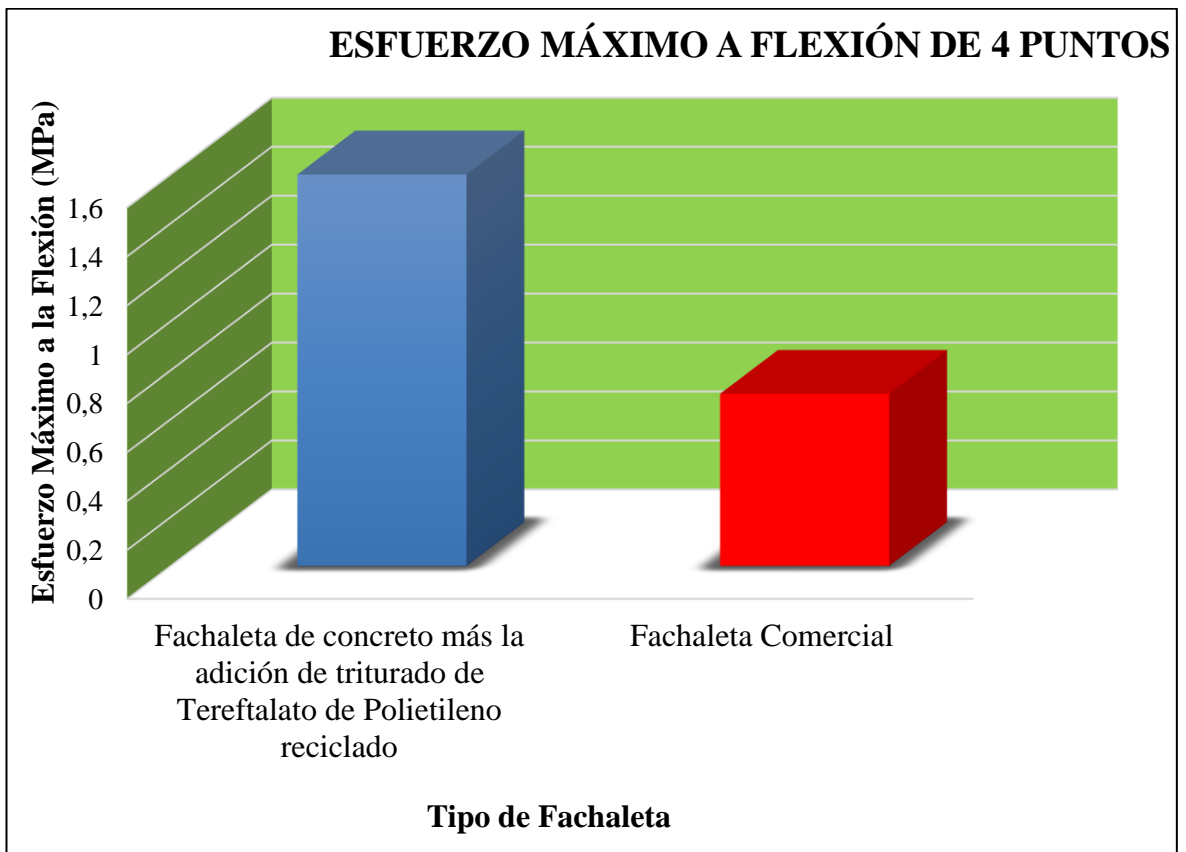


Figura 6.28. Comparativa del esfuerzo máximo a flexión de las fachaletas con adición de triturado de PET reciclado vs fachaleta comercial

Fuente: Autor

6.2.10. Comparación del esfuerzo máximo a la compresión

Tabla 6.5. Esfuerzo máximo a compresión de las fachaletas con adición de triturado de PET reciclado y fachaletas comerciales

ESFUERZO MÁXIMO A COMPRESIÓN		
TIPO DE FACHALETA	TIPO DE COMBINACIÓN	ESFUERZO MÁXIMO A LA COMPRESIÓN (MPa)
Fachaleta de concreto más la adición de triturado de Tereftalato de Polietileno reciclado	20 % de Tereftalato de Polietileno con una dimensión de 6 mm y agregado de 11 mm.	4,31367
Fachaleta Comercial		2,04373

Fuente: Autor

En la Figura 6.29 podemos evidenciar que al sustituir en la fabricación de fachaletas un 20% de triturado de PET reciclado con una dimensión de 6mm y agregado de 11mm podemos aumentar un 52.62% el esfuerzo a compresión, siendo de 2.26994 MPa en referencia a las fachaletas comerciales, ver Tabla 4.24.

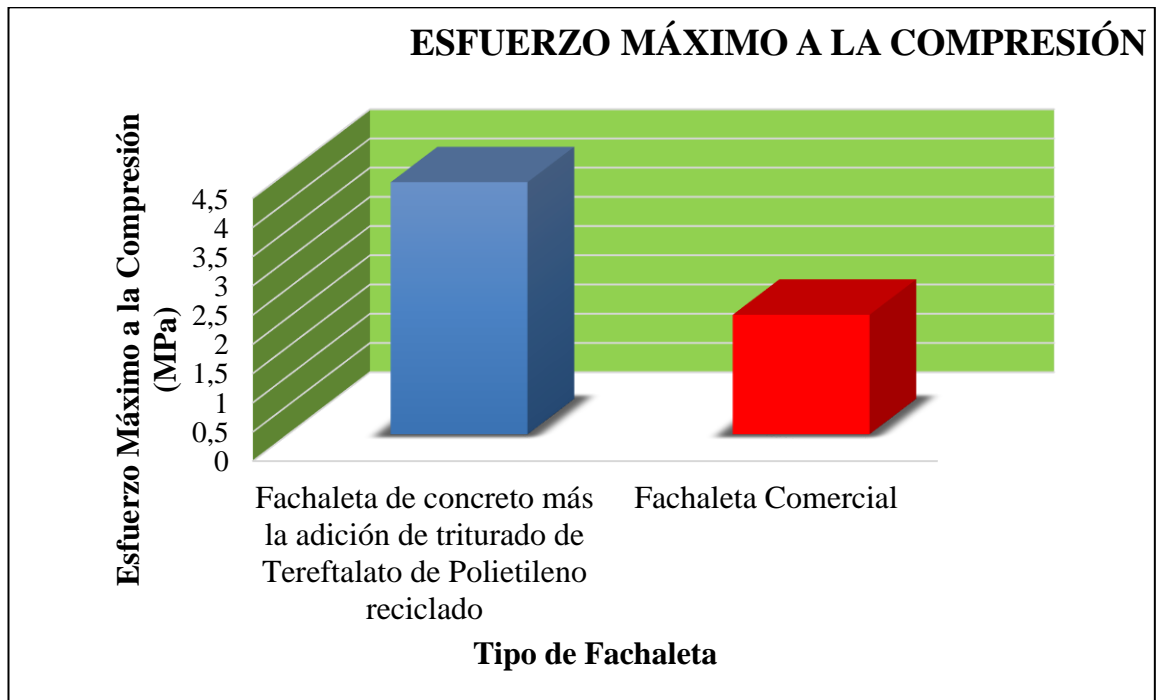


Figura 6.29. Comparativo esfuerzo máximo a compresión de fachaletas con adición de triturado de PET reciclado vs fachaletas comerciales

Fuente: Autor

6.2.11. Comparación del peso de las fachaletas

Tabla 6.6. Peso de las fachaletas con adición de triturado de PET reciclado y fachaletas comerciales

PESO DE FACHALETAS		
TIPO DE FACHALETA	TIPO DE COMBINACIÓN	PESO DE LAS FACHALETAS (Kg)
Fachaleta de concreto más la adición de triturado de Tereftalato de Polietileno reciclado	20 % de Tereftalato de Polietileno con una dimensión de 14 mm y agregado de 11 mm.	1,520
Fachaleta Comercial		1,705

Fuente: Autor

En la Figura 6.30 podemos evidenciar que al sustituir en la fabricación de fachaletas un 20 % de triturado de PET reciclado con una dimensión de 14 mm y un agregado de 11 mm podemos reducir un 10.85% el peso de las fachaletas comerciales, es decir en 0.85Kg que es equivalente con 185 gramos en referencia a las fachaletas comerciales. En la Tabla 4.15 se determinó que la combinación 25 (flexión) tiene menor peso, la cual tiene la dimensión de PET (14mm) y la dimensión del agregado (11mm).

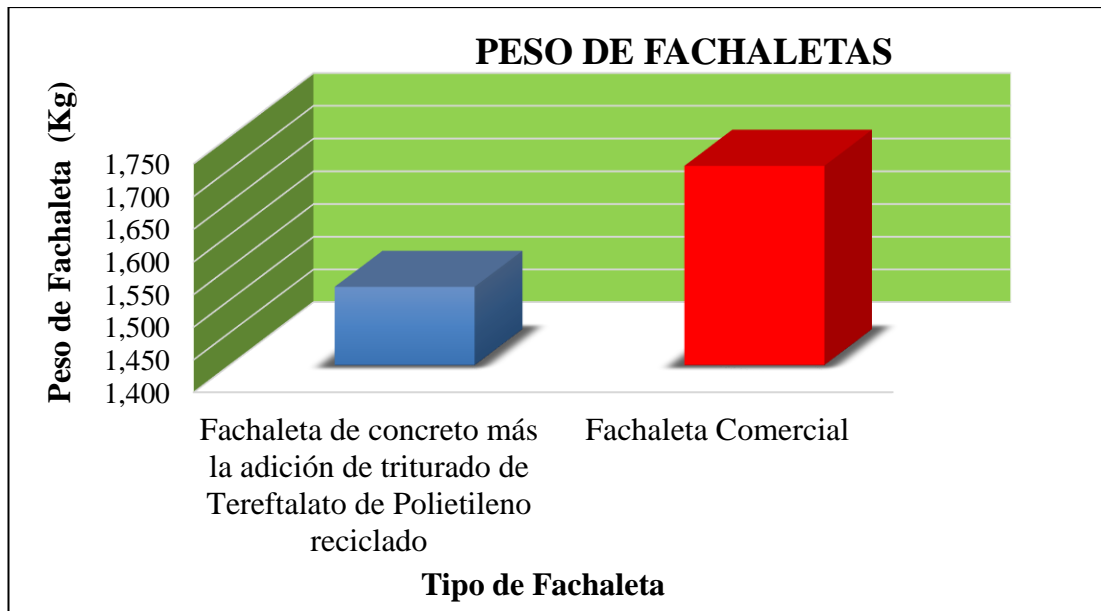


Figura 6.30. Peso de fachaletas con adición de triturado de PET reciclado vs fachaletas comerciales

Fuente: Autor

6.2.12. Costo de fabricación de las fachaletas

➤ Fachaletas con adición de triturado de PET reciclado

La valoración de los costos se determinó en función a la adquisición de cada uno de los elementos necesarios para la fabricación de fachaletas con adición de triturado de PET reciclado. Para obtener un precio real se determinó mediante los costos de:

- Materia prima
- Mano de obra
- Maquinaria y equipos
- Totales

Costo de materia prima

Se calculó para la fabricación de las 90 fachaletas en función a la dosificación del hormigón, siendo diferente para cada combinación; los precios de los materiales se determinaron referentes a las provincias de Santo Domingo de los Tsáchilas y Cotopaxi donde se adquirió la materia prima, con la finalidad de ocupar los mismos materiales que se utilizan en la fabricación de las fachaletas comerciales.

Tabla 6.7. Detalle de costos de materia prima para la fabricación de 90 fachaletas con adición de triturado de PET reciclado

Materiales	Peso	Unidad	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
Agua	41,49	Litros	0,01	0,21
Cemento	51,58	Kg	0,17	8,77
Arena	102,25	Kg	0,12	12,27
PET de 6 mm	1,30	Kg	0,50	0,65
PET de 8 mm	2,58	Kg	0,50	1,29
PET de 14 mm	1,07	Kg	0,50	0,53
Agregado de 3 mm	20,68	Kg	0,10	2,07
Agregado de 8 mm	12,64	Kg	0,10	1,26
Agregado de 11 mm	6,75	Kg	0,10	0,68
Emulsión de Silicona (E-11)	100	gr	0,01	1,00
SUBTOTAL DE MATERIA PRIMA				28,73

Fuente: Autor

Costos por mano de obra: Para su cuantificación se determinó en función del tiempo requerido de cada operario para la fabricación de las fachaletas y el costo hora de cada uno de ellos. El talento humano que se necesita en el proceso de la elaboración de las fachaletas es el siguiente:

Triturador de PET: Es el responsable de realizar el proceso del triturado del Tereftalato de Polietileno en la trituradora Nelmor, Modelo G1215 M1 con el cambio del tamiz para obtener las dimensiones finales de 6mm, 8mm y 14mm. Además de efectuar la limpieza del interior de la trituradora cada vez que se cambie de tamaño para evitar la mezcla con las otras dimensiones.

Cernidor de Arena: Se encargará de tamizar los áridos finos y gruesos para lo cual tiene 4 zarandas artesanales de madera y de esta manera obtener las dimensiones homogéneas de 3mm, 8mm y 11mm.

Técnico de mezclado: Es el responsable de pesar en la balanza (gramos) cada uno de los elementos de la materia prima, realizar la respectiva mezcla de los materiales para la fabricación de la fachaletas. Además, es la persona que realiza el desmolde y obtención de las fachaletas para su posterior etiquetado y almacenamiento de las mismas.

Asistente de mezclado: Es el responsable de clasificar en recipientes cada uno de los materiales de la materia prima con la finalidad de agilizar el proceso de elaboración de las fachaletas.

Tabla 6.8. Costo de la mano de obra para la fabricación de las fachaletas con adición de triturado de PET reciclado

Cargo	Cantidad H	Costo USD/H	Costo Total (\$)
Triturador de PET	4	2,4	9,6
Cernidor de arena	4	2,4	9,6
Técnico de mezclado	9	2,4	21,6
Asistente de mezclado	2	2,4	4,8
SUBTOTAL DE MANO DE OBRA			36

Fuente: Autor

Costo por maquinaria y equipos

Se realizó en función al alquiler de los equipos que se encuentran en el mercado y además de los tiempos que se necesitó para la obtención de la materia prima. En el caso de los moldes para la elaboración de las fachaletas se estimó un costo de \$ 0.01 centavos de dólar para la obtención de cada fachaleta por motivo que cada uno tiene en costo de 60 dólares y nos sirven para hacer hasta réplicas de 6000 fachaletas por cada molde. Para la obtención del triturado de PET únicamente se necesitó de 3 horas para la obtención de las dimensiones de 6mm, 8mm y 14mm en la trituradora Nelmor, Modelo G1215 M1.

Tabla 6.9. Costo de la mano de la maquinaria y equipos para la fabricación de las fachaletas con adición de triturado de PET reciclado

Cargo	Cantidad (H)	Costo USD/H	Costo Total (\$)
Trituradora de tereftalato de polietileno	3	2	6
Moldes de Artesil 1	2160	0,01	21,6
Herramienta menor	2	1,5	3
SUBTOTAL DE MAQUINARIA Y EQUIPOS			30,6

Fuente: Autor

Costos totales

Tabla 6.10. Costos totales para la fabricación de las fachaletas con adición de triturado de PET reciclado

Subtotal	Costo Total (\$)
Materia prima	28,73
Mano de obra	36,00
Maquinaria y equipos	30,60
SUBTOTAL COSTOS	95,33
IMPREVISTOS 10 %	9,53
SUBTOTAL	104,86
IVA 12%	12,58
TOTAL COSTOS	117,44
UTILIDAD 30%	35,23
PRECIO DE VENTA	152,68

Fuente: Autor

En la Tabla 6.10 podemos determinar el precio final de la fabricación de las 90 fachaletas para obtener todos los objetivos planteados en el desarrollo de esta investigación, se debe considerar que existen costos por estudios previos que no se consideraron para la fabricación de fachaletas y por ende éstos se los determina como costos hundidos y son asumidos por el investigador. De la Tabla 6.10 podemos determinar que el costo por unidad de cada fachaleta es de \$ 1.70 dólares americanos y el metro cuadrado que consta de 20 fachaletas es de \$ 34 dólares americanos.

➤ **Costo de fachaletas comerciales**

En la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas se puede adquirir una fachaleta en un costo por unidad de \$ 1.45 dólares americanos. El metro cuadrado que es la forma como se comercializa este producto y consta de 20 fachaletas tiene un precio de \$ 29 dólares americanos.

6.2.13. Comparación de costos entre fachaletas con adición de triturado de PET reciclado y fachaletas comerciales

La comparación de los costos totales para la fabricación de las fachaletas con adición de triturado de PET reciclado vs fachaletas comerciales se presenta en la Tabla 6.11.

Tabla 6.11. Costo por fachaleta fabricada vs comercial

COSTO POR FACHALETA FABRICADA		
TIPO DE FACHALETA	TIPO DE COMBINACIÓN	COSTO POR FACHALETA FABRICADA (\$)
Fachaleta de concreto más la adición de triturado de Tereftalato de Polietileno reciclado	20 % de Tereftalato de Polietileno con una dimensión de 14 mm y agregado de 11 mm.	1,70
Fachaleta Comercial		1,45

Fuente: Autor

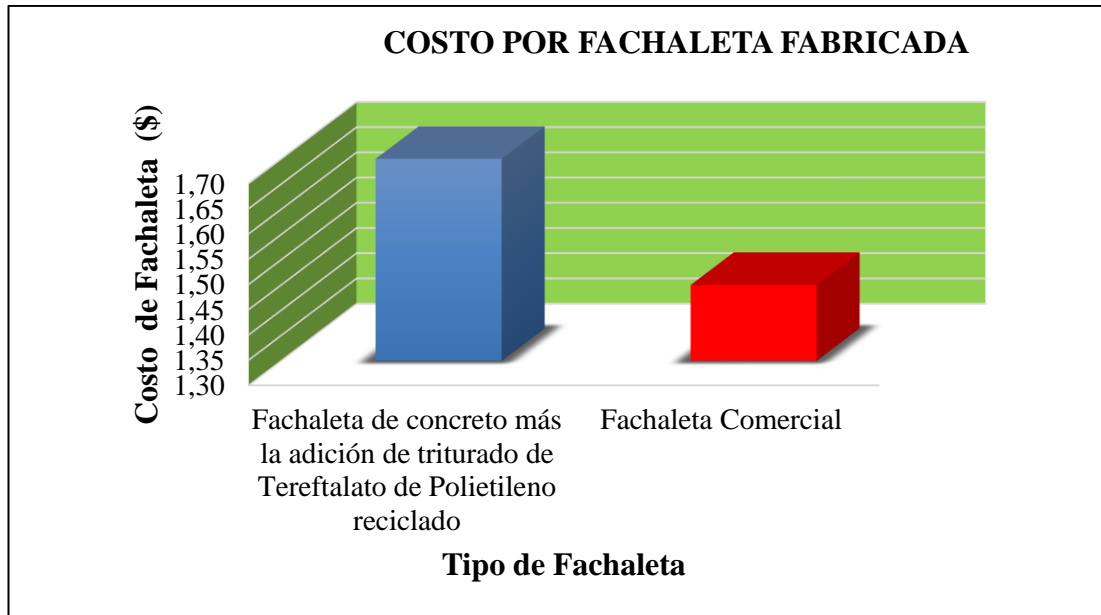


Figura 6.31. Costo de fachaletas con adición de triturado de PET reciclado vs fachaleta comercial

Fuente: Autor

Relativamente el costo de una fachaleta fabricada con la adición de triturado de PET es mayor al de una fachaleta comercial debido al procesamiento y trituración del plástico, siendo de \$0.25 centavos de dólar que representa un 14.70 % de incremento; sin embargo, las fachaletas con adición de triturado de PET tienen mejores propiedades de resistencia a esfuerzos de compresión (52.62% más) y flexión (56% más), además de menor peso (10.85%), junto con un mejor acabado superficial que las fachaletas comerciales.

En esta investigación se reutiliza al PET que se encuentra en las botellas plásticas no retornable en cualquier parte del mundo para mezclar con el concreto y obtener fachaletas y de esta manera conservar el ambiente.

6.3. Metodología

Se realiza un procedimiento para la elaboración de fachaletas las cuales están fabricadas de un material compuesto que está conformado de concreto más la adición de triturado de tereftalato de polietileno reciclado de las botellas plásticas, este procedimiento se realiza en función a la estructura que recomienda el Instituto de Seguridad e Higiene del Trabajo INSHT.



Procedimiento para la fabricación de fachaletas mezclando concreto con triturado de tereftalato de polietileno reciclado

1. OBJETIVO: Determinar los diferentes pasos a seguir para la fabricación de fachaletas mezclando concreto con triturado de tereftalato de polietileno reciclado.

2. ALCANCE: Este procedimiento esta realizado para la fabricación de fachaletas a utilizarse en las fachadas exteriores de casas.

3. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA: Para la realización de este procedimiento se hizo en función al marco teórico investigado en el capítulo II en el cual se sustenta la investigación.

4. GENERALIZACIÓN: La utilización de botellas plásticas en el mundo es un parámetro que no disminuye por motivo de su gran ayuda para el almacenamiento de líquidos en su interior. La inadecuada forma de reciclar estas botellas plásticas hace que las mismas sean arrojadas en cualquier lugar del planeta, lo cual ocasiona una gran contaminación del medio ambiente.

Debido a este gran problema en el medio ambiente se realiza está investigación para dar una utilización al tereftalato de polietileno de manera triturado. Mezclar dos materiales como es el concreto y el tereftalato de polietileno nos permite obtener un material compuesto para realizar la fabricación de fachaletas. Las fachaletas que se obtienen en esta investigación se utilizan para la colocación en las paredes de las casas que presentan algún tipo de humedad o también para visualizar un mejor diseño de la misma.

5.REALIZACIÓN: Para la fabricación de las fachaletas se procederá a la caracterización de los diferentes materiales, determinar el mejor diseño de las fachaletas, la realización del molde para obtener el material compuesto, obtener la mejor dosificación del material compuesto para la obtención de la fachaleta y finalmente realizar los ensayos de flexión a 4 puntos y compresión.

5.1 Las actividades realizadas para la fabricación de fachaletas se han determinado de la siguiente manera como se presenta a continuación:

- ✓ Preparación de materiales
- ✓ Preparación del molde
- ✓ Aplicación de material compuesto en molde de la fachaleta
- ✓ Desmolde
- ✓ Evaluación y almacenamiento



Procedimiento para la fabricación de fachaletas mezclando concreto con triturado de tereftalato de polietileno reciclado.

5.2 Reglas de Seguridad

Para la realización de las fachaletas se debe tener en consideración de las siguientes reglas de seguridad con la finalidad de evitar un accidente o algún evento no esperado:

1. Utilizar mascarilla al momento de tamizar los agregados finos y gruesos.
2. Al momento de realizar el tamizado de los agregados finos y gruesos es necesario disponer de una persona adicional para poder utilizar de mejor manera la zaranda, por motivo que se manipulan cargas mayores a 25 kilogramos
3. Al realizar el triturado del tereftalato de polietileno se debe asegurar que se encuentren bien aseguradas las guardas de la trituradora con la finalidad de evitar atrapamientos de las manos al instante que se colocan las botellas plásticas en el interior de la tolva de la trituradora. Es necesario la utilización de gafas, guantes y mascarillas al momento de la trituración del tereftalato de polietileno.
4. La manipulación de los químicos para la realización del molde para las fachaletas, es necesario verificar el HMIS del mismo y de esta manera determinar el equipo de protección personal necesario.
5. Al colocar el material compuesto en el molde de la fachaleta se debe utilizar guantes y mascarillas por motivo que se manipula cemento y es volátil.
6. Es necesario disponer de la identificación de todos los químicos que se utilizan en el proceso de la fabricación de las fachaletas con la finalidad que no exista una mala manipulación.

5.3 Aplicación de material compuesto en molde de la Fachaleta

Realizada la respectiva dosificación del hormigón con los respectivos porcentajes de sustitución del tereftalato de polietileno triturado se realiza la mezcla en un solo recipiente, para lo cual se procede a pesar cada uno de los materiales como se presenta a continuación:



Procedimiento para la fabricación de fachaletas mezclando concreto con triturado de tereftalato de polietileno reciclado

5.3.2 Arena: En la siguiente figura se realizó el peso de 2247 gramos de arena tamizada en 3mm para realizar la mezcla.



Figura 6.32. Peso de 2247 gramos de arena de cantera Copeto C. LTDA
Fuente: Autor

5.3.3 Agregado: En la siguiente figura se realizó el peso de 1723 gramos de agregado para realizar la respectiva mezcla. Puede ser de 3mm, 8mm y 11mm



Figura 6.33. Peso de 1723 gramos de agregado de 3mm de la cantera San Joaquín
Fuente: Autor

5.3.4 Triturado de tereftalato de polietileno reciclado: En la siguiente figura se realizó el peso de 106 gramos para realizar la respectiva mezcla. El PET puede ser de 6mm, 8mm y 14mm.



Figura 6.34. Peso de 106 gramos de triturado de PET reciclado de 14 mm
Fuente: Autor



Procedimiento para la fabricación de fachaletas mezclando concreto con triturado de tereftalato de polietileno reciclado

5.3.5 Agua: En la siguiente figura se realizó la medición de 949ml de agua para realizar la respectiva muestra. Para cada 1 de las diferentes 45 combinaciones se utilizó una medida diferente de volumen de agua.



Figura 6.35. Volumen de 949 ml de agua

Fuente: Autor

5.3.6 Mezcla: Una vez medido todos los materiales se procede a colocar en un recipiente limpio en cual se realiza una mezcla y posteriormente la adición del agua para obtener el material compuesto. La mezcla del material compuesto se debe realizar de manera homogénea con la finalidad que el cemento cubra todas las superficies de todos los materiales. El agua debe agregarse de manera mínima con la finalidad que los áridos finos y gruesos absorban el agua y obtengamos de esta manera una mejor mezcla. La dosificación del hormigón esta realiza en función al peso de las 45 combinaciones y además de cada combinación se obtendrá 2 fachaletas para realizar los ensayos de flexión a 4 puntos y el de compresión.



Figura 6.36. Mezcla de materiales para la obtención del material compuesto

Fuente: Autor

5.3.7 Emulsión de Silicona (E-11): Una vez lista la mezcla del material compuesto es necesario tener un agente de desmoldeo entre el molde de la fachaleta y el producto final, para lo cual se utilizará Emulsión de Silicona (E-11). Esta emulsión de silicona está fabricada a base de un fluido dimetilpolisiloxano con amplia prestación de servicios de anti adherencia, lubricación, desmoldeo e hidrofugación.

Además, se caracteriza por su excelente estabilidad y perfecta dilución. En la Tabla 6.12 podemos observar las características de la Emulsión de Silicona (E-11).

Tabla 6.12. Características de la emulsión de silicona (E-11)

CARACTERÍSTICAS DE LA EMULSIÓN DE SILICONA (E-11)	
Aspecto	Líquido lechoso
Color	Blanco
Materia activa %	35
Ph	7,5
Densidad (gr/cm ³)	1
Emulsionante	No iónico
Diluyente	Agua

Fuente: [32]

La forma de aplicación de la Emulsión de Silicona es aplicar sobre el molde de la fachaleta una capa fina con el pulverizador como se muestra en la siguiente figura. El objetivo de utilizar la Emulsión de Silicona es obtener una fachaleta final sin ningún desprendimiento en su forma exterior y ayudar a realizar el desmolde de la manera más rápida como también alargar la vida útil del molde.



Figura 6.37. Aplicación de la emulsión de silicona (E-11) en el molde de la fachaleta

Fuente: Autor

5.3.8 Fabricación de Fachaleta: Aplicado la Emulsión de Silicona (E-11) en el molde se procede a colocar el material compuesto en el molde de la fachaleta y mediante un eje metálico se procede a dejar homogénea la superficie de la fachaleta.



Figura 6.38. Fabricación de la fachaleta

Fuente: Autor

5.4 Desmolde. - Para realizar el desmolde de la fachaleta se debe girar la fachaleta y posteriormente se alza el molde, obteniendo a la fachaleta de la siguiente manera.



Figura 6.39. Obtención de fachaletas
Fuente: Autor

5.5 Evaluación y Almacenamiento. - Se procede a realizar un control de calidad de cada una de las fachaletas, para lo cual se verifica la textura de cada una de las mismas y evidenciando que no exista presencia de fisura en cada esquina de las fachaletas. El almacenamiento se realiza de manera vertical y se puede apilar en un máximo de 6 fachaletas



Figura 6.40. Almacenamiento de fachaletas
Fuente: Autor

<i>Realizado por (Nombre/Firma):</i>	<i>Fecha:</i>	<i>Verificado por (Nombre/Firma):</i>	<i>Fecha:</i>
<i>Revisado por (Nombre/Firma):</i>	<i>Fecha:</i>	<i>Validado por (Nombre/Firma):</i>	<i>Fecha:</i>
			<i>Pág:</i>

BIBLIOGRAFÍA

- [1] I. Stowe, «Greenpeace,» 2017. [En línea]. Available: www.archivos.greenpeace.org/espana/es/Blog/cuanto-plástico-hay-en-elmundo/blog/59905/.
- [2] «Conceptodefinición.de,» 19 Julio 2019. [En línea]. Available: <https://conceptodefinicion.de/concreto/>.
- [3] H. Rodríguez, «Ingemecánica,» 2017. [En línea]. Available: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn114.html..>
- [4] E. Paguay, «“La adición de botellas plásticas PET en la elaboración de bloques alivianados para viviendas unifamiliares y su efecto en la variación de temperatura y acondicionamiento acústico en el cantón ambato, provincia de Tungurahua”,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2019.
- [5] E. Echeverría, «“Ladrillos de concreto con plástico pet reciclado”,» Universidad Nacional de Cajamarca, Perú, 2017.
- [6] A. Mohammed, «Flexural behavior and analysis of reinforced concrete beams made of recycled PET waste concrete,» University of Sulaimani, Iraq, 2017.
- [7] P. Angumba, «“Ladrillos elaborados con plástico reciclado (PET), para mampostería no portante”,» Universidad de Cuenca, Cuenca, 2016.
- [8] B. Caballero, «“Elaboración de Bloques en cemento reutilizando el Plástico Polietileno – Tereftalato (PET) como alternativa sostenible para la construcción”,» Universidad de Cartagena, Cartagena, 2016.



- [9] S. Gutierrez, « “Análisis del concreto con Tereftalato de Polietileno (PET) como aditivo para aligerar elementos estructurales”,» Universidad libre seccional Pereira, Pereira, 2015.
- [10] G. Zavala, «“Diseño y desarrollo experimental de materiales de construcción utilizando plástico reciclado”,» Escuela especializada en ingeniería itca –fepade, Santa Tecla, 2015.
- [11] F. Fraternali, S. Spadea y V. Berardi, « “Effects of recycled PET fibres on the mechanical propertis and seawater curing of Portland cement-based concretes”,» University of Salerno, Italia, 2014.
- [12] B. Hernández, «“Estudio comparativo de la resistencia a la compresión en mezclas de concretos elaborados con materiales de reciclaje: Plástico y llantas”,» Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2011.
- [13] L. Pereira y J. Castro, «Physical and mechanical behaviou of recycled pet fibre reinforced mortar. C-MADE,» Centro of Materials and Building Technologies of University of Beira Interior, Calcada Fonte do Lameiro, 2010.
- [14] D. Silva, M. Betioli, P. Gleize, H. Roman, L. Gómez y J. Ribeiro, «Degradation of recycled PET fibers in Portland cement-based materials.,» Universidad de Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
- [15] W. Smith y J. Hashemi, Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales, Cuarta ed., México: Mc Graw Hill, 2006.
- [16] H. Gutierrez y R. De la Vara Salazar, Análisis y Diseño de Experimentos, Tercera ed., México: Mc Graw Hill, 2012.

- [17] «Clasificados,» 2018. [En línea]. Available: <https://clasificados.elheraldo.co/empleos/noticias/despliegue/76/Otra+forma+de+v+estir+las+paredes+de+su+hogar..>
- [18] A. Pytel y F. Singer, Resistencia de materiales, Madrid: Mc Graw Hill, 1994.
- [19] D. Askeland, P. Fulay y W. W., Ciencia e Ingeniería de materiales, Sexta ed., México: CENGAGE Learning, 2011.
- [20] «Construmática,» 1995. [En línea]. Available: www.construmatica.com/construpedia/Resistencia_Mec%C3%A1nica. [Último acceso: 2019].
- [21] «Shimadzu,» Japón, 2002. [En línea]. Available: <https://www.shimadzu.com/an/test/universal/concreto.html>.
- [22] Repositorio de objetos de aprendizaje de la Universidad de Sevilla, «RODAS,» Universidad de Sevilla, [En línea]. Available: https://rodas5.us.es/file/202507ce-80cd-de00-adeb3cfc45af189d/2/practica_5_scorm.zip/pagina_01.htm.
- [23] «Pruebas de resistencia a la compresión del concreto,» Imcyc, México, 2006.
- [24] M. Villa y J. Colcha, «“Diseño e implementación de un sistema electrónico informático para aplicaciones en ensayos en la máquina universal. J Colcha. M Villa”,» Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba, 2014.
- [25] G. Ruiz, «LA CLASIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS,» *Tendencias*, 2018.
- [26] «Tecnología de los plásticos,» 2011. [En línea]. Available: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/05/pet.html>.

- [27] E. Arequipa, W. Coba, D. Garzón y L. Vargas, «Elaborado con los agregados de la mina san joaquín provincia de cotopaxi y el cemento selva alegre,» Universidad Central del Ecuador, Quito, 2012.
- [28] M. Garzón, «“Seminario de graduación, investigación sobre el módulo de elasticidad del hormigón”,» Universidad Central del Ecuador, Quito, 2010.
- [29] J. Sotomayor, «Comportamiento en flexión estática de vigas de madera antigua de Picea abies Static bending behavior of old Picea abies wood beams,» *Nova Scientia*, vol. 7, n° 13, p. 208, 2014.
- [30] Spare Parts Express, «Parts y accesorios catalog,» AEC/NELMOR, South Attleboro, 2001.
- [31] La casa del molde, «Elastomero de silicona,» Diciembre, 2014. [En línea]. Available: <http://rubept.com/wp-content/uploads/2014/12/ELASTOMERO - SILICONA.pdf>.
- [32] La casa del molde, «Emulsión de Silicona (E-11),» Diciembre 2014. [En línea]. Available: <http://rubept.com/wp-content/uploads/2014/12/EMULSION-SILICONA-E-11.pdf>.
- [33] M. Comrado y A. Rojas, Diseño de hormigones con fibras de polipropileno para resistencias a la compresión de 21 y 28 MPa con agregados de la cantera de Guallabamba, 3ra ed., Quito : Universidad Central del Ecuador, 2012.

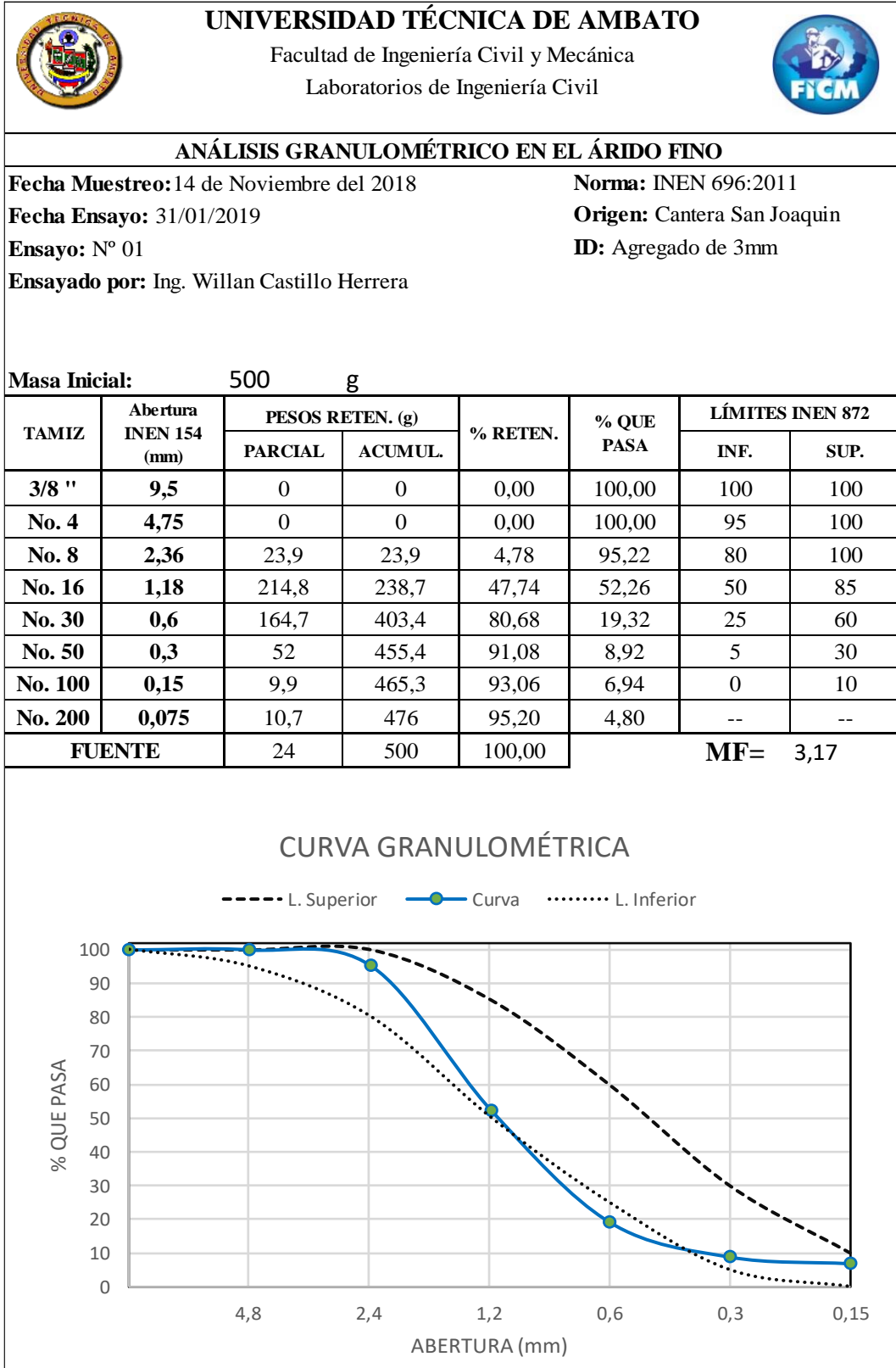
ANEXOS

Anexo 1. Densidad cemento hidráulico

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Laboratorios de Ingeniería Civil 				
CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD				
Marca: Holcim		Norma: INEN 156:2009		
Tipo: Hidráulico GU		Fecha Ensayo: 30/01/2019		
Ensayado por: Ing. Willan Castillo				
FÓRMULA	DENOMINACIÓN	ENSAYOS		U
		II	III	
m1	Masa del picnómetro vacío	153,30	151,90	g
m2	Masa del picnómetro + cemento	251,80	274,60	g
m3	Masa picnómetro + cemento + gasolina	594,80	611,20	g
m4=m3-m2	Masa gasolina añadida	343,00	336,60	g
m5	Masa del picnómetro + 500cc de gasolina	521,30	519,70	g
m6=m5-m1	Masa 500cc gasolina	368,00	367,80	g
dg=m6/500	Densidad de la gasolina	0,7360	0,7356	g/cm ³
m7=m6-m4	Masa desalojada de gasolina por el cemento	25,00	31,20	g
mc=m2-m1	Masa cemento	98,50	122,70	g
Vc=m7/dg	Volumen gasolina desalojada	33,97	42,41	cm ³
dc=mc/Vc	Densidad del cemento	2,900	2,893	g/cm ³
DENSIDAD PROMEDIO		2,896		g/cm ³
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	Precisión un operador (INEN 156)		Rev.
RANGO	0,007	<0.03		OK!
DESVIACIÓN ESTANDAR	0,005	<0.012		OK!
COEF. DESVIACIÓN	0,17%	<1%		OK!
DENSIDAD PROMEDIO	2,896 g/cm³			

Anexo 2. Granulometrías

Árido de 3mm





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica

Laboratorios de Ingeniería Civil



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN EL ÁRIDO FINO

Fecha Muestreo: 14 de Noviembre del 2018

Norma: INEN 696:2011

Fecha Ensayo: 31/01/2019

Origen: Cantera San Joaquin

Ensayo: N° 02

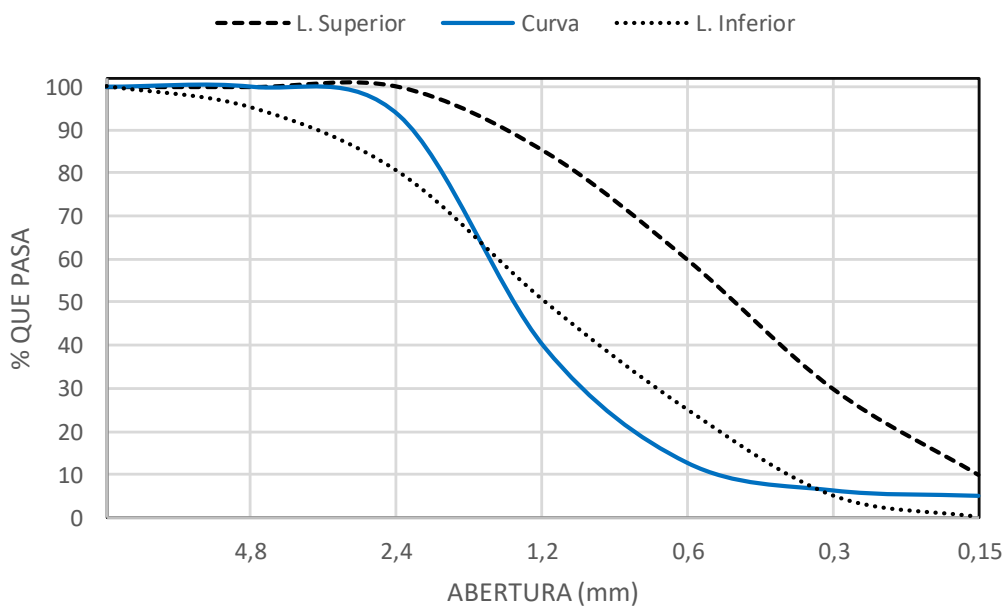
ID: Agregado de 3mm

Ensayado por: Ing. Willan Castillo Herrera

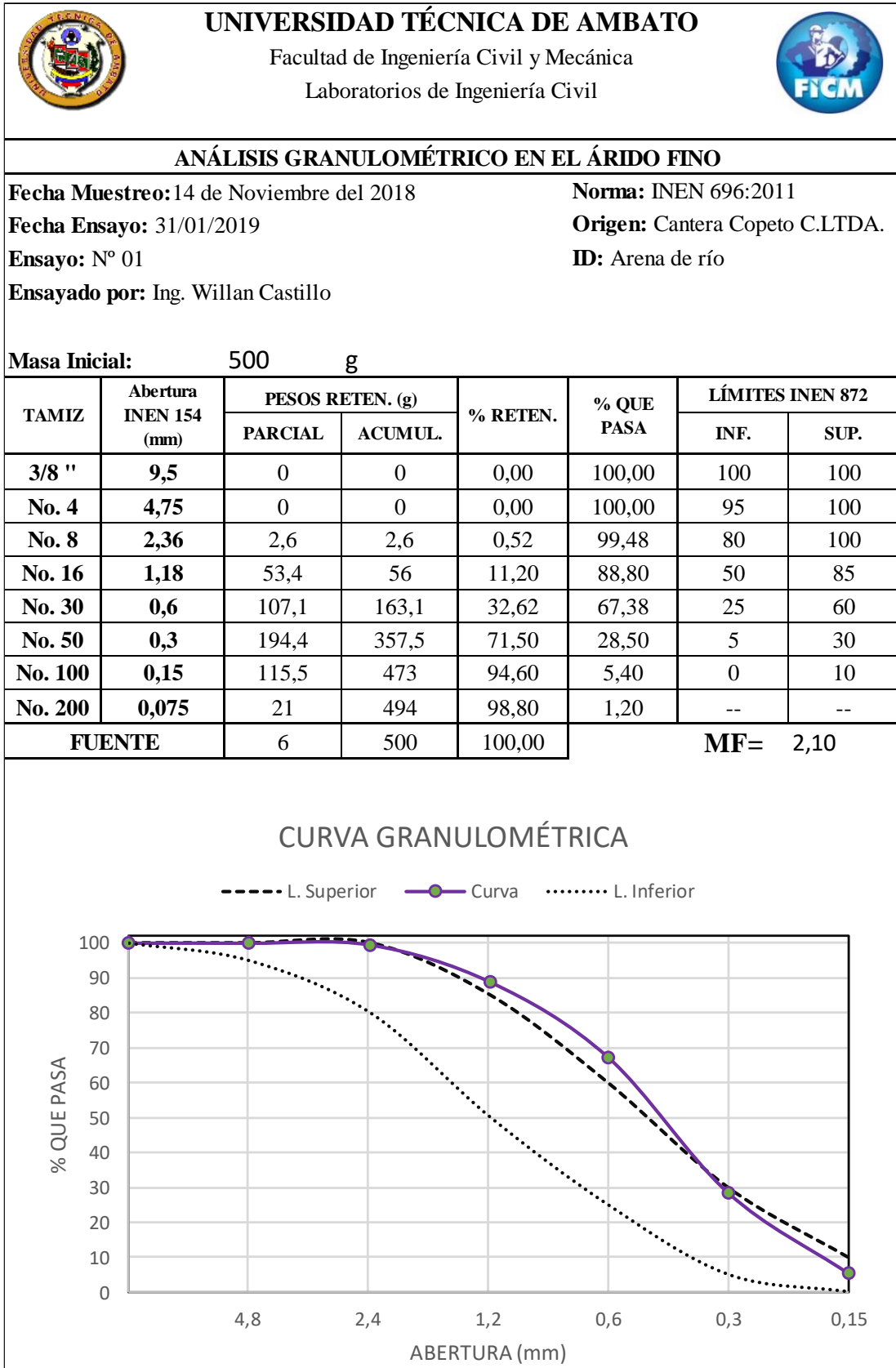
Masa Inicial: 500 g

TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	PESOS RETEN. (g)		% RETEN.	% QUE PASA	LÍMITES INEN 872	
		PARCIAL	ACUMUL.			INF.	SUP.
3/8 "	9,5	0	0	0,00	100,00	100	100
No. 4	4,75	0	0	0,00	100,00	95	100
No. 8	2,36	33,4	33,4	6,68	93,32	80	100
No. 16	1,18	268,9	302,3	60,46	39,54	50	85
No. 30	0,6	133,3	435,6	87,12	12,88	25	60
No. 50	0,3	32,1	467,7	93,54	6,46	5	30
No. 100	0,15	6,3	474	94,80	5,20	0	10
No. 200	0,075	8,8	482,8	96,56	3,44	--	--
FUENTE		17,2	500	100,00	MF= 3,43		

CURVA GRANULOMÉTRICA



Arena de río





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica

Laboratorios de Ingeniería Civil



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN EL ÁRIDO FINO

Fecha Muestreo: 14 de Noviembre del 2018

Norma: INEN 696:2011

Fecha Ensayo: 31/01/2019

Origen: Cantera Copeto C.LTDA.

Ensayo: N° 02

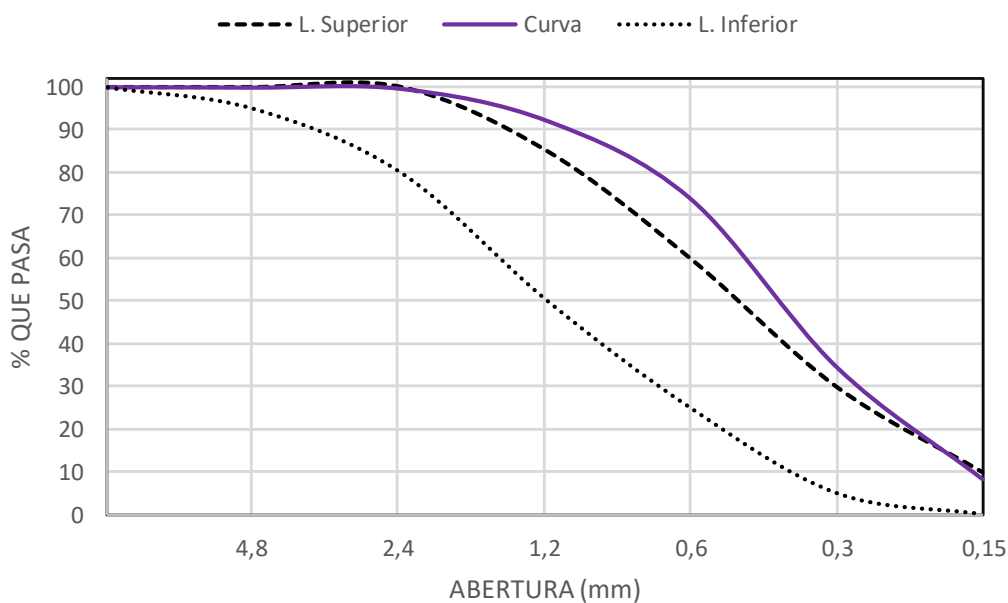
ID: Arena de río

Ensayado por: Ing. Willan Castillo

Masa Inicial: 499,6 g



TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	PESOS RETEN. (g)		% RETEN.	% QUE PASA	LÍMITES INEN 872	
		PARCIAL	ACUMUL.			INF.	SUP.
3/8 "	9,5	0	0	0,00	100,00	100	100
No. 4	4,75	0,4	0,4	0,08	99,92	95	100
No. 8	2,36	1,5	1,9	0,38	99,62	80	100
No. 16	1,18	37,6	39,5	7,90	92,10	50	85
No. 30	0,6	90,6	130,1	26,02	73,98	25	60
No. 50	0,3	197,1	327,2	65,44	34,56	5	30
No. 100	0,15	131,7	458,9	91,78	8,22	0	10
No. 200	0,075	31,2	490,1	98,02	1,98	--	--
FUENTE		9,5	499,6	99,92		MF= 1,92	

CURVA GRANULOMÉTRICA





Anexo 3. Densidad suelta

Agregados de 11mm, 8mm y 3mm

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Laboratorios de Ingeniería Civil 				
DENSIDAD SUELTA DE LOS AGREGADOS				
Fecha Ensayo: 31/01/2019		Norma: INEN 858:2010		
Masa molde en g (T):	10000,00	Volumen molde cm ³ (V):	20190,00	
Ensayado por: Ing. Willan Castillo		Origen: Cantera San Joaquin		
DENSIDAD SUELTA: AGREGADO DE 11mm				
DESCRIPCIÓN	CONDICIÓN		U	SIMB
	SUELTA	COMPACTADA		
Masa del agregado + molde	17430	18179	g	M1
	17364	18125	g	M2
Promedio masa del agregado + molde	17397	18152	g	Mp
Densidad aparente	0,366	0,404	g/cm ³	$Da = \frac{Mp-T}{V}$
DENSIDAD SUELTA: AGREGADO DE 8mm				
DESCRIPCIÓN	CONDICIÓN		U	SIMB
	SUELTA	COMPACTADA		
Masa del agregado + molde	20152	22448	g	M1
	20040	22408	g	M2
Promedio masa del agregado + molde	20096	22428	g	Mp
Densidad aparente	0,500	0,616	g/cm ³	$Da = \frac{Mp-T}{V}$
DENSIDAD SUELTA: AGREGADO DE 3mm				
DESCRIPCIÓN	CONDICIÓN		U	SIMB
	SUELTA	COMPACTADA		
Masa del agregado + molde	30500	31800	g	M1
	30600	31700	g	M2
Promedio masa del agregado + molde	30550	31750	g	Mp
Densidad aparente	1,018	1,077	g/cm ³	$Da = \frac{Mp-T}{V}$

Arena de río

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Laboratorios de Ingeniería Civil 				
DENSIDAD SUELTA DE LOS AGREGADOS				
Fecha Ensayo: 31/01/2019		Norma: INEN 858:2010		
Masa molde en g (T):	10000,00	Volumen molde cm ³ (V):	20190,00	
Ensayado por: Ing. Willan Castillo		Origen: Cantera Copeto C.LTDA.		
DENSIDAD SUELTA: ARENA DE RÍO				
DESCRIPCIÓN	CONDICIÓN		U	SIMB
	SUELTA	COMPACTADA		
Masa del agregado + molde	42300	44200	g	M1
	42500	44100	g	M2
Promedio masa del agregado + molde	42400	44150	g	Mp
Densidad aparente	1,605	1,691	g/cm ³	$Da = \frac{Mp-T}{V}$

PET de 14mm, 8mm y 6mm



DENSIDAD SUELTA: PET DE 14mm				
DESCRIPCIÓN	CONDICIÓN		U	SIMB
	SUELTA	COMPACTADA		
Masa del PET + molde	15121	15630	g	M1
	15081	15585	g	M2
Promedio masa del PET + molde	15101	15608	g	Mp
Densidad aparente PET	0,253	0,278	g/cm ³	$Da = \frac{Mp-T}{V}$

DENSIDAD SUELTA: PET DE 8mm				
DESCRIPCIÓN	CONDICIÓN		U	SIMB
	SUELTA	COMPACTADA		
Masa del PET + molde	16932	18084	g	M1
	16891	17978	g	M2
Promedio masa del PET + molde	16912	18031	g	Mp
Densidad aparente PET	0,342	0,398	g/cm ³	$Da = \frac{Mp-T}{V}$



DENSIDAD SUELTA: PET DE 6mm				
DESCRIPCIÓN	CONDICIÓN		U	SIMB
	SUELTA	COMPACTADA		
Masa del PET + molde	16171	17118	g	M1
	16205	17000	g	M2
Promedio masa del PET + molde	16188	17059	g	Mp
Densidad aparente PET	0,306	0,350	g/cm ³	$Da = \frac{Mp-T}{V}$

Anexo 4. Capacidad de absorción y contenido de humedad

Áridos de 11mm y 8mm

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Laboratorios de Ingeniería Civil 				
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN Y HUMEDAD DEL ÁRIDO GRUESO				
Fecha Ensayo: 01/02/2019		Norma: INEN 857 y 862		
Ensayado por: Ing. Willan Castillo		Origen: Cantera San Joaquin		
ID: Agregado de 11mm				
DESCRIPCIÓN	ENSAYOS			
	I		II	
Identificación recipiente	#14	#15	#17	#24
Masa recipiente (g)	26,70	25,50	24,70	24,20
Masa recipiente + agreg. SSS (g)	75,40	76,40	77,80	73,40
Masa recipiente + agreg seco (g)	56,70	57,10	57,00	54,20
Masa agreg. SSS (g)	48,70	50,90	53,10	49,20
Masa agreg. Seco (g)	30,00	31,60	32,30	30,00
Capacidad de absorción %	62,33	61,08	64,40	64,00
Absorción promedio parcial %	61,70		64,20	
Absorción promedio final %	62,95			
ID: Agregado de 8mm				
DESCRIPCIÓN	ENSAYOS			
	I		II	
Identificación recipiente	#66	#63	#52	#87
Masa recipiente (g)	30,70	31,00	30,30	30,70
Masa recipiente + agreg. SSS (g)	95,70	102,10	91,10	88,00
Masa recipiente + agreg seco (g)	77,10	81,80	73,10	71,10
Masa agreg. SSS (g)	65,00	71,10	60,80	57,30
Masa agreg. Seco (g)	46,40	50,80	42,80	40,40
Capacidad de absorción %	40,09	39,96	42,06	41,83
Absorción promedio parcial %	40,02		41,94	
Absorción promedio final %	40,98			
CONTENIDO DE HUMEDAD INEN 862				
DESCRIPCIÓN	Agregado grueso			
	11mm		8mm	
Identificación recipiente	#53	#60	#80	#85
Masa recipiente (g)	30,90	31,00	30,90	30,70
Masa recipiente + agreg. (g)	91,20	94,00	104,20	105,40
Masa recipiente + agreg seco (g)	87,50	89,90	100,40	101,30
Masa agregado (g)	60,30	63,00	73,30	74,70
Masa agreg. Seco (g)	56,60	58,90	69,50	70,60
Cont. humedad %	6,54	6,96	5,47	5,81
Cont. humedad promedio %	6,75		5,64	

Árido de 3mm y arena de río

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Laboratorios de Ingeniería Civil 				
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN Y HUMEDAD DEL ÁRIDO FINO				
Fecha Ensayo: 01/02/2019		Norma: INEN 856 y 862		
Ensayado por: Ing. Willan Castillo		Origen: Cantera San Joaquin Copeto C. LTDA		
ID: Agregado de 3mm				
DESCRIPCIÓN	ENSAYOS			
	I		II	
Identificación recipiente	#53	#60	#80	#85
Masa recipiente (g)	30,90	31,00	30,90	30,70
Masa recipiente + agreg. SSS (g)	98,90	104,00	106,60	98,40
Masa recipiente + agreg seco (g)	97,50	102,50	105,00	97,00
Masa agreg . SSS (g)	68,00	73,00	75,70	67,70
Masa agreg. Seco (g)	66,60	71,50	74,10	66,30
Capacidad de absorción %	2,10	2,10	2,16	2,11
Absorción promedio parcial %	2,10		2,14	
Absorción promedio final %	2,12			
ID: Arena de río				
DESCRIPCIÓN	ENSAYOS			
	I		II	
Identificación recipiente	#32	#35	#43	#45
Masa recipiente (g)	26,40	24,70	24,50	23,40
Masa recipiente + agreg. SSS (g)	154,70	125,90	155,90	173,80
Masa recipiente + agreg seco (g)	152,60	124,30	153,70	171,40
Masa agreg . SSS (g)	128,30	101,20	131,40	150,40
Masa agreg. Seco (g)	126,20	99,60	129,20	148,00
Capacidad de absorción %	1,66	1,61	1,70	1,62
Absorción promedio parcial %	1,64		1,66	
Absorción promedio final %	1,65			
CONTENIDO DE HUMEDAD INEN 862				
DESCRIPCIÓN	Agregado fino			
	3mm		Arena de río	
Identificación recipiente	#72	#89	#69	#70
Masa recipiente (g)	30,80	31,30	30,60	57,60
Masa recipiente + agreg. (g)	115,20	117,10	153,10	140,00
Masa recipiente + agreg seco (g)	112,60	114,40	146,10	135,20
Masa agregregado (g)	84,40	85,80	122,50	82,40
Masa agreg. Seco (g)	81,80	83,10	115,50	77,60
Cont. humedad %	3,18	3,25	6,06	6,19
Cont. humedad promedio %	3,21		6,12	

Anexo 5. Densidad real


Árido de 11mm

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Laboratorios de Ingeniería Civil				
DENSIDAD REAL ÁRIDO GRUESO				
Fecha Ensayo: 31/01/2019			Norma: INEN 857	
Ensayado por: Ing. Willan Castillo			Origen: Cantera San Joaquin	
ID: Agregado de 11mm				
FORMULA	DESCRIPCIÓN	ENSAYOS		U
		I	II	
m1	Masa canastilla en el aire	1181,80	1168,10	g
m2	Masa canastilla + agreg. SSS en aire	1817,70	1776,60	g
Ms=m2-m1	Masa agreg. SSS en aire	635,90	608,50	g
m3	Masa canastilla + agreg. SSS en agua	1103	1075	g
m4	Masa canastilla en agua	1019	999	g
Ma=m3-m4	Masa agreg. en agua	84	76	g
Ta	Temperatura agua	18,00	18,00	°C
Da (x temp)	Densidad del agua	0,9987	0,9987	g/cm ³
Vs=(Ms-Ma)/DA	Volumen del agreg.	552,63	533,20	cm ³
DENSIDAD REAL DEL ÁRIDO		1,151	1,141	g/cm ³
DENSIDAD REAL PROMEDIO		1,146		g/cm ³

Agregado de 8mm

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Laboratorios de Ingeniería Civil				
DENSIDAD REAL ÁRIDO GRUESO				
Fecha Ensayo: 31/01/2019			Norma: INEN 857	
Ensayado por: Ing. Willan Castillo			Origen: Cantera San Joaquin	
ID: Agregado de 8 mm				
FORMULA	DESCRIPCIÓN	ENSAYOS		U
		I	II	
m1	Masa canastilla en el aire	1184,10	1167,50	g
m2	Masa canastilla + agreg. SSS en aire	2007,10	1960,20	g
Ms=m2-m1	Masa agreg. SSS en aire	823,00	792,70	g
m3	Masa canastilla + agreg. SSS en agua	1210	1195	g
m4	Masa canastilla en agua	1010	1006	g
Ma=m3-m4	Masa agreg. en agua	200	189	g
Ta	Temperatura agua	18,00	18,00	°C
Da (x temp)	Densidad del agua	0,9987	0,9987	g/cm ³
Vs=(Ms-Ma)/DA	Volumen del agreg.	623,82	604,50	cm ³
DENSIDAD REAL DEL ÁRIDO		1,319	1,311	g/cm ³
DENSIDAD REAL PROMEDIO		1,315		g/cm ³

Agregado de 3mm

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Laboratorios de Ingeniería Civil 				
DENSIDAD REAL DEL ÁRIDO FINO				
Fecha Ensayo: 31/01/2019		Norma: INEN 856		
Ensayado por: Ing. Willan Castillo		Origen: Cantera San Joaquin		
ID: Agregado de 3 mm				
FÓRMULA	DESCRIPCIÓN	ENSAYOS		U
		I	II	
m1	Masa del picnómetro	153,30	151,90	g
m2	Masa picnómetro + agreg. SSS	350,90	355,30	g
m3	Masa picnómetro + agreg. SSS + agua	756,60	757,80	g
m4=m3-m2	Masa agua añadida	405,70	402,50	g
m5	Masa picnómetro + 500cc agua	651,60	650,10	g
m6=m5-m1	Masa 500cc agua	498,30	498,20	g
Da=m6/500cc	Densidad del agua	0,99660	0,99640	g/cm ³
m7=m6-m4	Agua desalojada por muestra	92,60	95,70	g
Msss=m2-m1	Masa del agregado	197,60	203,40	g
Vsss=m7/Da	Volumen agua desalojada	92,92	96,05	cm ³
DRA=Msss/Vsss	DENSIDAD REAL DEL ÁRIDO	2,127	2,118	g/cm ³
DENSIDAD REAL PROMEDIO		DRAp	2,122	g/cm ³

Arena de Río

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Laboratorios de Ingeniería Civil 				
DENSIDAD REAL DEL ÁRIDO FINO				
Fecha Ensayo: 31/01/2019		Norma: INEN 856		
Ensayado por: Ing. Willan Castillo		Origen: Copeto C. LTDA		
ID: Arena de río				
FÓRMULA	DESCRIPCIÓN	ENSAYOS		U
		I	II	
m1	Masa del picnómetro	153,30	151,90	g
m2	Masa picnómetro + agreg. SSS	426,90	426,10	g
m3	Masa picnómetro + agreg. SSS + agua	824,20	823,00	g
m4=m3-m2	Masa agua añadida	397,30	396,90	g
m5	Masa picnómetro + 500cc agua	651,60	650,20	g
m6=m5-m1	Masa 500cc agua	498,30	498,30	g
Da=m6/500cc	Densidad del agua	0,99660	0,99660	g/cm ³
m7=m6-m4	Agua desalojada por muestra	101,00	101,40	g
Msss=m2-m1	Masa del agregado	273,60	274,20	g
Vsss=m7/Da	Volumen agua desalojada	101,34	101,75	cm ³
DRA=Msss/Vsss	DENSIDAD REAL DEL ÁRIDO	2,700	2,695	g/cm ³
DENSIDAD REAL PROMEDIO		DRAp	2,697	g/cm ³

PET de 6mm

La densidad será la misma para los tamaños de 8mm y 14mm al ser de la misma naturaleza, además se toma la consideración la no absorción de este material.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Laboratorios de Ingeniería Civil 				
DENSIDAD REAL DEL TEREFALATO DE POLIETILENO				
Fecha Ensayo: 01/02/2019			Norma: INEN 856	
Ensayado por: Ing. Willan Castillo			Origen: Material Reciclado	
ID: PET de 6mm				
FÓRMULA	DESCRIPCIÓN	ENSAYOS		U
		I	II	
m1	Masa del picnómetro	154,70	153,30	g
m2	Masa picnómetro + agreg. SSS	204,50	210,70	g
m3	Masa picnómetro + agreg. SSS + agua	665,80	666,30	g
m4=m3-m2	Masa agua añadida	461,30	455,60	g
m5	Masa picnómetro + 500cc agua	653,00	651,60	g
m6=m5-m1	Masa 500cc agua	498,30	498,30	g
Da=m6/500cc	Densidad del agua	0,99660	0,99660	g/cm ³
m7=m6-m4	Agua desalojada por muestra	37,00	42,70	g
Msss=m2-m1	Masa del agregado	49,80	57,40	g
Vsss=m7/Da	Volumen agua desalojada	37,13	42,85	cm ³
DRA=Msss/Vsss	DENSIDAD REAL DEL ÁRIDO	1,341	1,340	g/cm ³
DENSIDAD REAL PROMEDIO		DRAp		1,341
				g/cm ³

Anexo 6. Densidad aparente para mezcla de agregado

Combinación agregados de 8mm + 3mm

MEZCLA ÁRIDO(%)		MASA ÁRIDO (g)		ÁRIDO FINO A AÑADIR (g)	Masa mezcla + molde (g)	Masa mezcla (g)	Promedio de la mezcla (g)	Densidad Aparente (g/cm³)
GRUESO	FINO	GRUESO	FINO					
100	0	8000	0	0	5610 5585	5151 5126	5139	0,426
90	10	8000	888,89	888,89	6260 6214	5801 5755	5778	0,479
80	20	8000	2000,00	1111,11	7020 6950	6561 6491	6526	0,541
70	30	8000	3428,57	1428,57	8224 8327	7765 7868	7817	0,648
60	40	8000	5333,33	1904,76	9146 9026	8687 8567	8627	0,716
50	50	8000	8000,00	2666,67	11746 11665	11287 11206	11247	0,933
40	60	8000	12000,00	4000,00	13208 13385	12749 12926	12838	1,065
30	70	8000	18666,67	6666,67	15027 14877	14568 14418	14493	1,202
20	80	8000	32000,00	13333,33	16403 16575	15944 16116	16030	1,330

Curva densidad aparente óptima vs % de mezcla

% Fino	Densidad (g/cm³)
0	0,426
10	0,479
20	0,541
30	0,648
40	0,716
50	0,933
60	1,065
70	1,202
80	1,330

RESULTADOS	DENSIDAD APARENTE MÁXIMA	0,930	g/cm³
	DENSIDAD ÓPTIMA	0,845	g/cm³
	PORCENTAJE ÓPTIMO ÁRIDO FINO	46	%
	PORCENTAJE ÓPTIMO ÁRIDO GRUESO	54	%

Combinación agregada de 8mm + arena de río

MEZCLA ÁRIDO(%)		MASA ÁRIDO (g)		ÁRIDO FINO A AÑADIR (g)	Masa mezcla + molde (g)	Masa mezcla (g)	Promedio de la mezcla (g)	Densidad Aparente (g/cm³)
GRUESO	FINO	GRUESO	FINO					
100	0	8000	0	0	7073	6614	6571	0,545
					6986	6527		
90	10	8000	888,89	888,89	7678	7219	7175	0,595
					7590	7131		
80	20	8000	2000,00	1111,11	7599	7140	7190	0,597
					7699	7240		
70	30	8000	3428,57	1428,57	8496	8037	8026	0,666
					8473	8014		
60	40	8000	5333,33	1904,76	9941	9482	9425	0,782
					9827	9368		
50	50	8000	8000,00	2666,67	11237	10778	10772	0,894
					11225	10766		
40	60	8000	12000,00	4000,00	12457	11998	12032	0,998
					12525	12066		
30	70	8000	18666,67	6666,67	13062	12603	12634	1,048
					13124	12665		
20	80	8000	32000,00	13333,33	15422	14963	14917	1,238
					15330	14871		

Curva densidad aparente óptima vs % de mezcla

RESULTADOS	DENSIDAD APARENTE MÁXIMA	1,000	g/cm³
	DENSIDAD ÓPTIMA	0,960	g/cm³
	PORCENTAJE ÓPTIMO ÁRIDO FINO	56	%
	PORCENTAJE ÓPTIMO ÁRIDO GRUESO	44	%



Combinación agregados de 3mm + arena de río

MEZCLA ÁRIDO(%)		MASA ÁRIDO (g)		ÁRIDO FINO A AÑADIR (g)	Masa mezcla + molde (g)	Masa mezcla (g)	Promedio de la mezcla (g)	Densidad Aparente (g/cm³)
GRUESO	FINO	GRUESO	FINO					
100	0	5000	0	0	11245	3616	3620	1,157
					11252	3623		
90	10	5000	555,56	555,56	11501	3872	3872	1,238
					11500	3871		
80	20	5000	1250,00	694,44	11704	4075	4069	1,301
					11691	4062		
70	30	5000	2142,86	892,86	11885	4256	4245	1,357
					11863	4234		
60	40	5000	3333,33	1190,48	12186	4557	4542	1,452
					12155	4526		
50	50	5000	5000,00	1666,67	12308	4679	4673	1,494
					12295	4666		
40	60	5000	7500,00	2500,00	12584	4955	4953	1,583
					12580	4951		
30	70	5000	11666,67	4166,67	12710	5081	5076	1,623
					12700	5071		



Curva densidad aparente óptima vs % de mezcla

RESULTADOS	DENSIDAD APARENTE MÁXIMA	1,470	g/cm³
	DENSIDAD ÓPTIMA	1,460	g/cm³
	PORCENTAJE ÓPTIMO ÁRIDO FINO	41	%
	PORCENTAJE ÓPTIMO ÁRIDO GRUESO	59	%



Anexo 7. Dosificaciones base de agregado de 11mm + arena de río

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Laboratorios de Ingeniería Civil								
DOSIFICACIÓN BASE PARA B11_Ar									
Método: Densidad Óptima		Fecha: 11/03/2019							
1. CONDICIONES DE DISEÑO									
f'c:	34 kg/cm ² (28 Días)	Identificación: B11_Ar							
Asent:	6-9 cm	Árido Grueso: 11mm							
Cant:	1 m ³	Árido Fino: Arena							
Cemento:	Hidráulico GU	Condición: Dosificación de prueba							
Realizado por:	Ing. Willan Castillo								
2. DATOS REQUERIDOS PARA LA DOSIFICACIÓN									
DATOS ENSAYOS PREVIOS									
Densidad real del cemento	DRC	2,896 g/cm ³	Porcentaje óptimo de AG	POG	54	%			
Densidad real árido fino	DRF	2,697 g/cm ³	Densidad óptima mezcla	DOM	0,845	g/cm ³			
Densidad real árido grueso	DRG	1,146 g/cm ³	Capacidad de absorción AF	CAF	1,65	%			
Densidad aparente suelta AF	DASF	1,605 g/cm ³	Capacidad de absorción AG	CAG	62,95	%			
Densidad aparente suelta AG	DASG	0,366 g/cm ³	Contenido de humedad AF	CHF	6,12	%			
Porcentaje óptimo de AF	POF	46	Contenido de humedad AG	CHG	6,75	%			
DATOS TABLAS									
Relación W/C		0,74	CP% POV + 2% + 11% (POV)						
3. CÁLCULOS									
Densidad real de la mezcla	DRM	1,86 g/cm ³	Cantidad de agua	W	187,72	lt			
Porcentaje óptimo de vacíos	POV	23,00 %	Cantidad de árido fino	AF	899,19	kg			
Cantidad de pasta	CP	275,30 dm ³	Cantidad de árido grueso	AG	448,45	kg			
Cantidad de cemento	C	253,67 kg	Densidad del hormigón	DH	1789,03	kg/m ³			
4. RESULTADOS									
Dosificación para B11_Ar con una resistencia media de 34 kg/cm² (28 Días) con corrección por humedad									
Sin corrección				Con corrección x humedad					
Material	Cant. Kg @m³ Hormigón	Dosific. al peso	Cant @ saco 50kg	Cant. Kg @m³ Hormi correg	Al peso correg.	Cant @ saco 50kg	VASdm³ @50kg	Dosif. X vol. l=b=h=3dm³	
W	187,72	0,74	37,0	247,7	0,98	48,8	---	48,8 lt	
C	253,67	1,00	50,0	253,7	1,00	50,0	---	1,0 saco	
AF	899,19	3,54	177,2	938,8	3,70	185,0	115,30	4,3 caj.	
AG	448,45	1,77	88,4	293,8	1,16	57,9	158,05	5,9 caj.	
Nota: A fin de controlar la relación W/C y la trabajabilidad, utilizar aditivo plastificante en las dosis indicadas									
5. DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN PARA CILINDROS DE 100X200mm									
f'c:	34 kg/cm ² (28 Días)	Membrete: B11_Ar							
Fecha y hora elab:	11/03/19 12:15pm	Cant. : 2 mold.							
Densid. teor. horm:	1789,03 kg/m ³	%Pérdida: 30							
DIMENSIONES MOLDES									
Ø (mm):	100	V (dm³): 1,571							
h (mm) :	200	Vt (dm³): 4,084							
Cantidad de hormigón (kg): 7306,5									
37x + x + 177,234x + 88,392x = 7306,513									
x (g) = 1036,01									
Dosificación para 2 probetas con 30% de desperdicio									
B11_Ar									
Material	Dosif al peso	Orig.	Adicionar	Dosif M.	Correg x hum.				
W	0,74	766,7	288,72 ml	1,02	1055,4 cc				
C	1,00	1036,0	----	1,00	1036,0 g				
AF	3,54	3672,3	123,3 g	3,66	3795,6 g				
AG	1,77	1831,5	-655,7 g	1,13	1175,8 g				
Datos moldes			Peso H.f. + molde (Kg)	Peso Hormig fresco (Kg)	Densidad kg/m³	δp (kg/m³)	Rendimto	Trabajo	Homo
ID	Ø (mm)	Peso (Kg)	Vol. (dm³)						
B11_Ar-9	104,60	2,93	1,7186	5,86	2,926	1702,34	1714,49	1,04	Buena
B11_Ar-3	105,30	4,04	1,7417	7,05	3,007	1726,63			



Anexo 8. Dosificaciones base de agregado de 8mm + arena de río

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Laboratorios de Ingeniería Civil								
DOSIFICACIÓN BASE PARA B8_Ar										
Método: Densidad Óptima				Fecha: 11/03/2019						
1. CONDICIONES DE DISEÑO										
f'c:	34	kg/cm ²	(28 Días)	Identificación:	B8_Ar					
Asent:	6-9	cm		Árido Grueso:	8mm					
Cant:	1	m ³		Árido Fino:	Arena					
Cemento:	Hidráulico GU			Condición:	Dosificación de prueba					
Realizado por: Ing. Willan Castillo										
2. DATOS REQUERIDOS PARA LA DOSIFICACIÓN										
DATOS ENSAYOS PREVIOS										
Densidad real del cemento	DRC	2,896	g/cm ³	Porcentaje óptimo de AG	POG	44	%			
Densidad real árido fino	DRF	2,697	g/cm ³	Densidad óptima mezcla	DOM	0,96	g/cm ³			
Densidad real árido grueso	DRG	1,315	g/cm ³	Capacidad de absorción AF	CAF	1,65	%			
Densidad aparente suelta AF	DASF	1,605	g/cm ³	Capacidad de absorción AG	CAG	40,98	%			
Densidad aparente suelta AG	DASG	0,500	g/cm ³	Contenido de humedad AF	CHF	6,12	%			
Porcentaje óptimo de AF	POF	56	%	Contenido de humedad AG	CHG	5,64	%			
DATOS TABLAS										
Relación W/C		0,7		CP% POV + 2% + 11%(POV)						
3. CÁLCULOS										
Densidad real de la mezcla	DRM	2,09	g/cm ³	Cantidad de agua	W	193,66	lt			
Porcentaje óptimo de vacíos	POV	24,25	%	Cantidad de árido fino	AF	1073,70	kg			
Cantidad de pasta	CP	289,18	dm ³	Cantidad de árido grueso	AG	411,38	kg			
Cantidad de cemento	C	276,65	kg	Densidad del hormigón	DH	1955,39	kg/m ³			
4. RESULTADOS										
Dosificación para B8_Ar con una resistencia media de 34 kg/cm² (28 Días) con corrección por humedad										
Sin corrección				Con corrección x humedad						
Material	Cant. Kg @m ³ Hormigón	Dosific. al peso	Cant @ saco 50kg	Cant. Kg @m ³ Hormi correg	Al peso correg.	Cant @ saco 50kg	VASdm ³ @50kg	Dosif. X vol. l=b=h=3dm ³		
W	193,66	0,70	35,0	221,6	0,80	40,0	---	40,0 lt		
C	276,65	1,00	50,0	276,7	1,00	50,0	---	1,0 saco		
AF	1073,70	3,88	194,1	1121,0	4,05	202,6	126,25	4,7 caj.		
AG	411,38	1,49	74,3	308,2	1,11	55,7	111,41	4,1 caj.		
Nota: A fin de controlar la relación W/C y la trabajabilidad, utilizar aditivo plastificante en las dosis indicadas										
5. DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN PARA CILINDROS DE 100X200mm										
f'c:	34	kg/cm ²	(28 Días)	Membrete: B8_Ar						
Fecha y hora elab:	11/03/19 13:20pm			Cant. : 2 mold.						
Densid. teor. horm:	1955,39 kg/m ³			%Pérdida: 30						
DIMENSIONES MOLDES				Dosificación para 2 probetas con 30% de desperdicio						
Ø (mm):	100	V (dm ³):	1,571	B8_Ar						
h (mm) :	200	Vt (dm ³):	4,084	Material	Dosif al peso	Orig.	Adicionar	Dosif M.	Correg x hum.	
Cantidad de hormigón (kg): 7986				W	0,70	790,9	213,55 ml	0,89	1004,5 cc	
35x + x + 194,052x + 74,349x = 7985,965				C	1,00	1129,9	-----	1,00	1129,9 g	
x (g) = 1129,87				AF	3,88	4385,1	193 g	4,05	4578,1 g	
				AG	1,49	1680,1	-547,1 g	1,00	1133,0 g	
Datos moldes										
ID	Ø (mm)	Peso (Kg)	Vol. (dm ³)	Peso H.f. + molde (Kg)	Peso Hormig fresco (Kg)	Densidad kg/m ³	δp (kg/m ³)	Rendim	Trabaj	Homo
B8_Ar-5	104,90	4,03	1,7285	7,351	3,3224	1922,12	1906,72	1,03	Regular	Buena
B8_Ar-7	105,00	4,02	1,7318	7,295	3,2754	1891,32				



Anexo 9. Dosificaciones base de agregado de 3mm + arena de río

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Laboratorios de Ingeniería Civil								
DOSIFICACIÓN BASE PARA B3_Ar										
Método: Densidad Óptima			Fecha: 11/03/2019							
1. CONDICIONES DE DISEÑO										
f'c:	34	kg/cm ²	(28 Días)	Identificación:	B3_Ar					
Asent:	6-9	cm		Árido Grueso:	3mm					
Cant:	1	m ³		Árido Fino:	Arena					
Cemento:	Hidráulico GU			Condición:	Dosificación de prueba					
Realizado por:	Ing. Willan Castillo									
2. DATOS REQUERIDOS PARA LA DOSIFICACIÓN										
DATOS ENSAYOS PREVIOS										
Densidad real del cemento	DRC	2,896	g/cm ³	Porcentaje óptimo de AG	POG 59 %					
Densidad real árido fino	DRF	2,697	g/cm ³	Densidad óptima mezcla	DOM 1,46 g/cm ³					
Densidad real árido grueso	DRG	2,122	g/cm ³	Capacidad de absorción AF	CAF 1,65 %					
Densidad aparente suelta AF	DASF	1,605	g/cm ³	Capacidad de absorción AG	CAG 2,12 %					
Densidad aparente suelta AG	DASG	1,018	g/cm ³	Contenido de humedad AF	CHF 6,12 %					
Porcentaje óptimo de AF	POF	41	%	Contenido de humedad AG	CHG 3,21 %					
DATOS TABLAS										
Relación W/C		0,69		CP% POV + 2% + 11%(POV)						
3. CÁLCULOS										
Densidad real de la mezcla	DRM	2,36	g/cm ³	Cantidad de agua	W 201,98 lt					
Porcentaje óptimo de vacíos	POV	25,50	%	Cantidad de árido fino	AF 770,76 kg					
Cantidad de pasta	CP	303,05	dm ³	Cantidad de árido grueso	AG 872,65 kg					
Cantidad de cemento	C	292,73	kg	Densidad del hormigón	DH 2138,12 kg/m ³					
4. RESULTADOS										
Dosificación para B3_Ar con una resistencia media de 34 kg/cm² (28 Días) con corrección por humedad										
Sin corrección			Con corrección x humedad							
Material	Cant. Kg @m ³ Hormigón	Dosific. al peso	Cant @saco 50kg	Cant. Kg @m ³ Hormi correg	Al peso correg.	Cant @saco 50kg	VASdm ³ @50kg	Dosif. X vol. l=b=h=3dm ³		
W	201,98	0,69	34,5	157,1	0,54	26,8	---	26,8 lt		
C	292,73	1,00	50,0	292,7	1,00	50,0	---	1,0 sacco		
AF	770,76	2,63	131,7	804,7	2,75	137,4	85,65	3,2 caj.		
AG	872,65	2,98	149,1	882,0	3,01	150,7	148,02	5,5 caj.		
Nota: A fin de controlar la relación W/C y la trabajabilidad, utilizar aditivo plastificante en las dosis indicadas										
5. DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN PARA CILINDROS DE 100X200mm										
f'c:	34	kg/cm ²	(28 Días)	Membrete:	B3_Ar					
Fecha y hora elab:	11/03/15 13:50pm			Cant. :	2	mold.				
Densid. teor. horm:	2138,12 kg/m ³			%Pérdida:	10					
DIMENSIONES MOLDES			Dosificación para 2 probetas con 10% de desperdicio							
Ø (mm):	100	V (dm ³):	1,571	B3 Ar						
h (mm) :	200	Vt (dm ³):	3,456							
Cantidad de hormigón (kg): 7388,8				Material	Dosif al peso	Orig.	Adicionar	Dosif M.	Correg x hum.	
34,5x + x + 131,651x + 149,054x = 7388,807				W	0,69	698,0	199,79 ml	0,89	897,8 cc	
x (g)= 1011,60				C	1,00	1011,6	-----	1,00	1011,6 g	
				AF	2,63	2663,6	951,5 g	3,57	3615,0 g	
				AG	2,98	3015,7	-882 g	2,11	2133,6 g	
Datos moldes										
ID	Ø (mm)	Peso (Kg)	Vol. (dm ³)	Peso H.f. + molde (Kg)	Peso Hormig fresco (Kg)	Densidad kg/m ³	Øp (kg/m ³)	Rendim	Trabaj	Homo
B3_Ar-1	100,10	3,8185	1,5739	6,817	2,9985	1905,09	1902,15	1,12	Regular	Mala
B3_Ar-6	104,70	4,0507	1,7219	7,321	3,2703	1899,22				



Anexo 10. Combinaciones base C1, Agregado de 11mm, 15% PET de 14mm y 85% arena

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Laboratorios de Ingeniería Civil										
CI, Agregado de 11mm, 15% PET de 14mm y 85% Grueso										
Método: Densidad Óptima		Fecha: 11/03/2019								
1. CONDICIONES DE DISEÑO										
f'c:	34 kg/cm ² (28 Días)	Identificación:	C1							
Asent:	6-9 cm	Árido Grueso:	11mm							
Cant:	1 m ³	Árido Fino:	Arena							
Cemento: Hidráulico GU		Condición: Dosificación de prueba #2								
Realizado por: Ing. Willan Castillo										
2. DATOS REQUERIDOS PARA LA DOSIFICACIÓN										
DATOS ENSAYOS PREVIOS										
Densidad real del cemento	DRC	2,896	g/cm ³	Porcentaje óptimo de AG	POG	54	%			
Densidad real árido fino	DRF	2,697	g/cm ³	Densidad óptima mezcla	DOM	0,845	g/cm ³			
Densidad real árido grueso	DRG	1,146	g/cm ³	Capacidad de absorción AF	CAF	1,65	%			
Densidad aparente suelta AF	DASF	1,605	g/cm ³	Capacidad de absorción AG	CAG	62,95	%			
Densidad aparente suelta AG	DASG	0,366	g/cm ³	Contenido de humedad AF	CHF	6,12	%			
Porcentaje óptimo de AF	POF	46	%	Contenido de humedad AG	CHG	6,75	%			
DATOS TABLAS										
Relación W/C		0,74		CP%		POV + 2% + 1%(POV)				
Densidad aparente suelta PET		0,25		14mm		Densidad real PET				
						1,3405 g/cm ³				
3. CÁLCULOS										
Densidad real de la mezcla	DRM	1,86	g/cm ³	Cantidad de agua	W	187,72	lt			
Porcentaje óptimo de vacíos	POV	23,00	%	Cantidad de árido fino	AF	899,19	kg			
Cantidad de pasta	CP	275,30	dm ³	Cantidad de árido grueso	AG	448,45	kg			
Cantidad de cemento	C	253,67	kg	Densidad del hormigón	DH	1789,03	kg/m ³			
4. RESULTADOS										
Dosificación para C1 con una resistencia media de 34 kg/cm² (28 Días) con corrección por humedad										
Sin corrección				Con corrección x humedad						
Material	Cant. Kg @m ³ Hormigón	Dosific. al peso	Cant @saco 50kg	Cant. Kg @m ³ Hormi correg	Al peso correg.	Cant @saco 50kg	VASdm ³ @50kg	Dosif. X vol. l=b=h=3dm ³		
W	187,72	0,74	37,0	247,7	0,98	48,8	---	48,8 lt		
C	253,67	1,00	50,0	253,7	1,00	50,0	---	1,0 saco		
AF	899,19	3,54	177,2	938,8	3,70	185,0	115,30	4,3 caj.		
AG	448,45	1,77	88,4	293,8	1,16	57,9	158,05	5,9 caj.		
Nota: A fin de controlar la relación W/C y la trabajabilidad, utilizar aditivo plastificante en las dosis indicadas										
5. DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN PARA CILINDROS DE 100X200mm										
f'c:	34 kg/cm ² (28 Días)	Membrete: C1								
Fecha y hora elab:	11/03/19 14:20pm	Cant. : 2 mold.								
Densid. teor. horm:	1789,03 kg/m ³	%Pérdida: 30								
DIMENSIONES MOLDES										
Ø (mm):	100	V (dm ³):	1,571							
h (mm) :	200	Vt (dm ³):	4,084							
Cantidad de hormigón (kg): 7306,5										
37x + x + 177,234x + 88,392x = 7306,513										
x (g)= 1036,01										
Dosificación para 2 probetas con 30% de desperdicio										
Material	Dosif al peso	C1								
		Orig.	Adicionar	Dosif M.	Correg x hum.					
W	0,74	766,7	288,72 ml	1,02	1055,4 cc					
C	1,00	1036,0	-----	1,00	1036,0 g					
AF	3,54	3672,3	123,3 g	3,66	3795,6 g					
AG	1,77	1831,5	-655,7 g	1,13	1175,8 g					
C1, Agregado de 11mm, 15% PET de 14mm y 85% Grueso										
Cantidades para cada elemento										
W (cc)		C (g)	AF (g)	AG (g)	PET (g)					
1055,4		1036,0	3795,6	999,4	121,6278					
Al peso		1,02	1,00	3,66	0,96					
				0,96	0,12					
ID	Datos moldes			Peso H.f. + molde (Kg)	Peso Hormig fresco (Kg)	Densidad kg/m ³	δp (kg/m ³)	Rendim	Trabaj	Homo
	Ø (mm)	Peso (Kg)	Vol. (dm ³)							
C1-2	104,80	4,03	1,7252	7,07	3,04	1762,10	1775,04	1,01	Buena	R-B
C1-8	104,50	4,06	1,7153	7,13	3,07	1787,97				

Anexo 11. Combinaciones base C2, Agregado de 11mm, 25% PET de 14mm y 75% arena

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Laboratorios de Ingeniería Civil								
C2, Agregado de 11mm, 25% PET de 14mm y 75% Grueso										
Método: Densidad Óptima			Fecha: 12/03/2019							
1. CONDICIONES DE DISEÑO										
f'c:	34	kg/cm ²	(28 Días)	Identificación:	C2					
Asent:	6-9	cm		Árido Grueso:	11mm					
Cant:	1	m ³		Árido Fino:	Arena					
Cemento:	Hidráulico GU			Condición:	Dosificación de prueba #2					
Realizado por:	Ing. Willan Castillo Herrera									
2. DATOS REQUERIDOS PARA LA DOSIFICACIÓN										
DATOS ENSAYOS PREVIOS										
Densidad real del cemento	DRC	2,896	g/cm ³	Porcentaje óptimo de AG	POG 54 %					
Densidad real árido fino	DRF	2,697	g/cm ³	Densidad óptima mezcla	DOM 0,845 g/cm ³					
Densidad real árido grueso	DRG	1,146	g/cm ³	Capacidad de absorción AF	CAF 1,65 %					
Densidad aparente suelta AF	DASF	1,605	g/cm ³	Capacidad de absorción AG	CAG 62,95 %					
Densidad aparente suelta AG	DASG	0,366	g/cm ³	Contenido de humedad AF	CHF 6,12 %					
Porcentaje óptimo de AF	POF	46	%	Contenido de humedad AG	CHG 6,75 %					
DATOS TABLAS										
Relación W/C		0,74		CP% POV + 2% + 11% (POV)						
Densidad aparente suelta PET		0,25	14mm	Densidad real PET 1,34053 g/cm ³						
3. CÁLCULOS										
Densidad real de la mezcla	DRM	1,86	g/cm ³	Cantidad de agua	W 187,72 lt					
Porcentaje óptimo de vacíos	POV	23,00	%	Cantidad de árido fino	AF 899,19 kg					
Cantidad de pasta	CP	275,30	dm ³	Cantidad de árido grueso	AG 448,45 kg					
Cantidad de cemento	C	253,67	kg	Densidad del hormigón	DH 1789,03 kg/m ³					
4. RESULTADOS										
Dosificación para C2 con una resistencia media de 34 kg/cm² (28 Días) con corrección por humedad										
Sin corrección			Con corrección x humedad							
Material	Cant. Kg @m ³ Hormigón	Dosific. al peso	Cant @saco 50kg	Cant. Kg @m ³ Hormi correg	Al peso correg.	Cant @saco 50kg	VASdm ³ @50kg	Dosif. X vol. l=b=h=3dm ³		
W	187,72	0,74	37,0	247,7	0,98	48,8	---	48,8 lt		
C	253,67	1,00	50,0	253,7	1,00	50,0	---	1,0 sacco		
AF	899,19	3,54	177,2	938,8	3,70	185,0	115,30	4,3 caj.		
AG	448,45	1,77	88,4	293,8	1,16	57,9	158,05	5,9 caj.		
Nota: A fin de controlar la relación W/C y la trabajabilidad, utilizar aditivo plastificante en las dosis indicadas										
5. DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN PARA CILINDROS DE 100X200mm										
f'c:	34	kg/cm ²	(28 Días)	Membrete: C2						
Fecha y hora elab:	12/03/19 15:15pm			Cant. : 2 mold.						
Densid. teor. horm:	1789,03 kg/m ³			%Pérdida: 30						
DIMENSIONES MOLDES			Dosificación para 2 probetas con 30% de desperdicio							
Ø (mm):	100	V (dm ³):	1,571	C2						
h (mm):	200	Vt (dm ³):	4,084	Material	Dosif al peso	Orig.	Adicionar	Dosif M.	Correg x hum.	
Cantidad de hormigón (kg):			7306,5	W	0,74	766,7	288,72 ml	1,02	1055,4 cc	
37x + x + 177,234x + 88,392x = 7306,513				C	1,00	1036,0	-----	1,00	1036,0 g	
x (g) = 1036,01				AF	3,54	3672,3	123,3 g	3,66	3795,6 g	
				AG	1,77	1831,5	-655,7 g	1,13	1175,8 g	
				C2, Agregado de 11mm, 25% PET de 14mm y 75% Grueso						
				Cantidades para cada elemento						
				W (cc)	C (g)	AF (g)	AG (g)	PET (g)		
				1055,4	1036,0	3795,6	881,9	202,71302		
				Al peso	1,02	1,00	3,66	0,85	0,20	
Datos moldes										
ID	Ø (mm)	Peso (Kg)	Vol. (dm ³)	Peso H.f. + molde (Kg)	Peso Hormig fresco	Densidad kg/m ³	δp (kg/m ³)	Rendim	Trabaj	Homo
C2-10	102,50	5,18	1,6503	8,13	2,95	1789,29	1787,10	1,00	Buena	R-B
C2-11	102,00	5,21	1,6343	8,13	2,92	1784,91				


Anexo 12. Combinaciones base C3, Agregado de 8mm, 20% PET de 8mm y 80% arena

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Laboratorios de Ingeniería Civil										
C3, Agregado de 8mm, 20% PET de 8mm y 80% Grueso										
Método: Densidad Óptima		Fecha: 12/03/2019								
1. CONDICIONES DE DISEÑO										
f'c:	34 kg/cm ² (28 Días)	Identificación:	C3							
Asent:	6-9 cm	Árido Grueso:	8mm							
Cant:	1 m ³	Árido Fino:	Arena							
Cemento:	Hidráulico GU	Condición:	Dosificación de prueba #2							
Realizado por: Ing. Willan Castillo Herrera										
2. DATOS REQUERIDOS PARA LA DOSIFICACIÓN										
DATOS ENSAYOS PREVIOS										
Densidad real del cemento	DRC	2,896	g/cm ³	Porcentaje óptimo de AG	POG	44	%			
Densidad real árido fino	DRF	2,697	g/cm ³	Densidad óptima mezcla	DOM	0,96	g/cm ³			
Densidad real árido grueso	DRG	1,315	g/cm ³	Capacidad de absorción AF	CAF	1,65	%			
Densidad aparente suelta AF	DASF	1,605	g/cm ³	Capacidad de absorción AG	CAG	40,98	%			
Densidad aparente suelta AG	DASG	0,500	g/cm ³	Contenido de humedad AF	CHF	6,12	%			
Porcentaje óptimo de AF	POF	56	%	Contenido de humedad AG	CHG	5,64	%			
DATOS TABLAS										
Relación W/C		0,7		CP% POV + 2% + 11% (POV)						
Densidad aparente suelta PET		0,34	8mm	Densidad real PET		1,34053	g/cm ³			
3. CÁLCULOS										
Densidad real de la mezcla	DRM	2,09	g/cm ³	Cantidad de agua	W	193,66	lt			
Porcentaje óptimo de vacíos	POV	24,25	%	Cantidad de árido fino	AF	1073,70	kg			
Cantidad de pasta	CP	289,18	dm ³	Cantidad de árido grueso	AG	411,38	kg			
Cantidad de cemento	C	276,65	kg	Densidad del hormigón	DH	1955,39	kg/m ³			
4. RESULTADOS										
Dosificación para C3 con una resistencia media de 34 kg/cm² (28 Días) con corrección por humedad										
Sin corrección				Con corrección x humedad						
Material	Cant. Kg @m ³ Hormigón	Dosific. al peso	Cant @ saco 50kg	Cant. Kg @m ³ Hormi correg	Al peso correg.	Cant @ saco 50kg	VASdm ³ @ 50kg	Dosif. X vol. l=b=h=3dm ³		
W	193,66	0,70	35,0	221,6	0,80	40,0	---	40,0 lt		
C	276,65	1,00	50,0	276,7	1,00	50,0	---	1,0 saco		
AF	1073,70	3,88	194,1	1121,0	4,05	202,6	126,25	4,7 caj.		
AG	411,38	1,49	74,3	308,2	1,11	55,7	111,41	4,1 caj.		
Nota: A fin de controlar la relación W/C y la trabajabilidad, utilizar aditivo plastificante en las dosis indicadas										
5. DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN PARA CILINDROS DE 100X200mm										
f'c:	34 kg/cm ² (28 Días)	Membrete: C3								
Fecha y hora elab:	12/03/19 15:50pm	Cant. : 2 mold.								
Densid. teor. horm:	1955,39 kg/m ³	%Pérdida: 30								
DIMENSIONES MOLDES										
Ø (mm):	100	V (dm ³):	1,571							
h (mm) :	200	Vt (dm ³):	4,084							
Cantidad de hormigón (kg): 7986										
35x + x + 194,052x + 74,349x = 7985,965										
x (g) = 1129,87										
Dosificación para 2 probetas con 30% de desperdicio										
Material	Dosif al peso	C3								
		Orig.	Adicionar	Dosif M.	Correg x hum.					
W	0,70	790,9	213,55 ml	0,89	1004,5 cc					
C	1,00	1129,9	-----	1,00	1129,9 g					
AF	3,88	4385,1	193 g	4,05	4578,1 g					
AG	1,49	1680,1	-547,1 g	1,00	1133,0 g					
C3, Agregado de 8mm, 20% PET de 8mm y 80% Grueso		Cantidades para cada elemento								
		W (cc)	C (g)	AF (g)	AG (g)	PET (g)				
		1004,5	1129,9	4578,1	906,4	155,12489				
Al peso		0,89	1,00	4,05	0,80	0,14				
ID	Datos moldes			Peso H.f. + molde (Kg)	Peso Hormig fresco (Kg)	Densidad kg/m ³	δp (kg/m ³)	Rendim	Trabaj	Homo
	Ø (mm)	Peso (Kg)	Vol. (dm ³)							
C3-16	101,50	5,16	1,6183	8,30	3,15	1943,61	1917,25	1,02	Buena	R-B
C3-17	102,00	5,22	1,6343	8,31	3,09	1890,89				



Anexo 13. Combinaciones base C4, Agregado de 3mm, 25% PET de 6mm y 75% arena

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica		Laboratorios de Ingeniería Civil						
C4, Agregado de 3mm, 25% PET de 6mm y 75% Grueso										
Método: Densidad Óptima			Fecha: 12/03/2019							
1. CONDICIONES DE DISEÑO										
f'c:	34	kg/cm ²	(28 Días)	Identificación:	C4					
Asent:	6-9	cm		Árido Grueso:	3mm					
Cant:	1	m ³		Árido Fino:	Arena					
Cemento:	Hidráulico GU			Condición:	Dosificación de prueba #2					
Realizado por:	Ing. Willan Castillo Herrera									
2. DATOS REQUERIDOS PARA LA DOSIFICACIÓN										
DATOS ENSAYOS PREVIOS										
Densidad real del cemento	DRC	2,896	g/cm ³	Porcentaje óptimo de AG	POG 59 %					
Densidad real árido fino	DRF	2,697	g/cm ³	Densidad óptima mezcla	DOM 1,46 g/cm ³					
Densidad real árido grueso	DRG	2,122	g/cm ³	Capacidad de absorción AF	CAF 1,65 %					
Densidad aparente suelta AF	DASF	1,605	g/cm ³	Capacidad de absorción AG	CAG 2,12 %					
Densidad aparente suelta AG	DASG	1,018	g/cm ³	Contenido de humedad AF	CHF 6,12 %					
Porcentaje óptimo de AF	POF	41	%	Contenido de humedad AG	CHG 3,21 %					
DATOS TABLAS										
Relación W/C		0,69		CP% POV + 2% + 11% (POV)						
Densidad aparente suelta PET		0,31	6mm	Densidad real PET 1,3405 g/cm ³						
3. CÁLCULOS										
Densidad real de la mezcla	DRM	2,36	g/cm ³	Cantidad de agua	W 201,98 lt					
Porcentaje óptimo de vacíos	POV	25,50	%	Cantidad de árido fino	AF 770,76 kg					
Cantidad de pasta	CP	303,05	dm ³	Cantidad de árido grueso	AG 872,65 kg					
Cantidad de cemento	C	292,73	kg	Densidad del hormigón	DH 2138,12 kg/m ³					
4. RESULTADOS										
Dosificación para C4 con una resistencia media de 34 kg/cm² (28 Días) con corrección por humedad										
Sin corrección			Con corrección x humedad							
Material	Cant. Kg @ m³ Hormigón	Dosific. al peso	Cant @ saco 50kg	Cant. Kg @ m³ Hormi correg	Al peso correg. Cant @ saco 50kg VASdm³ @ 50kg Dosif. X vol. l=b=h=3dm³					
W	201,98	0,69	34,5	157,1	0,54 26,8 --- 26,8 lt					
C	292,73	1,00	50,0	292,7	1,00 50,0 --- 1,0 sacco					
AF	770,76	2,63	131,7	804,7	2,75 137,4 85,65 3,2 caj.					
AG	872,65	2,98	149,1	882,0	3,01 150,7 148,02 5,5 caj.					
Nota: A fin de controlar la relación W/C y la trabajabilidad, utilizar aditivo plastificante en las dosis indicadas										
5. DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN PARA CILINDROS DE 100X200mm										
f'c:	34	kg/cm ²	(28 Días)	Membrete: C4						
Fecha y hora elab:	12/03/19 17:15pm			Cant. : 2 mold.						
Densid. teor. horm:	2138,12 kg/m ³			%Pérdida: 10						
DIMENSIONES MOLDES			Dosificación para 2 probetas con 10% de desperdicio							
Ø (mm):	100	V (dm³):	1,571	C4						
h (mm) :	200	Vt (dm³):	3,456	Dosif al peso	Orig. Adicionar Dosif M. Correg x hum.					
Cantidad de hormigón (kg): 7388,8				W	0,69 698,0 199,79 ml 0,89 897,8 cc					
34,5x + x + 131,651x + 149,054x = 7388,807				C	1,00 1011,6 ----- 1,00 1011,6 g					
x (g)= 1011,60				AF	2,63 2663,6 951,5 g 3,57 3615,0 g					
				AG	2,98 3015,7 -882 g 2,11 2133,6 g					
				C4, Agregado de 3mm, 25% PET de 6mm y 75% Grueso						
				Cantidades para cada elemento						
				W (cc)	C (g)	AF (g)	AG (g)	PET (g)		
				897,8	1011,6	3615,0	1600,2	160,618		
				Al peso	0,89	1,00	3,57	1,58 0,16		
Datos moldes										
ID	Ø (mm)	Peso (Kg)	Vol. (dm³)	Peso H.f. + molde (Kg)	Peso Hormig fresco (Kg)	Densidad kg/m³	δp (kg/m³)	Rendim	Trabaj	Homo
C4-12	101,50	5,19	1,6183	8,25	3,06	1889,24	1893,20	1,13	Buena	R-B
C4-13	101,80	5,15	1,6279	8,24	3,09	1897,16				

Anexo 14. Combinaciones base C5, Agregado de 3mm, 15% PET de 8mm y 85% arena

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Laboratorios de Ingeniería Civil										
C5, Agregado de 3mm, 15% PET de 8mm y 85% Grueso										
Método: Densidad Óptima		Fecha: 12/03/2019								
1. CONDICIONES DE DISEÑO										
f'c:	34 kg/cm ² (28 Días)	Identificación:	C5							
Asent:	6-9 cm	Árido Grueso:	3mm							
Cant:	1 m ³	Árido Fino:	Arena							
Cemento:	Hidráulico GU	Condición:	Dosificación de prueba #2							
Realizado por: Ing. Willan Castillo Herrera										
2. DATOS REQUERIDOS PARA LA DOSIFICACIÓN										
DATOS ENSAYOS PREVIOS										
Densidad real del cemento	DRC	2,896	g/cm ³	Porcentaje óptimo de AG	POG	59	%			
Densidad real árido fino	DRF	2,697	g/cm ³	Densidad óptima mezcla	DOM	1,46	g/cm ³			
Densidad real árido grueso	DRG	2,122	g/cm ³	Capacidad de absorción AF	CAF	1,65	%			
Densidad aparente suelta AF	DASF	1,605	g/cm ³	Capacidad de absorción AG	CAG	2,12	%			
Densidad aparente suelta AG	DASG	1,018	g/cm ³	Contenido de humedad AF	CHF	6,12	%			
Porcentaje óptimo de AF	POF	41	%	Contenido de humedad AG	CHG	3,21	%			
DATOS TABLAS										
Relación W/C		0,69		CP% POV + 2% + 11% (POV)						
Densidad aparente suelta PET		0,34	8mm	Densidad real PET		1,34053	g/cm ³			
3. CÁLCULOS										
Densidad real de la mezcla	DRM	2,36	g/cm ³	Cantidad de agua	W	201,98	lt			
Porcentaje óptimo de vacíos	POV	25,50	%	Cantidad de árido fino	AF	770,76	kg			
Cantidad de pasta	CP	303,05	dm ³	Cantidad de árido grueso	AG	872,65	kg			
Cantidad de cemento	C	292,73	kg	Densidad del hormigón	DH	2138,12	kg/m ³			
4. RESULTADOS										
Dosificación para C5 con una resistencia media de 34 kg/cm² (28 Días) con corrección por humedad										
Sin corrección				Con corrección x humedad						
Material	Cant. Kg @m ³ Hormigón	Dosific. al peso	Cant @ saco 50kg	Cant. Kg @m ³ Hormi correg	Al peso correg.	Cant @ saco 50kg	VASdm ³ @50kg	Dosif. X vol. l=b=h=3dm ³		
W	201,98	0,69	34,5	157,1	0,54	26,8	---	26,8 lt		
C	292,73	1,00	50,0	292,7	1,00	50,0	---	1,0 sacco		
AF	770,76	2,63	131,7	804,7	2,75	137,4	85,65	3,2 caj.		
AG	872,65	2,98	149,1	882,0	3,01	150,7	148,02	5,5 caj.		
Nota: A fin de controlar la relación W/C y la trabajabilidad, utilizar aditivo plastificante en las dosis indicadas										
5. DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN PARA CILINDROS DE 100X200mm										
f'c:	34 kg/cm ² (28 Días)	Membrete: C5								
Fecha y hora elab:	12/03/19 17:40pm	Cant. : 2 mold.								
Densid. teor. horm:	2138,12 kg/m ³	%Pérdida: 10								
DIMENSIONES MOLDES				Dosificación para 2 probetas con 10% de desperdicio						
Ø (mm):	100	V (dm ³):	1,571	C5						
h (mm) :	200	Vt (dm ³):	3,456	Material	Dosif al peso	Orig.	Adicionar	Dosif M.	Correg x hum.	
Cantidad de hormigón (kg): 7388,8				W	0,69	698,0	199,79 ml	0,89	897,8 cc	
34,5x + x + 131,651x + 149,054x = 7388,807				C	1,00	1011,6	-----	1,00	1011,6 g	
x (g)= 1011,60				AF	2,63	2663,6	951,5 g	3,57	3615,0 g	
				AG	2,98	3015,7	-882 g	2,11	2133,6 g	
				Cantidades para cada elemento						
				C5, Agregado de 3mm, 15% PET de 8mm y 85% Grueso						
				W (cc)	C (g)	AF (g)	AG (g)	PET (g)		
				897,8	1011,6	3615,0	1813,6	107,639		
				Al peso	0,89	1,00	3,57	1,79	0,11	
Datos moldes										
ID	Ø (mm)	Peso (Kg)	Vol. (dm ³)	Peso H.f. + molde (Kg)	Peso Hormig fresco (Kg)	Densidad kg/m ³	δp (kg/m ³)	Rendim	Trabaj	Homo
C5-18	101,30	5,19	1,6119	8,00	2,81	1745,58	1706,90	1,25	Buena	R-B
C5-19	101,20	5,22	1,6087	7,90	2,68	1668,22				

Anexo 15. Combinaciones base C6, Agregado de 3mm, 25% PET de 14mm y 75% arena

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Laboratorios de Ingeniería Civil								
C6, Agregado de 3mm, 25% PET de 14mm y 75% Grueso										
Método: Densidad Óptima				Fecha: 12/03/2019						
1. CONDICIONES DE DISEÑO										
f'c:	34	kg/cm ²	(28 Días)	Identificación:	C6					
Asent:	6-9	cm		Árido Grueso:	3mm					
Cant:	1	m ³		Árido Fino:	Arena					
Cemento:	Hidráulico GU			Condición:	Dosificación de prueba #2					
Realizado por:	Ing. Willan Castillo Herrera									
2. DATOS REQUERIDOS PARA LA DOSIFICACIÓN										
DATOS ENSAYOS PREVIOS										
Densidad real del cemento	DRC	2,896	g/cm ³	Porcentaje óptimo de AG	POG	59	%			
Densidad real árido fino	DRF	2,697	g/cm ³	Densidad óptima mezcla	DOM	1,46	g/cm ³			
Densidad real árido grueso	DRG	2,122	g/cm ³	Capacidad de absorción AF	CAF	1,65	%			
Densidad aparente suelta AF	DASF	1,605	g/cm ³	Capacidad de absorción AG	CAG	2,12	%			
Densidad aparente suelta AG	DASG	1,018	g/cm ³	Contenido de humedad AF	CHF	6,12	%			
Porcentaje óptimo de AF	POF	41	%	Contenido de humedad AG	CHG	3,21	%			
DATOS TABLAS										
Relación W/C		0,69		CP% POV + 2% + 11% (POV)						
Densidad aparente suelta PET		0,25	14mm	Densidad real PET		1,340531	g/cm ³			
3. CÁLCULOS										
Densidad real de la mezcla	DRM	2,36	g/cm ³	Cantidad de agua	W	201,98	lt			
Porcentaje óptimo de vacíos	POV	25,50	%	Cantidad de árido fino	AF	770,76	kg			
Cantidad de pasta	CP	303,05	dm ³	Cantidad de árido grueso	AG	872,65	kg			
Cantidad de cemento	C	292,73	kg	Densidad del hormigón	DH	2138,12	kg/m ³			
4. RESULTADOS										
Dosificación para C6 con una resistencia media de 34 kg/cm² (28 Días) con corrección por humedad										
Sin corrección				Con corrección x humedad						
Material	Cant. Kg @m ³ Hormigón	Dosific. al peso	Cant @ saco 50kg	Cant. Kg @m ³ Hormi correg	Al peso correg.	Cant @ saco 50kg	VASdm ³ @ 50kg	Dosif. X vol. l=b=h=3dm ³		
W	201,98	0,69	34,5	157,1	0,54	26,8	---	26,8 lt		
C	292,73	1,00	50,0	292,7	1,00	50,0	---	1,0 saco		
AF	770,76	2,63	131,7	804,7	2,75	137,4	85,65	3,2 caj.		
AG	872,65	2,98	149,1	882,0	3,01	150,7	148,02	5,5 caj.		
Nota: A fin de controlar la relación W/C y la trabajabilidad, utilizar aditivo plastificante en las dosis indicadas										
5. DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN PARA CILINDROS DE 100X200mm										
f'c:	34	kg/cm ²	(28 Días)	Membrete: C6						
Fecha y hora elab:	12/03/19 18:00pm			Cant. : 2 mold.						
Densid. teor. horm:	2138,12 kg/m ³			%Pérdida: 10						
DIMENSIONES MOLDES				Dosificación para 2 probetas con 10% de desperdicio						
Ø (mm):	100	V (dm³):	1,571	Material	Dosif al peso	C6				
h (mm) :	200	Vt (dm³):	3,456			Orig.	Adicionar	Dosif M.	Correg x hum.	
Cantidad de hormigón (kg): 7388,8				W	0,69	698,0	199,79 ml	0,89	897,8	cc
34,5x + x + 131,651x + 149,054x = 7388,807				C	1,00	1011,6	-----	1,00	1011,6	g
x (g) = 1011,60				AF	2,63	2663,6	951,5 g	3,57	3615,0	g
				AG	2,98	3015,7	-882 g	2,11	2133,6	g
				C6, Agregado de 3mm, 25% PET de 14mm y 75% Grueso						
				Cantidades para cada elemento						
				W (cc)	C (g)	AF (g)	AG (g)	PET (g)		
				897,8	1011,6	3615,0	1600,2	132,4037		
				Al peso	0,89	1,00	3,57	1,58	0,13	
Datos moldes										
ID	Ø (mm)	Peso (Kg)	Vol. (dm ³)	Peso H.f. + molde (Kg)	Peso Hormig fresco (Kg)	Densidad kg/m ³	δp (kg/m ³)	Rendim	Trabaj	Homo
C6-14	101,20	5,16	1,6087	8,00	2,8388	1764,63	1736,25	1,23	Buena	R-B
C6-15	101,20	5,20	1,6087	7,95	2,75	1707,88				

Anexo 16. Resultados estado fresco de especímenes cilindros de hormigón para mezcla base

				UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO											
				Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica											
				Laboratorios de Ingeniería Civil											
PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN PARA MEZCLA BASE															
Normas: INEN 3124 (Elaboración y curado cilindros)										fck=		2		Mpa	
INEN 1579 (Densidad, contenido de aire y rendimiento)										n=		1,7			
Cemento: Hidraulico GU										fcm=		3,4		Mpa	
Realizado por : Ing. Willan Castillo Herrera										0.7fcm=		2,38		Mpa	
ID	Elab.	Hora	Densi teor. kg/m ³	Datos moldes			Parám Cual.		Peso H.f.+M (Kg)	Peso H. fresco (Kg)	Densi fresco kg/m ³	Densi F Prom. kg/m ³	Cont. aire	Rend Relati	
				Øp (mm)	Peso (Kg)	Vol. (dm ³)	Trabaj	Homo							
B11_Ar-9	11/03/19	12:15pm	1789,03	104,6	2,93	1,72	Buena	Buena	5,86	2,93	1702,3	1714,49	4,17%	1,04	
B11_Ar-3				105,3	4,04	1,74			7,05	3,01	1726,6				
B8_Ar-5	11/03/19	13:20pm	1955,39	104,9	4,03	1,73	Regular	Buena	7,35	3,32	1922,1	1906,72	2,49%	1,03	
B8_Ar-7				105,0	4,02	1,73			7,30	3,28	1891,3				
B3_Ar-1	11/03/19	13:50pm	2138,12	100,1	3,82	1,57	Regular	Mala	6,82	3,00	1905,1	1902,15	11,04%	1,12	
B3_Ar-6				104,7	4,05	1,72			7,32	3,27	1899,2				
C1-2	11/03/19	14:20pm	1789,03	104,8	4,0	1,73	Buena	R-B	7,07	3,04	1762,1	1775,04	0,78%	1,01	
C1-8				104,5	4,1	1,72			7,13	3,07	1788,0				
C2-10	27-02-23	14:40	1789,0	102,5	5,2	1,65	Buena	R-B	8,13	2,95	1789,3	1787,10	0,11%	1,00	
C2-11				102,0	5,2	1,63			8,13	2,92	1784,9				
C3-16	27-02-23	15:00	1955,4	101,5	5,2	1,62	Buena	R-B	8,30	3,15	1943,6	1917,25	1,95%	1,02	
C3-17				102,0	5,2	1,63			8,31	3,09	1890,9				
C4-12	22-02-23	15:20	2138,1	101,5	5,2	1,62	Buena	R-B	8,25	3,06	1889,2	1893,20	11,45%	1,13	
C4-13				101,8	5,1	1,63			8,24	3,09	1897,2				
C5-18	22-02-23	15:40	2138,1	101,3	5,2	1,61	Buena	R-B	8,00	2,81	1745,6	1706,90	20,17%	1,25	
C5-19				101,2	5,2	1,61			7,90	2,68	1668,2				
C6-14	22-02-23	10:30	2138,1	101,2	5,2	1,61	Buena	R-B	8,00	2,84	1764,6	1736,25	18,80%	1,23	
C6-15				101,2	5,2	1,61			7,95	2,75	1707,9				

Las propiedades en estado fresco de especímenes de los cilindros de hormigón para realizar la mezcla base podemos determinar que se aprecia en las combinaciones base B11_Ar el árido de 11mm al ocupar mayor espacio propicia a que éstas sean más livianas, siendo su densidad la más baja (1714.49 kg/m³); contrario a la densidad

teórica la combinación B3_Ar fue la segunda más liviana (1902.15 kg/m^3) y por último la B8_Ar con un valor de 1906.72 kg/m^3 ; pero en cuanto a sus contenidos de aire B8_Ar fue la que obtuvo un valor más bajo de 2.49%, seguida de 4.17% para B11_Ar y más alejada por B3_Ar con 11.04%

En cuanto a las combinaciones en la C5-18/19 en donde mezclamos el árido de 3 mm y con una sustitución del 15 % del triturado de Tereftalato de Polietileno reciclado en la mezcla se obtiene la densidad más baja ($1706,90 \text{ kg/m}^3$); caso contrario en la combinación C3-16/17 donde se obtuvo la mayor densidad ($1917,25 \text{ kg/m}^3$) combinado el árido de 8mm y una sustitución del 20% del triturado de Tereftalato de Polietileno reciclado en la mezcla; en cuanto a la cantidad de aire la combinación C5-18/19 obtuvo el valor más alto de 20,17% que está compuesta del árido de 3 mm y con una sustitución del 15% del triturado de Tereftalato de Polietileno reciclado en la mezcla: el valor intermedio del contenido de aire en la combinación C4-12/13 con el valor de 11.45% que está compuesta del árido de 3 mm y con una sustitución del 25 % del triturado de Tereftalato de Polietileno reciclado y el menor valor del contenido de aire en la combinación C2-10/11 con el valor mínimo de 0,11% que está compuesta del árido de 11mm y con una sustitución del 15% del triturado de Tereftalato de Polietileno reciclado.









Respecto a la docilidad y homogeneidad podemos determinar en lo siguiente:

B11_Ar obtuvo una docilidad buena al igual que su homogeneidad, puesto que esta combinación es la que más agua tenía debido a su capacidad de absorción, y a que la diferenciación entre árido fino y grueso era la más acentuada, pero como absorbió más agua el peligro de presentar exudación fue más alto, y de hecho así sucedió

B8_Ar tuvo una docilidad regular pero una homogeneidad buena, compensado el hecho de no presentar exudación

B3_Ar fue la combinación que peor homogeneidad tuvo al convertirse en una especie de mortero grueso en el que la segregación se hizo presente

Anexo 17. Resultados de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón para mezcla base

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Laboratorios de Ingeniería Civil </div>  </div>																		
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN HIDRÁULICO PARA MEZCLA BASE																		
Norma: INEN 1573 Cemento: Hidrau. GU Realizado por : Ing. Willan Castillo Herrera			fck= 1,7 Mpa n= 2,0									fcm= 3,4 Mpa 0.7fcm= 2,4 Mpa						
ID	Fecha Elab	Edad	Fecha rotura	Datos cilindros					Densid kg/m³	Densi prom kg/m³	Carga P (KN)	Esfuer(Mpa)	fcm prom (Mpa)	% (65-75)	ANEXO FOTOGRÁFICO			
				Øp (mm)	hp (mm)	Área (mm²)	Vol. (m³)	Peso (Kg)							Cilindro	Datos	Cilindro	Datos
B11_Ar-9	11/03/19	7 Días	18/03/19	103,00	198,00	8332,3	1,65E-03	2,89	1753,55	1761,96	44,5	5,34	5,28	155%		44.5 Strength(MPa)		43.5 Strength(MPa)
B11_Ar-3				103,00	201,00	8332,3	1,67E-03	2,97			1770,37	43,5			5,22	41.9 Time (s)	42.0 Time (s)	
B8_Ar-5	11/03/19	7 Días	18/03/19	103,00	202,00	8332,3	1,68E-03	3,29	1951,73	1950,76	41,8	5,02	5,00	147%		41.8 Strength(MPa)		41.5 Strength(MPa)
B8_Ar-7				103,00	199,00	8332,3	1,66E-03	3,23			1949,79	41,5			4,98	5.02 Time (s)	41.3 Time (s)	
B3_Ar-1	11/03/19	7 Días	18/03/19	99,00	200,00	7697,7	1,54E-03	3,00	1950,59	1950,08	21,5	2,79	2,96	87%		21.5 Strength(MPa)		26.1 Strength(MPa)
B3_Ar-6				103,00	200,50	8332,3	1,67E-03	3,26			1949,57	26,1			3,13	2.80 Time (s)	40.8 Time (s)	

Anexo 18. Resultados de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón para combinaciones con PET triturado



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica

Laboratorios de Ingeniería Civil



Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón para combinaciones con PET

Norma: INEN 1573

Cemento: Hidrau. GU

fck= 1.7 Mpa

n= 2.0

fcm= 3.4 Mpa

0.7fcm= 2.4 Mpa

ID	Fecha Elab	Edad	Fecha rotura	Datos cilindros					Densid kg/m³	Densi prom kg/m³	Carga P (KN)	Esfuerzo (Mpa)	fcm prom (Mpa)	% (65-75)	ANEXO FOTOGRÁFICO			
				Øp (mm)	hp (mm)	Área (mm²)	Vol. (m³)	Peso (Kg)							Cilindro	Datos	Cilindro	Datos
C1-2	11-Mar-2019	7 Días	18-Mar-2019	103.00	200.00	8332.29	1.6665E-03	3.01	1806.83	43.3	5.20	5.31	156%		43.3		45.2	
C1-8				103.00	200.00	8332.29	1.6665E-03	3.02							1810.43		45.2	5.42
C2-10	12-Mar-2019	7 Días	19-Mar-2019	101.50	200.50	8091.37	1.6223E-03	2.93	1801.41	35.2	4.35	4.25	125%		35.2		33.4	
C2-11				101.30	199.00	8059.51	1.6038E-03	2.88							1798.12		33.4	4.14
C3-16	12-Mar-2019	7 Días	19-Mar-2019	101.50	200.00	8091.37	1.6183E-03	3.13	1934.76	35.8	4.42	4.33	127%		35.8		34.2	
C3-17				101.30	200.50	8059.51	1.6159E-03	3.13							1935.48		34.2	4.24
C4-12	12-Mar-2019	7 Días	19-Mar-2019	101.00	200.00	8011.85	1.6024E-03	3.10	1931.17	25.3	3.16	3.23	95%		25.3		26.4	
C4-13				101.00	200.00	8011.85	1.6024E-03	3.09							1930.14		26.4	3.30
C5-18	12-Mar-2019	7 Días	19-Mar-2019	101.00	200.50	8011.85	1.6064E-03	2.95	1829.03	22.8	2.85	2.70	79%		22.8		20.5	
C5-19				101.00	199.50	8011.85	1.5984E-03	2.91							1822.86		20.5	2.56
C6-14	12-Mar-2019	7 Días	19-Mar-2019	101.00	200.00	8011.85	1.6024E-03	3.04	1894.95	26.5	3.31	3.27	96%		26.5		25.9	
C6-15				101.00	201.00	8011.85	1.6104E-03	3.05							1894.46		25.9	3.23

C1, Agregado de 11mm, 15% PET de 14mm y 85% Grueso

C2, Agregado de 11mm, 25% PET de 14mm y 75% Grueso



C3, Agregado de 8mm, 20% PET de 8mm y 80% Grueso

C4, Agregado de 3mm, 15% PET de 14mm y 85% Grueso



C5, Agregado de 11mm, 15% PET de 14mm y 85% Grueso

C6, Agregado de 11mm, 15% PET de 14mm y 85% Grueso



Anexo 19. Dosificaciones base para moldes de fachaleta de agregado de 11mm más arena

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Laboratorios de Ingeniería Civil 								
DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN								
Método: Densidad Óptima	Fecha: 22/02/2019							
1. CONDICIONES DE DISEÑO f'c: 34 kg/cm ² (28 Días) Asent: 9-12 cm Cant: 1 m ³ Cemento: Hidráulico GU Realizado Por: Ing. Willan Castillo								
Identificación: F11_Ar Árido Grueso: 11mm Árido Fino: Arena Condición: Dosificación base								
2. DATOS REQUERIDOS PARA LA DOSIFICACIÓN								
DATOS ENSAYOS PREVIOS								
Densidad real del cemento	DRC 2,89636 g/cm ³	Porcentaje óptimo de AG	POG 54 %					
Densidad real árido fino	DRF 2,697 g/cm ³	Densidad óptima mezcla	DOM 0,845 g/cm ³					
Densidad real árido grueso	DRG 1,146 g/cm ³	Capacidad de absorción AF	CAF 1,65 %					
Densidad suelta árido fino	DSF 1,605 g/cm ³	Capacidad de absorción AG	CAG 62,95 %					
Densidad suelta árido grueso	DSG 0,366 g/cm ³	Contenido de humedad AF	CHF 6,12 %					
Porcentaje óptimo de AF	POF 46 %	Contenido de humedad AG	CHG 6,75 %					
DATOS TABLAS								
Relación W/C	0,74	CP%	POV + 2% + 11%(POV)					
3. CÁLCULOS								
Densidad real de la mezcla	DRM 1,86 g/cm ³	Cantidad de agua	W 278,54 lt					
Porcentaje óptimo de vacíos	POV 35,00 %	Cantidad de árido fino	AF 733,91 kg					
Cantidad de pasta	CP 408,50 dm ³	Cantidad de árido grueso	AG 366,03 kg					
Cantidad de cemento	C 376,41 kg	Densidad del hormigón	DH 1754,89 kg/m ³					
4. RESULTADOS								
Dosificación para F11_Ar para una resistencia media de 34 kg/cm² (28 Días) con corrección por humedad								
Sin corrección		Con corrección x humedad						
Material	Cant. Kg @m ³ Hormigón	Dosific. al peso	Cant @ saco 50kg	Cant. Kg @m ³ Hormi correg	Al peso correg.	Cant @ saco 50kg	VASdm ³ @50kg	Dosif. X vol. l=b=h=3dm ³
W	278,54	0,74	37,0	327,5	0,87	43,5	---	43,5 lt
C	376,41	1,00	50,0	376,4	1,00	50,0	---	1,0 saco
AF	733,91	1,95	97,5	766,2	2,04	101,8	63,42	2,3 caj.
AG	366,03	0,97	48,6	239,8	0,64	31,9	86,94	3,2 caj.
Nota: A fin de controlar la relación W/C y la trabajabilidad, utilizar aditivo plastificante en las dosis indicadas								
5. DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN PARA FACHALETAS								
f'c:	34 kg/cm ² (28 Días)	Membrete:	F11_Ar					
Fecha y hora elab:		Cant. :	2 mold.					
Densid. teor. horm:	1754,89 kg/m ³	%Pérdida:	4					
DIMENSIONES MOLDES		Dosificación para 2 probetas con 4% de desperdicio						
A (mm ²):	47000	V (dm ³):	1,410					
h (mm) :	30	Vt (dm ³):	2,933					
Cantidad de hormigón (kg): 5146,74								
37x + x + 97,489x + 48,621x = 5146,744								
x (g) = 22,08								
Material	Dosif al peso	F11_Ar						
		Orig.	Adicionar	Dosif M.	Correg x hum.			
W	37,00	816,9	143,63 ml	0,87	960,5 cc			
C	50,00	1103,9	-----	1,00	1103,9 g			
AF	97,49	2152,4	94,7 g	2,04	2247,2 g			
AG	48,62	1073,5	-370,2 g	0,64	703,2 g			
δt=		1709,93 kg/m ³						

Anexo 20. Dosificaciones base para moldes de fachaleta de Agregado de 8mm más arena


 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Laboratorios de Ingeniería Civil								
DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN								
Método: Densidad Óptima		Fecha: 22/02/2019						
1. CONDICIONES DE DISEÑO								
f'c:	34 kg/cm ² (28 Días)	Identificación:	F8_Ar					
Asent:	9-12 cm	Árido Grueso:	8 mm					
Cant:	1 m ³	Árido Fino:	Arena					
Cemento:	Hidráulico GU	Condición:	Dosificación base					
Realizado Por: Ing. Willan Castillo								
2. DATOS REQUERIDOS PARA LA DOSIFICACIÓN								
DATOS ENSAYOS PREVIOS								
Densidad real del cemento	DRC	2,89636 g/cm ³	Porcentaje óptimo de AG	POG	44	%		
Densidad real árido fino	DRF	2,697 g/cm ³	Densidad óptima mezcla	DOM	0,96	g/cm ³		
Densidad real árido grueso	DRG	1,315 g/cm ³	Capacidad de absorción AF	CAF	1,65	%		
Densidad suelta árido fino	DSF	1,605 g/cm ³	Capacidad de absorción AG	CAG	40,98	%		
Densidad suelta árido grueso	DSG	0,500 g/cm ³	Contenido de humedad AF	CHF	6,12	%		
Porcentaje óptimo de AF	POF	56	Contenido de humedad AG	CHG	5,64	%		
DATOS TABLAS								
Relación W/C		0,7	CP%		POV + 2% + 11%(POV)			
3. CÁLCULOS								
Densidad real de la mezcla	DRM	2,09 g/cm ³	Cantidad de agua	W	273,57	lt		
Porcentaje óptimo de vacíos	POV	35,00 %	Cantidad de árido fino	AF	804,12	kg		
Cantidad de pasta	CP	408,50 dm ³	Cantidad de árido grueso	AG	342,32	kg		
Cantidad de cemento	C	390,81 kg	Densidad del hormigón	DH	1810,82	kg/m ³		
3. RESULTADOS								
Dosificación para F8_Ar con una resistencia media de 34 kg/cm² (28 Días) con corrección por humedad								
Sin corrección								
Con corrección x humedad								
Material	Cant. Kg @m ³ Hormigón	Dosific. al peso	Cant @ saco 50kg	Cant. Kg @m ³ Hormi correg	Al peso correg.	Cant @ saco 50kg	VASdm ³ @50kg	Dosif. X vol. F=b=h=3dm ³
W	273,57	0,70	35,0	300,9	0,77	38,5	---	38,5 lt
C	390,81	1,00	50,0	390,8	1,00	50,0	---	1,0 saco
AF	804,12	2,06	102,9	839,5	2,15	107,4	66,93	2,5 caj.
AG	342,32	0,88	43,8	256,5	0,66	32,8	65,63	2,4 caj.
Nota: A fin de controlar la relación W/C y la trabajabilidad, utilizar aditivo plastificante en las dosis indicadas								
4. DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN PARA FACHALETAS								
f'c:	34 kg/cm ² (28 Días)	Membrete:	F8_Ar					
Fecha y hora elab:		Cant. :	2 mold.					
Densid. teor. horm:	1810,82 kg/m ³	%Pérdida:	4					
DIMENSIONES MOLDES		Dosificación para 2 probetas con 4% de desperdicio						
Ø (mm):	47000	V (dm ³):	1,410					
h (mm) :	30	Vt (dm ³):	2,933					
Cantidad de hormigón (kg): 5310,77								
35x + x + 102,878x + 43,796x = 5310,767								
x (g)= 22,92								
Material	Dosif al peso	F8_Ar						
		Orig.	Adicionar	Dosif M.	Correg x hum.			
W	35,00	802,3	80,22 ml	0,77	882,5 cc			
C	50,00	1146,2	-----	1,00	1146,2 g			
AF	102,88	2358,3	103,8 g	2,15	2462,1 g			
AG	43,80	1004,0	-251,7 g	0,66	752,3 g			
					δt= 1787,74 kg/m ³			

Anexo 21. Dosificaciones base para moldes de fachaleta de Agregado de 3mm más arena




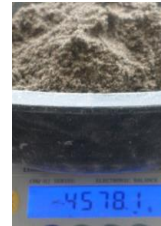




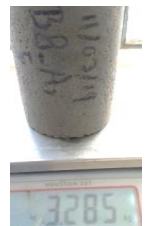
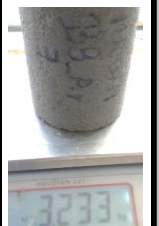
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Laboratorios de Ingeniería Civil								
DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN								
Método: Densidad Óptima		Fecha: 22/02/2019						
1. CONDICIONES DE DISEÑO								
f'c:	34 kg/cm ² (28 Días)	Identificación:	F3_Ar					
Asent:	9-12 cm	Árido Grueso:	3mm					
Cant:	1 m ³	Árido Fino:	Arena					
Cemento:	Hidráulico GU	Condición:	Dosificación base					
Realizado Por: Ing. Willan Castillo								
2. DATOS REQUERIDOS PARA LA DOSIFICACIÓN								
DATOS ENSAYOS PREVIOS								
Densidad real del cemento	DRC	2,89636 g/cm ³	Porcentaje óptimo de AG	POG	59	%		
Densidad real árido fino	DRF	2,697 g/cm ³	Densidad óptima mezcla	DOM	1,46	g/cm ³		
Densidad real árido grueso	DRG	2,122 g/cm ³	Capacidad de absorción AF	CAF	1,65	%		
Densidad suelta árido fino	DSF	1,605 g/cm ³	Capacidad de absorción AG	CAG	2,12	%		
Densidad suelta árido grueso	DSG	1,018 g/cm ³	Contenido de humedad AF	CHF	6,12	%		
Porcentaje óptimo de AF	POF	41	Contenido de humedad AG	CHG	3,21	%		
DATOS TABLAS								
Relación W/C		0,69	CP%		POV + 2% + 11% (POV)			
3. CÁLCULOS								
Densidad real de la mezcla	DRM	2,36 g/cm ³	Cantidad de agua	W	279,66	lt		
Porcentaje óptimo de vacíos	POV	36,00 %	Cantidad de árido fino	AF	641,87	kg		
Cantidad de pasta	CP	419,60 dm ³	Cantidad de árido grueso	AG	726,72	kg		
Cantidad de cemento	C	405,31 kg	Densidad del hormigón	DH	2053,55	kg/m ³		
3. RESULTADOS								
Dosificación para F3_Ar con una resistencia media de 34 kg/cm² (28 Días) con corrección por humedad								
Sin corrección								
Con corrección x humedad								
Material	Cant. Kg @m ³ Hormigón	Dosific. al peso	Cant @ saco 50kg	Cant. Kg @m ³ Hormi correg	Al peso correg.	Cant @ saco 50kg	VASdm ³ @ 50kg	Dosif. X vol. l=h=3dm ³
W	279,66	0,69	34,5	242,3	0,60	29,9	---	29,9 lt
C	405,31	1,00	50,0	405,3	1,00	50,0	---	1,0 saco
AF	641,87	1,58	79,2	670,1	1,65	82,7	51,51	1,9 caj.
AG	726,72	1,79	89,6	734,5	1,81	90,6	89,02	3,3 caj.
Nota: A fin de controlar la relación W/C y la trabajabilidad, utilizar aditivo plastificante en las dosis indicadas								
4. DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN PARA FACHALETAS								
f'c:	34 kg/cm ² (28 Días)	Membrete:	F3_Ar					
Fecha y hora elab:		Cant. :	2 mold.					
Densid. teor. horm:	2053,55 kg/m ³	%Pérdida:	4					
DIMENSIONES MOLDES		Dosificación para 2 probetas con 4% de desperdicio						
Ø (mm):	47000	V (dm ³):	1,410					
h (mm) :	30	Vt (dm ³):	2,933					
Cantidad de hormigón (kg): 6022,66								
34,5x + x + 79,182x + 89,65x = 6022,664								
x (g) = 23,77								
Material	Dosif al peso	F3_Ar						
W	34,50	Orig.	Adicionar	Dosif M.	Correg x hum.			
C	50,00	820,2	131,96 ml	0,80	952,2 cc			
AF	79,18	1188,7	-----	1,00	1188,7 g			
AG	89,65	1882,5	82,9 g	1,65	1965,3 g			
		2131,3	22,9 g	1,81	2154,2 g			
δt =				2134,60 kg/m ³				

Anexo 22. Dosificaciones base realizadas (fotografías)









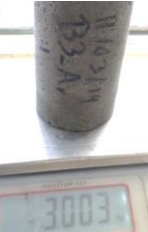

Agregado de 11mm + arena de río

Identificación: B11_Ar		Árido Grueso: 11mm		
Condición: Dosificación de prueba		Árido Fino: Arena		
Fecha y hora elab: 11/03/19 ;12:15pm		Realizado por: Ing. Willan Castillo		
Peso moldes		Cantidades de cemento, áridos finos y grueso		
				
B11_Ar-9	B11_Ar-3	C	AF (Arena)	AG de 11mm
Peso moldes + HF		Mezcla en estado fresco	Peso cilindros sss (7 días)	
				
B11_Ar-9	B11_Ar-3		B11_Ar-9	B11_Ar-3

Agregado de 8mm + arena de río


Identificación: B8_Ar		Árido Grueso: 8mm		
Condición: Dosificación de prueba		Árido Fino: Arena		
Fecha y hora elab: 11/03/19 ;13:20pm		Realizado por: Ing. Willan Castillo		
Peso moldes		Cantidades de cemento, áridos finos y grueso		
				
B8_Ar-5	B8_Ar-7	C	AF (Arena)	AG de 8mm
Peso moldes + HF		Mezcla en estado fresco	Peso cilindros sss (7 días)	
				
B8_Ar-5	B8_Ar-7		B8_Ar-5	B8_Ar-7

Agregado de 3mm + arena de río

Identificación: B3_Ar		Árido Grueso: 3mm		
Condición: Dosificación de prueba		Árido Fino: Arena		
Fecha y hora elab: 11/03/19 ;13:50pm		Realizado por: Ing. Willan Castillo		
Peso moldes		Cantidades de cemento, áridos finos y grueso		
				
B3_Ar-1	B3_Ar-6	C	AF (Arena)	AG de 3mm
Peso moldes + HF		Mezcla en estado fresco	Peso cilindros sss (7 días)	
				
B3_Ar-1	B3_Ar-6		B3_Ar-1	B3_Ar-6



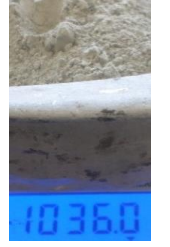

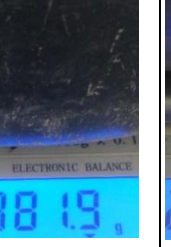
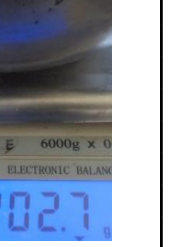



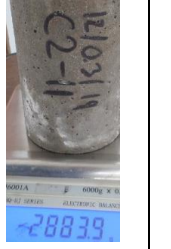
Anexo 23. Combinaciones base (Fotografías)

C1, Agregado de 11mm, 15% PET de 14mm y 85% arena

Identificación: C1		Árido Grueso: 11mm			
Condición: Dosificación de prueba #2		Árido Fino: Arena			
Fecha y hora elab: 11/03/19 ;14:20pm		Realizado por: Ing. Willan Castillo			
Peso moldes		C1, Agregado de 11mm, 15% PET de 14mm y 85% Grueso			
					
C1-2	C1-8	C	AF	AG	PET
Peso moldes + HF		Mezcla en estado fresco	Peso cilindros sss (7 días)		
					
C1-2	C1-8		C1-2	C1-8	









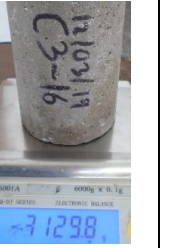
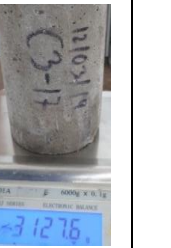
C2, agregado de 11mm, 25% PET de 14mm y 75% arena

Identificación: C2 **Árido Grueso:** 11mm
Condición: Dosificación de prueba #2 **Árido Fino:** Arena
Fecha y hora elab: 12/03/19 ;15:15pm **Realizado por:** Ing. Willan Castillo

Peso moldes		C2, Agregado de 11mm, 25% PET de 14mm y 75% Grueso			
					
C2-10	C2-11	C	AF	AG	PET
Peso moldes + HF		Peso cilindros sss (7 días)			
					
C2-10	C2-11	C2-10	C2-11		



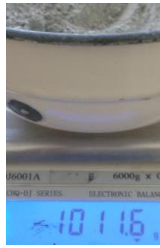

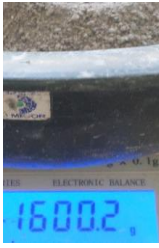




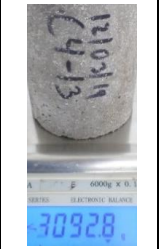
C3, Agregado de 8mm, 20% PET de 8mm y 80% arena

Identificación: C3 **Árido Grueso:** 8mm
Condición: Dosificación de prueba #2 **Árido Fino:** Arena
Fecha y hora elab: 12/03/19 ;15:50pm **Realizado por:** Ing. Willan Castillo

Peso moldes		C3, Agregado de 8mm, 20% PET de 8mm y 80% Grueso			
					
C3-16	C3-17	C	AF	AG	PET
Peso moldes + HF		Peso cilindros sss (7 días)			
					
C3-16	C3-17	C3-16	C3-17		











C4, Agregado de 3mm, 25% PET de 6mm y 75% arena

Identificación: C4	Árido Grueso: 3mm
Condición: Dosificación de prueba #2	Árido Fino: Arena
Fecha y hora elab: 12/03/19 ;17:15pm	Realizado por: Ing. Willan Castillo

Peso moldes		C4,Agregado de 3mm, 25% PET de 6mm y 75% Grueso			
					
C4-12	C4-13	C	AF	AG	PET
Peso moldes + HF		Peso cilindros sss (7 días)			
					
C4-12	C4-13	C4-12	C4-13		

C5, Agregado de 3mm, 15% PET de 8mm y 85% arena

Identificación: C5	Árido Grueso: 3mm
Condición: Dosificación de prueba #2	Árido Fino: Arena
Fecha y hora elab: 12/03/19 ;17:40pm	Realizado por: Ing. Willan Castillo



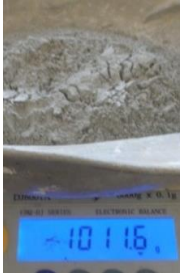





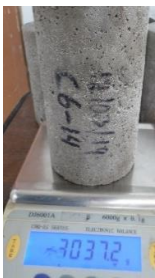
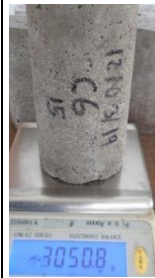
Peso moldes		C5,Agregado de 3mm, 15% PET de 8mm y 85% Grueso			
					
C5-18	C5-19	C	AF	AG	PET
Peso moldes + HF		Peso cilindros sss (7 días)			
					
C5-18	C5-19	C5-18	C5-19		

C6, agregado de 3mm, 25% PET de 14mm y 75% arena

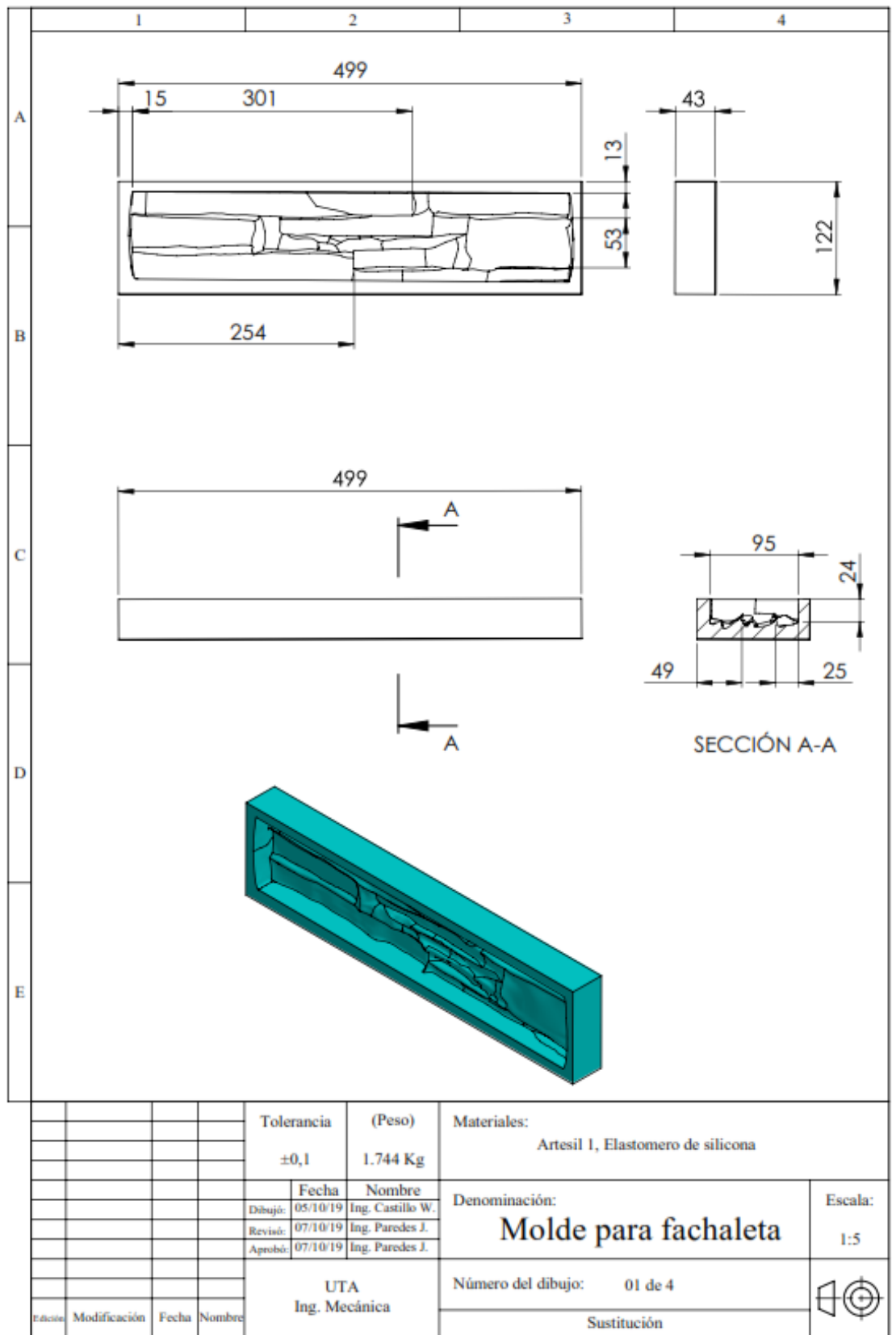
ANEXO FOTOGRÁFICO

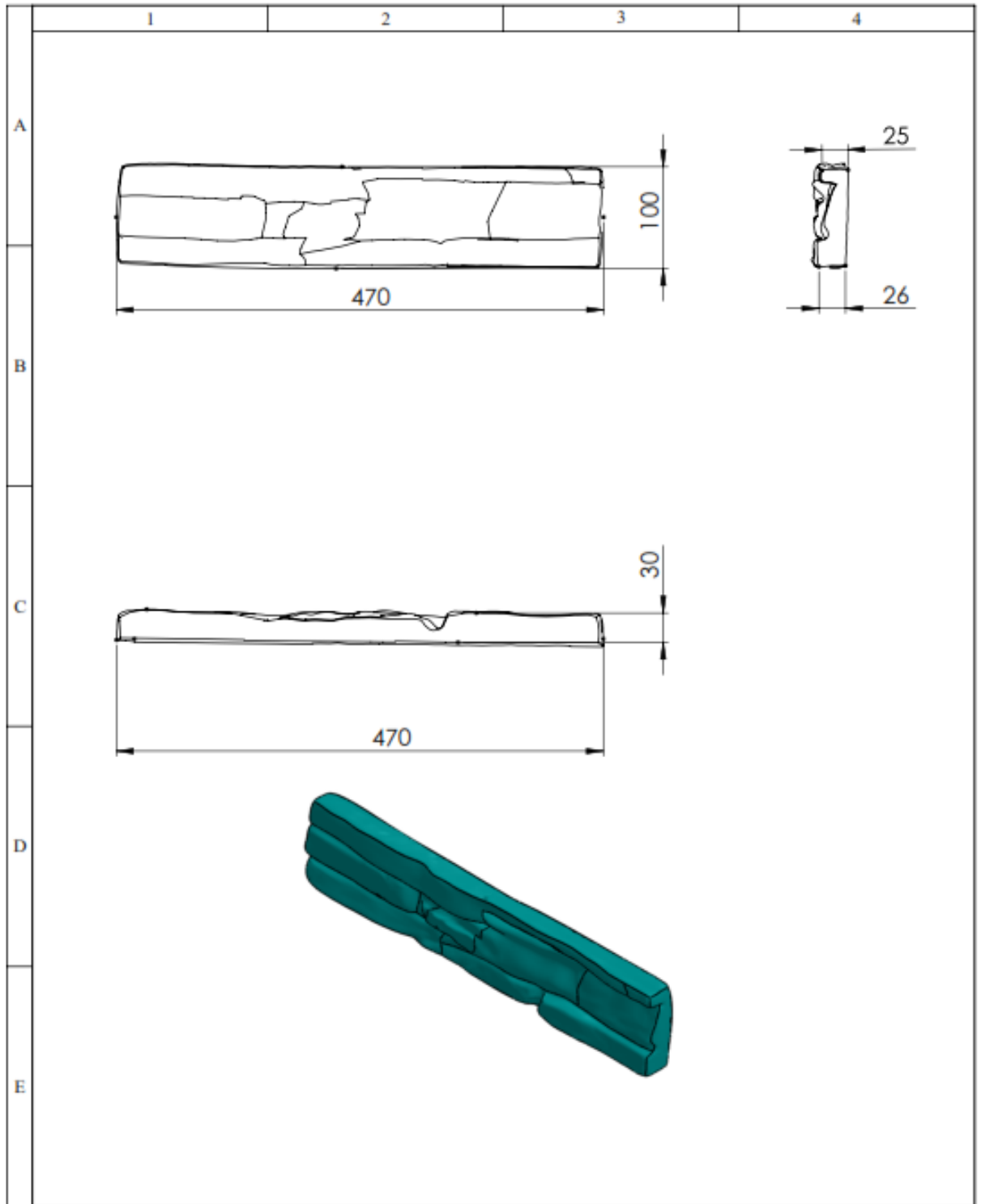
Identificación: C6
Condición: Dosificación de prueba #2
Fecha y hora elab: 12/03/19 ;18:00pm

Árido Grueso: 3mm
Árido Fino: Arena
Realizado por: Ing. Willan Castillo

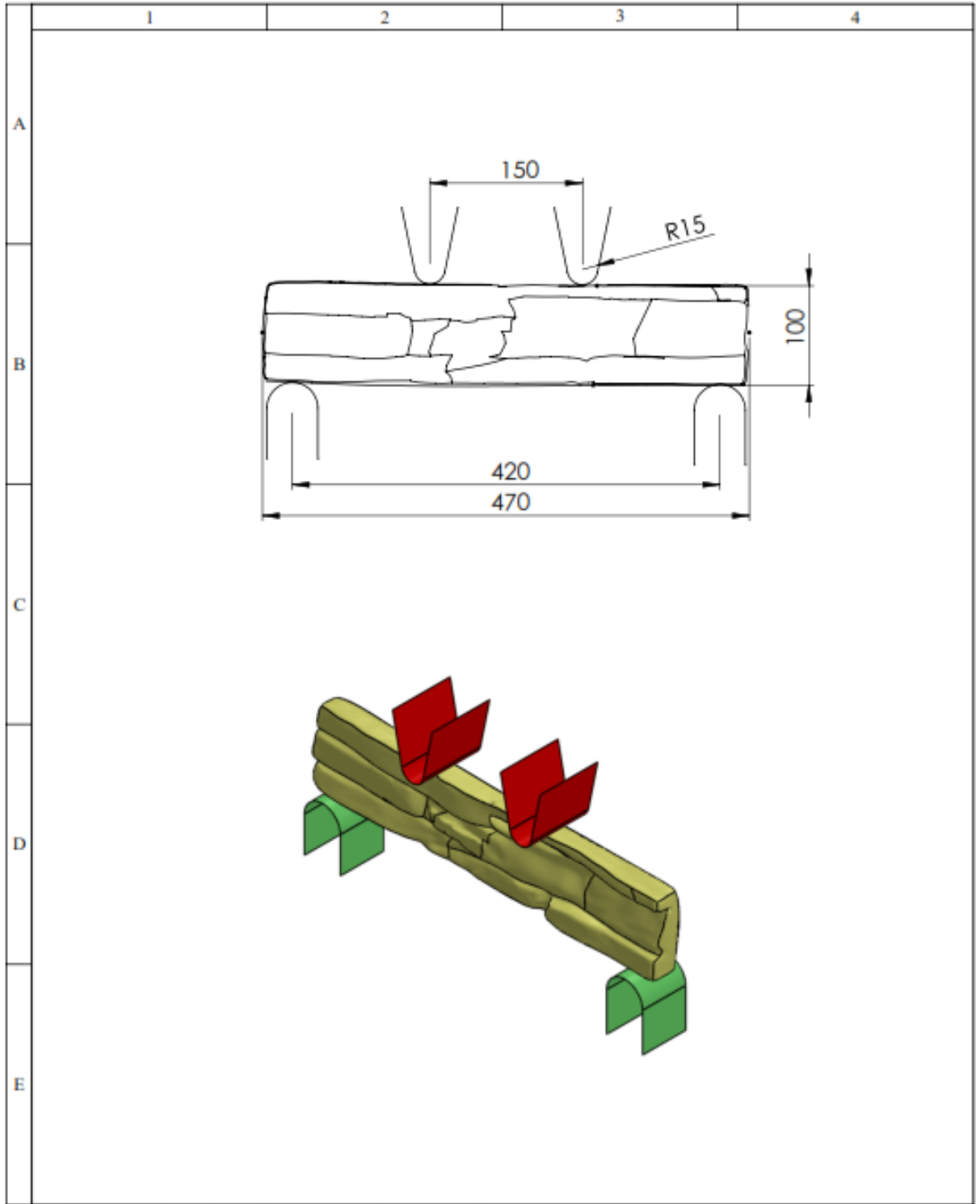
Peso moldes		C6, Agregado de 3mm, 25% PET de 14mm y 75% Grueso			
					
C6-14	C6-15	C	AF	AG	PET
Peso moldes + HF		Peso cilindros sss (7 días)			
					
C6-14	C6-15	C6-14	C6-15		

Anexo 24. Planos

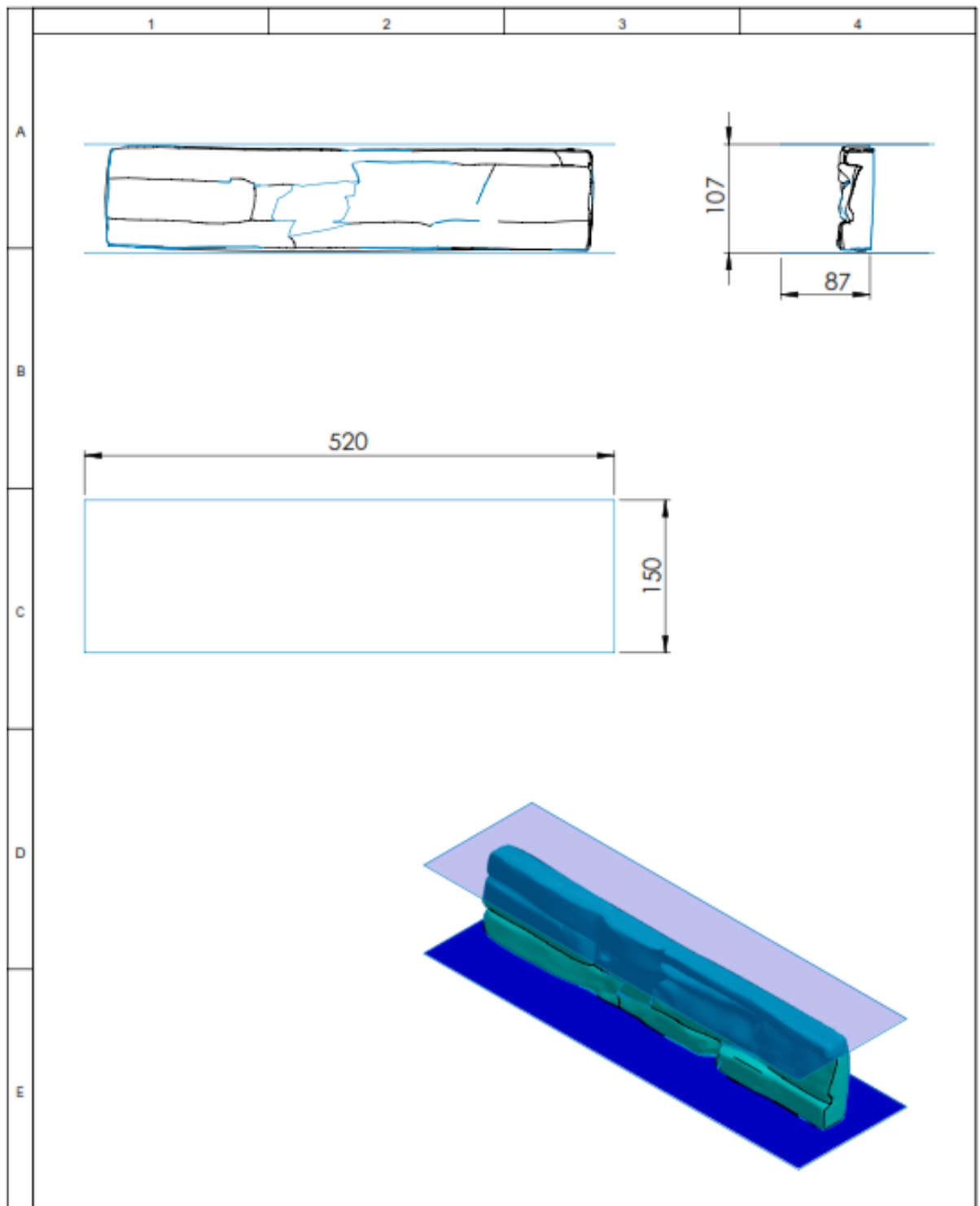




				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	1.520 Kg	Concreto más adición de triturado de plástico triturado de tereftalato de polietileno reciclado.	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
			Dibujó:	05/10/19	Ing. Castillo W.		
			Revisó:	07/10/19	Ing. Paredes J.		
				Aprobó:	07/10/19	Ing. Paredes J.	1:5
				UTA		Número del dibujo: 02 de 4	
				Ing. Mecánica		Sustitución	
razón	Modificación	Fecha	Nombre				




				Tolerancia	(Peso)	Materiales:		
				±0,1	1.520 Kg	-Concreto más adición de triturado de plástico triturado de tereftalato de polietileno reciclado. - Acero estructural		
				Fecha	Nombre	Denominación:		
				Dibujó: 05/10/19	Ing. Castillo W.	Ensayo a flexión		
				Revisó: 07/10/19	Ing. Paredes J.			Escala:
				Aprobó: 07/10/19	Ing. Paredes J.			1:5
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo:	03 de 4	
razón	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución		




				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	1.520 Kg	-Concreto más adición de triturado de plástico triturado de tereftalato de polietileno reciclado. - Acero estructural	
					Fecha	Nombre	Denominación:
				Dibujó:	05/10/19	Ing. Castillo W.	Ensayo a compresion
				Revisó:	07/10/19	Ing. Paredes J.	
				Aprobó:	07/10/19	Ing. Paredes J.	
				UTA		Número del dibujo:	Escala:
				Ing. Mecánica		04 de 4	1:5
E						Sustitución	

Anexo 25. Ensayos Realizados



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIOS



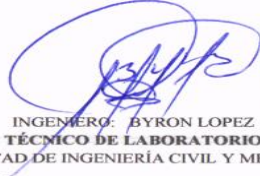
TEMA DE TESIS: OPTIMIZACIÓN MEDIANTE METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA DE LOS PARÁMETROS DE FABRICACIÓN DE FACHALETAS MEZCLANDO CONCRETO CON TRITURADO DE TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO Y SU INCIDENCIA EN LA RESISTENCIA MECÁNICA

TIPO DE ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN
NORMA: NTE INEN 2554


NÚMERO DE MUESTRAS: 25 Fachaletas **REALIZADO POR:** Ing. Willan Castillo Herrera
FECHA DE EXPEDICIÓN: 2 de Mayo del 2019


PROBETA	ESPESOR (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)	FUERZA (KN)	MÓDULO DE ROTURA MPa	FECHA DE:		DÍAS	IDENTIFICACIÓN
						ELABORACIÓN	ENSAYO		
1	100	30	470	0,86975	1,17416	19/03/2019	09/04/2019	21	1A
2	100	30	470	1,17747	1,59958	19/03/2019	09/04/2019	21	2A
3	100	30	470	0,89995	1,21493	19/03/2019	09/04/2019	21	3A
4	100	30	470	0,67902	0,91667	20/03/2019	10/04/2019	21	4A
5	100	30	470	0,79950	1,07932	20/03/2019	10/04/2019	21	5A
6	100	30	470	0,86975	1,17416	20/03/2019	10/04/2019	21	6A
7	100	30	470	0,42084	0,56820	21/03/2019	11/04/2019	21	7A
8	100	30	470	0,47620	0,64287	21/03/2019	11/04/2019	21	8A
9	100	30	470	0,85417	1,15314	21/03/2019	11/04/2019	21	9A
10	100	30	470	0,68601	0,92611	22/03/2019	12/04/2019	21	10A
11	100	30	470	0,54550	0,73643	22/03/2019	12/04/2019	21	11A
12	100	30	470	0,43996	0,59395	22/03/2019	12/04/2019	21	12A
13	100	30	470	0,72416	0,97761	25/03/2019	15/04/2019	21	13A
14	100	30	470	0,69745	0,94156	25/03/2019	15/04/2019	21	14A
15	100	30	470	0,58142	0,78492	25/03/2019	15/04/2019	21	15A
16	100	30	470	0,56903	0,76818	26/03/2019	16/04/2019	21	16A
17	100	30	470	0,58174	0,78535	26/03/2019	16/04/2019	21	17A
18	100	30	470	0,51117	0,69008	26/03/2019	16/04/2019	21	18A
19	100	30	470	0,70222	0,94800	27/03/2019	17/04/2019	21	19A
20	100	30	470	0,83733	1,13039	27/03/2019	17/04/2019	21	20A
21	100	30	470	0,68188	0,92053	27/03/2019	17/04/2019	21	21A
22	100	30	470	1,07066	1,44539	28/03/2019	18/04/2019	21	22A
23	100	30	470	1,08274	1,46170	28/03/2019	18/04/2019	21	23A
24	100	30	470	1,01980	1,37672	28/03/2019	18/04/2019	21	24A
25	100	30	470	0,94223	1,27201	29/03/2019	19/04/2019	21	25A

Nota: La toma y entrega de muestras, fechas de elaboración, identificación y especificación son de estricta responsabilidad de la persona o entidad contratante




INGENIERO: BYRON LOPEZ
TÉCNICO DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA





INGENIERO: LENIN GALARZA
AUXILIAR DE LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES FICM
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIOS



TEMA DE TESIS: OPTIMIZACIÓN MEDIANTE METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA DE LOS PARÁMETROS DE FABRICACIÓN DE FACHALETAS MEZCLANDO CONCRETO CON TRITURADO DE TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO Y SU INCIDENCIA EN LA RESISTENCIA MECÁNICA

TIPO DE ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN



NORMA: NTE INEN 2554


NÚMERO DE MUESTRAS: 20 Fachaletas
FECHA DE EXPEDICIÓN: 2 de Mayo del 2019

REALIZADO POR: Ing. Willan Castillo Herrera

PROBETA	ESPOSOR (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)	FUERZA (KN)	MÓDULO DE ROTURA MPa	FECHA DE:		DÍAS	IDENTIFICACIÓN
						ELABORACIÓN	ENSAYO		
26	100	30	470	0,84623	1,14241	29/03/2019	19/04/2019	21	26A
27	100	30	470	0,84686	1,14327	29/03/2019	19/04/2019	21	27A
28	100	30	470	0,51435	0,69437	01/04/2019	22/04/2019	21	28A
29	100	30	470	0,77693	1,04885	01/04/2019	22/04/2019	21	29A
30	100	30	470	0,37130	0,50125	01/04/2019	22/04/2019	21	30A
31	100	30	470	0,64214	0,86689	02/04/2019	23/04/2019	21	31A
32	100	30	470	1,07479	1,45097	02/04/2019	23/04/2019	21	32A
33	100	30	470	0,67900	0,91665	02/04/2019	23/04/2019	21	33A
34	100	30	470	0,85704	1,15700	03/04/2019	24/04/2019	21	34A
35	100	30	470	1,12979	1,52521	03/04/2019	24/04/2019	21	35A
36	100	30	470	0,84050	1,13468	03/04/2019	24/04/2019	21	36A
37	100	30	470	0,78964	1,06602	04/04/2019	25/04/2019	21	37A
38	100	30	470	0,64023	0,86432	04/04/2019	25/04/2019	21	38A
39	100	30	470	0,73147	0,98748	04/04/2019	25/04/2019	21	39A
40	100	30	470	0,63324	0,85487	05/04/2019	26/04/2019	21	40A
41	100	30	470	0,86530	1,16816	05/04/2019	26/04/2019	21	41A
42	100	30	470	0,72734	0,98190	05/04/2019	26/04/2019	21	42A
43	100	30	470	0,71748	0,96860	08/04/2019	29/04/2019	21	43A
44	100	30	470	0,72320	0,97632	08/04/2019	29/04/2019	21	44A
45	100	30	470	0,73814	0,99649	08/04/2019	29/04/2019	21	45A

Nota: La toma y entrega de muestras, fechas de elaboración, identificación y especificación son de estricta responsabilidad de la persona o entidad contratante


INGENIERO: BYRON LOPEZ
TÉCNICO DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



INGENIERO: LENIN GALARZA
AUXILIAR DE LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES FICM
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA




UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIOS



TEMA DE TESIS: OPTIMIZACIÓN MEDIANTE METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA DE LOS PARÁMETROS DE FABRICACIÓN DE FACHALETAS MEZCLANDO CONCRETO CON TRITURADO DE TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADO Y SU INCIDENCIA EN LA RESISTENCIA MECÁNICA

TIPO DE ENSAYO: ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS

NORMA: NTE INEN 1 573

NÚMERO DE MUESTRAS: 25 Fachaletas

REALIZADO POR: Ing. Willan Castillo Herrera

FECHA DE EXPEDICIÓN: 2 de Mayo del 2019

PROBETA	ÁREA (cm ²)	ALTURA (cm)	FUERZA (KN)	ESFUERZO MPa	FECHA DE:		DÍAS	IDENTIFICACIÓN
					ELABORACIÓN	ENSAYO		
1	141	10	42,9000	3,04255	19/03/2019	09/04/2019	21	1B
2	141	10	50,5000	3,58156	19/03/2019	09/04/2019	21	2B
3	141	10	58,3000	4,13475	19/03/2019	09/04/2019	21	3B
4	141	10	32,6000	2,31205	20/03/2019	10/04/2019	21	4B
5	141	10	50,5000	3,58156	20/03/2019	10/04/2019	21	5B
6	141	10	34,9000	2,47517	20/03/2019	10/04/2019	21	6B
7	141	10	33,2889	2,36099	21/03/2019	11/04/2019	21	7B
8	141	10	58,7095	4,16379	21/03/2019	11/04/2019	21	8B
9	141	10	57,6251	4,08689	21/03/2019	11/04/2019	21	9B
10	141	10	39,6185	2,80982	22/03/2019	12/04/2019	21	10B
11	141	10	39,3438	2,79034	22/03/2019	12/04/2019	21	11B
12	141	10	25,4787	1,80700	22/03/2019	12/04/2019	21	12B
13	141	10	42,3110	3,00078	25/03/2019	15/04/2019	21	13B
14	141	10	57,5549	4,08191	25/03/2019	15/04/2019	21	14B
15	141	10	35,3308	2,50573	25/03/2019	15/04/2019	21	15B
16	141	10	39,0781	2,77150	26/03/2019	16/04/2019	21	16B
17	141	10	43,2673	3,06860	26/03/2019	16/04/2019	21	17B
18	141	10	41,1841	2,92086	26/03/2019	16/04/2019	21	18B
19	141	10	36,3973	2,58137	27/03/2019	17/04/2019	21	19B
20	141	10	46,8009	3,31922	27/03/2019	17/04/2019	21	20B
21	141	10	45,3800	3,21844	27/03/2019	17/04/2019	21	21B
22	141	10	51,1176	3,62536	28/03/2019	18/04/2019	21	22B
23	141	10	57,3546	4,06770	28/03/2019	18/04/2019	21	23B
24	141	10	56,1667	3,98345	28/03/2019	18/04/2019	21	24B
25	141	10	34,4038	2,43999	29/03/2019	19/04/2019	21	25B

Nota: Revisar resistencias para distintos días de edad
7 días (65%-75%) de la resistencia especificada
14 días (80%-90%) de la resistencia especificada
21 días (90%-100%) de la resistencia especificada

La toma y entrega de muestras, fecha de elaboración, identificación y especificación son de estricta responsabilidad de la persona o entidad contratante

INGENIERO: BYRON LOPEZ
TÉCNICO DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



INGENIERO: LENIN GALARZA
AUXILIAR DE LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES FICM
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIOS



TEMA DE TESIS: OPTIMIZACIÓN MEDIANTE METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA DE LOS PARÁMETROS DE FABRICACIÓN DE FACHALETAS MEZCLANDO CONCRETO CON TRITURADO DE TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO Y SU INCIDENCIA EN LA RESISTENCIA MECÁNICA
TIPO DE ENSAYO: ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS
NORMA: NTE INEN 1 573

NÚMERO DE MUESTRAS: 20 Fachaletas

REALIZADO POR: Ing. Willan Castillo Herrera

FECHA DE EXPEDICIÓN: 2 de Mayo del 2019

PROBETA	ÁREA	ALTURA	FUERZA	ESFUERZO	FECHA DE:		DÍAS	IDENTIFICACIÓN
					ELABORACIÓN	ENSAYO		
N°	(cm ²)	(cm)	(KN)	MPa				
26	141	10	41,2626	2,92643	29/03/2019	19/04/2019	21	26B
27	141	10	42,3508	3,00360	29/03/2019	19/04/2019	21	27B
28	141	10	42,0141	2,97973	01/04/2019	22/04/2019	21	28B
29	141	10	42,5860	3,02028	01/04/2019	22/04/2019	21	29B
30	141	10	28,7024	2,03563	01/04/2019	22/04/2019	21	30B
31	141	10	40,6342	2,88186	02/04/2019	23/04/2019	21	31B
32	141	10	51,9985	3,68783	02/04/2019	23/04/2019	21	32B
33	141	10	58,1640	4,12510	02/04/2019	23/04/2019	21	33B
34	141	10	54,3448	3,85424	03/04/2019	24/04/2019	21	34B
35	141	10	58,0594	4,11769	03/04/2019	24/04/2019	21	35B
36	141	10	53,7386	3,81125	03/04/2019	24/04/2019	21	36B
37	141	10	60,8228	4,31367	04/04/2019	25/04/2019	21	37B
38	141	10	38,8715	2,75684	04/04/2019	25/04/2019	21	38B
39	141	10	38,8165	2,75294	04/04/2019	25/04/2019	21	39B
40	141	10	38,8009	2,75184	05/04/2019	26/04/2019	21	40B
41	141	10	46,1404	3,27237	05/04/2019	26/04/2019	21	41B
42	141	10	58,8147	3,88756	05/04/2019	26/04/2019	21	42B
43	141	10	56,5440	4,01021	08/04/2019	29/04/2019	21	43B
44	141	10	51,1939	3,63077	08/04/2019	29/04/2019	21	44B
45	141	10	51,1011	3,62419	08/04/2019	29/04/2019	21	45B

Nota: Revisar resistencias para distintos días de edad
7 días (65%-75%) de la resistencia especificada
14 días (80%-90%) de la resistencia especificada
21 días (90%-100%) de la resistencia especificada

La toma y entrega de muestras, fecha de elaboración, identificación y especificación son de estricta responsabilidad de la persona o entidad contratante

INGENIERO: BYRON LOPEZ
TÉCNICO DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



INGENIERO: LENIN GALARZA
AUXILIAR DE LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES FICM
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIOS



TEMA DE TESIS: OPTIMIZACIÓN MEDIANTE METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA DE LOS PARÁMETROS DE FABRICACIÓN DE FACHALETAS MEZCLANDO CONCRETO CON TRITURADO DE TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO Y SU INCIDENCIA EN LA RESISTENCIA MECÁNICA

TIPO DE ENSAYO: ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS

NORMA: NTE INEN 1 573

NÚMERO DE MUESTRAS: 6 Cilindros

REALIZADO POR: Ing. Willan Castillo

FECHA DE EXPEDICIÓN : 20 de Marzo del 2019

PROBETA	DIÁMETRO	ALTURA	ÁREA	ESFUERZO	FECHA DE:		DÍAS	IDENTIFICACIÓN
					ELABORACIÓN	ENSAYO		
N°	(cm)	(cm)	(cm ²)	MPa				
1	10,30	19,80	83,32	5,34	11/03/19	18/03/19	7	B11_Ar-9
2	10,30	20,10	83,32	5,22	11/03/19	18/03/19	7	B11_Ar-3
3	10,30	20,20	83,32	5,02	11/03/19	18/03/19	7	B8_Ar-5
4	10,30	19,90	83,32	4,98	11/03/19	18/03/19	7	B8_Ar-7
5	9,90	20,00	76,98	2,79	11/03/19	18/03/19	7	B3_Ar-1
6	10,30	20,05	83,32	3,13	11/03/19	18/03/19	7	B3_Ar-6


Nota: Revisar resistencias para distintos días de edad

7 días (65%-75%) de la resistencia especificada


14 días (80%-90%) de la resistencia especificada

21 días (90%-100%) de la resistencia especificada

La toma y entrega de muestras, fecha de elaboración, identificación y especificación son de estricta responsabilidad de la persona o entidad contratante


INGENIERO: BYRON LOPEZ
TÉCNICO DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA




INGENIERO: LENIN GALARZA
AUXILIAR DE LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES FICM
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA U.T.A.





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIOS



TEMA DE TESIS: OPTIMIZACIÓN MEDIANTE METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA DE LOS PARÁMETROS DE FABRICACIÓN DE FACHALETAS MEZCLANDO CONCRETO CON TRITURADO DE TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO Y SU INCIDENCIA EN LA RESISTENCIA MECÁNICA

TIPO DE ENSAYO: ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS

NORMA: NTE INEN 1 573

NÚMERO DE MUESTRAS: 12 Cilindros

REALIZADO POR: Ing. Willan Castillo Herrera

FECHA DE EXPEDICIÓN : 20 de Marzo del 2019

PROBETA	DIÁMETRO	ALTURA	ÁREA	ESFUERZO	FECHA DE:		DÍAS	IDENTIFICACIÓN
					ELABORACIÓN	ENSAYO		
N°	(cm)	(cm)	(cm ²)	MPa				
1	10,30	20,00	83,32	5,20	11/03/2019	18/03/2019	7	C1-2
2	10,30	20,00	83,32	5,42	12/03/2019	19/03/2019	7	C1-8
3	10,15	20,05	80,91	4,35	12/03/2019	19/03/2019	7	C2-10
4	10,13	19,90	80,60	4,14	12/03/2019	19/03/2019	7	C2-11
5	10,15	20,00	80,91	4,42	12/03/2019	19/03/2019	7	C3-16
6	10,13	20,05	80,60	4,24	12/03/2019	19/03/2019	7	C3-17
7	10,10	20,00	80,12	3,16	12/03/2019	19/03/2019	7	C4-12
8	10,10	20,00	80,12	3,30	12/03/2019	19/03/2019	7	C4-13
9	10,10	20,05	80,12	2,85	12/03/2019	19/03/2019	7	C5-18
10	10,10	19,95	80,12	2,56	12/03/2019	19/03/2019	7	C5-19
11	10,10	20,00	80,12	3,31	12/03/2019	19/03/2019	7	C6-14
12	10,10	20,10	80,12	3,23	12/03/2019	19/03/2019	7	C6-15


Nota: Revisar resistencias para distintos días de edad


7 días (65%-75%) de la resistencia especificada

14 días (80%-90%) de la resistencia especificada

21 días (90%-100%) de la resistencia especificada

La toma y entrega de muestras, fecha de elaboración, identificación y especificación son de estricta responsabilidad de la persona o entidad contratada.


INGENIERO: BYRON LOPEZ
TÉCNICO DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA




INGENIERO: LENIN GALARZA
AUXILIAR DE LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES FICM
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIOS



TEMA DE TESIS: OPTIMIZACIÓN MEDIANTE METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA DE LOS PARÁMETROS DE FABRICACIÓN DE FACHALETAS MEZCLANDO CONCRETO CON TRITURADO DE TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO Y SU INCIDENCIA EN LA RESISTENCIA MECÁNICA

TIPO DE ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN

NORMA: NTE INEN 2554

NÚMERO DE MUESTRAS: 4 Fachaletas Comerciales

REALIZADO POR: Ing. Willan Castillo Herrera

FECHA DE EXPEDICIÓN: 15 de Enero del 2019

PROBETA	ESPESOR	ANCHO	LARGO	FUERZA	MÓDULO DE ROTURA	FECHA DE ENSAYO	IDENTIFICACIÓN
N°	(mm)	(mm)	(mm)	(KN)	MPa		
1	100	30	470	0,03846	0,05193	12/01/2019	CA1
2	100	30	470	0,94986	0,12665	12/01/2019	CA2
3	100	30	470	0,66800	0,50100	12/01/2019	CA3
4	100	30	470	0,52134	0,70381	12/01/2019	CA4

Nota: La toma y entrega de muestras, fechas de elaboración, identificación y especificación son de estricta responsabilidad de la persona o entidad contratante

INGENIERO: BYRON LOPEZ
TÉCNICO DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



INGENIERO: LENIN GALARZA
AUXILIAR DE LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIOS



TEMA DE TESIS: OPTIMIZACIÓN MEDIANTE METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA DE LOS PARÁMETROS DE FABRICACIÓN DE FACHALETAS MEZCLANDO CONCRETO CON TRITURADO DE TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO Y SU INCIDENCIA EN LA RESISTENCIA MECÁNICA


TIPO DE ENSAYO: ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS
NORMA: NTE INEN 1573


NÚMERO DE MUESTRAS: 4 Fachaletas Comerciales
FECHA DE EXPEDICIÓN: 15 de Enero del 2019

REALIZADO POR: Ing. Willan Castillo Herrera

PROBETA	ÁREA	ALTURA	FUERZA	ESFUERZO	FECHA DE ENSAYO	IDENTIFICACIÓN
N°	(cm ²)	(cm)	(KN)	MPa		
1	141	10	30,00000	1,35000	12/01/2019	CB1
2	141	10	31,60000	1,43000	12/01/2019	CB2
3	141	10	37,10000	1,68000	12/01/2019	CB3
4	141	10	28,81650	2,04373	12/01/2019	CB4

Nota : Revisar resistencias para distintos días de edad
7 días (65%-75%) de la resistencia especificada
14 días (80%-90%) de la resistencia especificada
21 días (90%-100%) de la resistencia especificada
La toma y entrega de muestras, fecha de elaboración, identificación y especificación son de estricta responsabilidad de la persona o entidad contratante


INGENIERO: BYRON LOPEZ
TÉCNICO DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA




INGENIERO: LENIN GALARZA
AUXILIAR DE LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES FICM
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIOS



TEMA DE TESIS: OPTIMIZACIÓN MEDIANTE METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA DE LOS PARÁMETROS DE FABRICACIÓN DE FACHALETAS MEZCLANDO CONCRETO CON TRITURADO DE TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADO Y SU INCIDENCIA EN LA RESISTENCIA MECÁNICA

TIPO DE ENSAYO: PESO DE FACHALETAS DE CONCRETO MÁS LA ADICIÓN DE TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADO PARA REALIZAR ENSAYO A FLEXIÓN DE 4 PUNTOS

NÚMERO DE MUESTRAS: 25 Fachaletas

REALIZADO POR: Ing. Willan Castillo Herrera

FECHA DE EXPEDICIÓN: 20 de Mayo del 2019

PROBETA N°	ESPESOR (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)	PESO DE FACHALETAS (Kg)	FECHA DE:		DÍAS	IDENTIFICACIÓN
					ELABORACIÓN	ENSAYO		
1	100	30	470	1,780	19/03/2019	09/04/2019	21	1A
2	100	30	470	1,850	19/03/2019	09/04/2019	21	2A
3	100	30	470	1,800	19/03/2019	09/04/2019	21	3A
4	100	30	470	1,820	20/03/2019	10/04/2019	21	4A
5	100	30	470	1,720	20/03/2019	10/04/2019	21	5A
6	100	30	470	1,740	20/03/2019	10/04/2019	21	6A
7	100	30	470	1,630	21/03/2019	11/04/2019	21	7A
8	100	30	470	1,850	21/03/2019	11/04/2019	21	8A
9	100	30	470	1,810	21/03/2019	11/04/2019	21	9A
10	100	30	470	1,770	22/03/2019	12/04/2019	21	10A
11	100	30	470	1,650	22/03/2019	12/04/2019	21	11A
12	100	30	470	1,690	22/03/2019	12/04/2019	21	12A
13	100	30	470	1,780	25/03/2019	15/04/2019	21	13A
14	100	30	470	1,740	25/03/2019	15/04/2019	21	14A
15	100	30	470	1,780	25/03/2019	15/04/2019	21	15A
16	100	30	470	1,740	26/03/2019	16/04/2019	21	16A
17	100	30	470	1,640	26/03/2019	16/04/2019	21	17A
18	100	30	470	1,700	26/03/2019	16/04/2019	21	18A
19	100	30	470	1,660	27/03/2019	17/04/2019	21	19A
20	100	30	470	1,840	27/03/2019	17/04/2019	21	20A
21	100	30	470	1,770	27/03/2019	17/04/2019	21	21A
22	100	30	470	1,610	28/03/2019	18/04/2019	21	22A
23	100	30	470	1,810	28/03/2019	18/04/2019	21	23A
24	100	30	470	1,720	28/03/2019	18/04/2019	21	24A
25	100	30	470	1,520	29/03/2019	19/04/2019	21	25A

Nota: La toma y entrega de muestras, fechas de elaboración, identificación y especificación son de estricta responsabilidad de la persona o entidad contratante

INGENIERO: BYRON LOPEZ
TÉCNICO DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



INGENIERO: LENIN GALARZA
AUXILIAR DE LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES FICM
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIOS



TEMA DE TESIS: OPTIMIZACIÓN MEDIANTE METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA DE LOS PARÁMETROS DE FABRICACIÓN DE FACHALETAS MEZCLANDO CONCRETO CON TRITURADO DE TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADO Y SU INCIDENCIA EN LA RESISTENCIA MECÁNICA

TIPO DE ENSAYO: PESO DE FACHALETAS DE CONCRETO MÁS LA ADICIÓN DE TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADO PARA REALIZAR ENSAYO A FLEXIÓN DE 4 PUNTOS

NÚMERO DE MUESTRAS: 20 Fachaletas

REALIZADO POR: Ing. Willan Castillo Herrera

FECHA DE EXPEDICIÓN: 20 de Mayo del 2019

PROBETA N°	ESPESOR (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)	PESO DE FACHALETAS (Kg)	FECHA DE:		DÍAS	IDENTIFICACIÓN
					ELABORACIÓN	ENSAYO		
26	100	30	470	1,620	19/03/2019	09/04/2019	21	26A
27	100	30	470	1,670	19/03/2019	09/04/2019	21	27A
28	100	30	470	1,740	19/03/2019	09/04/2019	21	28A
29	100	30	470	1,730	20/03/2019	10/04/2019	21	29A
30	100	30	470	1,170	20/03/2019	10/04/2019	21	30A
31	100	30	470	1,540	20/03/2019	10/04/2019	21	31A
32	100	30	470	1,740	21/03/2019	11/04/2019	21	32A
33	100	30	470	1,730	21/03/2019	11/04/2019	21	33A
34	100	30	470	1,720	21/03/2019	11/04/2019	21	34A
35	100	30	470	1,790	22/03/2019	12/04/2019	21	35A
36	100	30	470	1,690	22/03/2019	12/04/2019	21	36A
37	100	30	470	1,650	22/03/2019	12/04/2019	21	37A
38	100	30	470	1,690	25/03/2019	15/04/2019	21	38A
39	100	30	470	1,620	25/03/2019	15/04/2019	21	39A
40	100	30	470	1,620	25/03/2019	15/04/2019	21	40A
41	100	30	470	1,570	26/03/2019	16/04/2019	21	41A
42	100	30	470	1,640	26/03/2019	16/04/2019	21	42A
43	100	30	470	1,760	26/03/2019	16/04/2019	21	43A
44	100	30	470	1,640	27/03/2019	17/04/2019	21	44A
45	100	30	470	1,620	27/03/2019	17/04/2019	21	45A

Nota: La toma y entrega de muestras, fechas de elaboración, identificación y especificación son de estricta responsabilidad de la persona o entidad contratante

INGENIERO: BYRON LOPEZ
TÉCNICO DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



INGENIERO: LENIN GALARZA
AUXILIAR DE LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIOS



TEMA DE TESIS: OPTIMIZACIÓN MEDIANTE METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA DE LOS PARÁMETROS DE FABRICACIÓN DE FACHALETAS MEZCLANDO CONCRETO CON TRITURADO DE TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADO Y SU INCIDENCIA EN LA RESISTENCIA MECÁNICA

TIPO DE ENSAYO: PESO DE FACHALETAS DE CONCRETO MÁS LA ADICIÓN DE TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADO PARA REALIZAR ENSAYO A COMPRESIÓN

NÚMERO DE MUESTRAS: 25 Fachaletas



REALIZADO POR: Ing. Willan Castillo Herrera

FECHA DE EXPEDICIÓN: 20 de Mayo del 2019

PROBETA	ESPESOR (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)	PESO DE FACHALETAS (Kg)	FECHA DE:		DÍAS	IDENTIFICACIÓN
					ELABORACIÓN	ENSAYO		
1	100	30	470	1,790	19/03/2019	09/04/2019	21	1B
2	100	30	470	1,790	19/03/2019	09/04/2019	21	2B
3	100	30	470	1,890	19/03/2019	09/04/2019	21	3B
4	100	30	470	1,880	20/03/2019	10/04/2019	21	4B
5	100	30	470	1,740	20/03/2019	10/04/2019	21	5B
6	100	30	470	1,770	20/03/2019	10/04/2019	21	6B
7	100	30	470	1,580	21/03/2019	11/04/2019	21	7B
8	100	30	470	1,870	21/03/2019	11/04/2019	21	8B
9	100	30	470	1,800	21/03/2019	11/04/2019	21	9B
10	100	30	470	1,690	22/03/2019	12/04/2019	21	10B
11	100	30	470	1,760	22/03/2019	12/04/2019	21	11B
12	100	30	470	1,870	22/03/2019	12/04/2019	21	12B
13	100	30	470	1,850	25/03/2019	15/04/2019	21	13B
14	100	30	470	1,780	25/03/2019	15/04/2019	21	14B
15	100	30	470	1,770	25/03/2019	15/04/2019	21	15B
16	100	30	470	1,770	26/03/2019	16/04/2019	21	16B
17	100	30	470	1,610	26/03/2019	16/04/2019	21	17B
18	100	30	470	1,720	26/03/2019	16/04/2019	21	18B
19	100	30	470	1,620	27/03/2019	17/04/2019	21	19B
20	100	30	470	1,790	27/03/2019	17/04/2019	21	20B
21	100	30	470	1,780	27/03/2019	17/04/2019	21	21B
22	100	30	470	1,550	28/03/2019	18/04/2019	21	22B
23	100	30	470	1,730	28/03/2019	18/04/2019	21	23B
24	100	30	470	1,760	28/03/2019	18/04/2019	21	24B
25	100	30	470	1,530	29/03/2019	19/04/2019	21	25B

Nota: La toma y entrega de muestras, fechas de elaboración, identificación y especificación son de estricta responsabilidad de la persona o entidad contratante


INGENIERO: BYRON LOPEZ
TÉCNICO DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



INGENIERO: LENIN GALARZA
AUXILIAR DE LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES FICM
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA




UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIOS



TEMA DE TESIS: OPTIMIZACIÓN MEDIANTE METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA DE LOS PARÁMETROS DE FABRICACIÓN DE FACHALETAS MEZCLANDO CONCRETO CON TRITURADO DE TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADO Y SU INCIDENCIA EN LA RESISTENCIA MECÁNICA

TIPO DE ENSAYO: PESO DE FACHALETAS DE CONCRETO MÁS LA ADICIÓN DE TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADO PARA REALIZAR ENSAYO A COMPRESIÓN

NÚMERO DE MUESTRAS: 20 Fachaletas

REALIZADO POR: Ing. Willan Castillo Herrera

FECHA DE EXPEDICIÓN: 20 de Mayo del 2019

PROBETA	ESPESOR (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)	PESO DE FACHALETAS (Kg)	FECHA DE:		DÍAS	IDENTIFICACIÓN
					ELABORACIÓN	ENSAYO		
26	100	30	470	1,640	19/03/2019	09/04/2019	21	26B
27	100	30	470	1,730	19/03/2019	09/04/2019	21	27B
28	100	30	470	1,740	19/03/2019	09/04/2019	21	28B
29	100	30	470	1,700	20/03/2019	10/04/2019	21	29B
30	100	30	470	1,690	20/03/2019	10/04/2019	21	30B
31	100	30	470	1,620	20/03/2019	10/04/2019	21	31B
32	100	30	470	1,680	21/03/2019	11/04/2019	21	32B
33	100	30	470	1,700	21/03/2019	11/04/2019	21	33B
34	100	30	470	1,660	21/03/2019	11/04/2019	21	34B
35	100	30	470	1,730	22/03/2019	12/04/2019	21	35B
36	100	30	470	1,700	22/03/2019	12/04/2019	21	36B
37	100	30	470	1,700	22/03/2019	12/04/2019	21	37B
38	100	30	470	1,700	25/03/2019	15/04/2019	21	38B
39	100	30	470	1,640	25/03/2019	15/04/2019	21	39B
40	100	30	470	1,620	25/03/2019	15/04/2019	21	40B
41	100	30	470	1,600	26/03/2019	16/04/2019	21	41B
42	100	30	470	1,640	26/03/2019	16/04/2019	21	42B
43	100	30	470	1,730	26/03/2019	16/04/2019	21	43B
44	100	30	470	1,670	27/03/2019	17/04/2019	21	44B
45	100	30	470	1,670	27/03/2019	17/04/2019	21	45B

Nota: La toma y entrega de muestras, fechas de elaboración, identificación y especificación son de estricta responsabilidad de la persona o entidad contratante


INGENIERO: BYRON LOPEZ
TÉCNICO DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA




INGENIERO: LENIN GALARZA
AUXILIAR DE LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIOS



TEMA DE TESIS: OPTIMIZACIÓN MEDIANTE METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA DE LOS PARÁMETROS DE FABRICACIÓN DE FACHALETAS MEZCLANDO CONCRETO CON TRITURADO DE TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADO Y SU INCIDENCIA EN LA RESISTENCIA MECÁNICA

TIPO DE ENSAYO: PESO DE FACHALETAS COMERCIALES

NÚMERO DE MUESTRAS: 8 Fachaletas

REALIZADO POR: Ing. Willan Castillo Herrera

FECHA DE EXPEDICIÓN: 15 de Enero del 2019

PROBETA	ESPESOR	ANCHO	LARGO	PESO DE FACHALETAS COMERCIALES	FECHA DE ENSAYO	IDENTIFICACIÓN
N°	(mm)	(mm)	(mm)	(Kg)		
1	100	30	470	1,7050	12/01/2019	CA1
2	100	30	470	1,7120	12/01/2019	CA2
3	100	30	470	1,7250	12/01/2019	CA3
4	100	30	470	1,7660	12/01/2019	CA4
5	100	30	470	1,7070	12/01/2019	CB1
6	100	30	470	1,7160	12/01/2019	CB2
7	100	30	470	1,7200	12/01/2019	CB3
8	100	30	470	1,7320	12/01/2019	CB4

Nota: La toma y entrega de muestras, fechas de elaboración, identificación y especificación son de estricta responsabilidad de la persona o entidad contratante

INGENIERO: BYRON LOPEZ
TÉCNICO DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



INGENIERO: LENIN GALARZA
AUXILIAR DE LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



Anexo 26. NTE INEN 2554:2011. Determinación de la resistencia a la flexión del hormigón



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 2554:2011

HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN. (UTILIZANDO UNA VIGA SIMPLE CON CARGA EN LOS TERCIOS).

Primera Edición

STANDARD TEST METHOD FOR FLEXURAL STRENGTH OF CONCRETE (USING SIMPLE BEAM WITH THIRD-POINT LOADING).

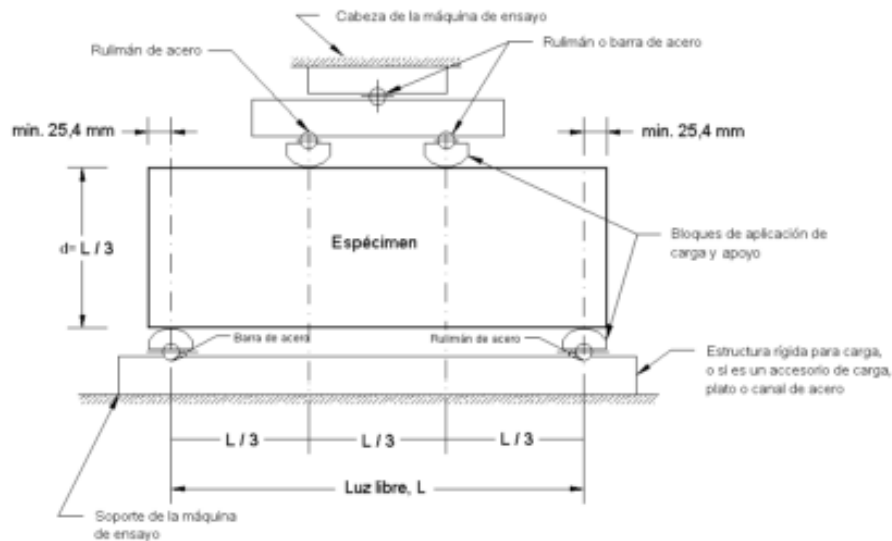
First Edition

DESCRIPTORES: Materiales de construcción y edificación, hormigón, y productos de hormigón, ensayos, resistencia a la flexión.
CO 02.10-330
CDU: 666.972 :620.174
CIIU: 3699
ICS: 91.100.30

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN. (UTILIZANDO UNA VIGA SIMPLE CON CARGA EN LOS TERCIOS)	NTE INEN 2554:2011 2011-05
<p style="text-align: center;">1. OBJETO</p> <p>1.1 Esta norma establece el método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del hormigón mediante el uso de una viga simple apoyada en los extremos y cargada en los tercios de la luz libre.</p> <p style="text-align: center;">2. ALCANCE</p> <p>2.1 Este método de ensayo se utiliza para determinar la resistencia a la flexión de los especímenes de hormigón preparados y curados de acuerdo con las normas ASTM C 42, ASTM C 31 o ASTM C 192. Los resultados se calculan y reportan como el módulo de rotura. La resistencia determinada puede variar si existen diferencias en: el tamaño del espécimen, preparación, condiciones de humedad, curado o el lugar donde la viga ha sido moldeada o cortada al tamaño apropiado.</p> <p>2.2 Los resultados de este método de ensayo pueden ser utilizados para determinar el cumplimiento con las especificaciones o como base para la dosificación, mezcla y en las operaciones de colocación. Este ensayo se utiliza en las pruebas del hormigón para la construcción de losas y pavimentos.</p> <p style="text-align: center;">3. DISPOSICIONES GENERALES</p> <p>3.1 Esta norma no tiene el propósito de contemplar todo lo concerniente a seguridad, si es que hay algo asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadamente saludables y seguras y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras antes de su uso.</p> <p style="text-align: center;">4. MÉTODO DE ENSAYO</p> <p>4.1 Resumen. Una viga de hormigón simple apoyada libremente en los extremos es cargada en los tercios de la luz libre hasta que ocurra la rotura del espécimen. La carga aplicada es continua, sin impacto a una velocidad constante. La resistencia a la flexión se determina por medio del módulo de rotura según las expresiones que se indican en esta norma.</p> <p>4.2 Equipos</p> <p>4.2.1 La máquina de ensayo debe cumplir con los requisitos de las secciones referidas a la verificación, correcciones y lapso entre verificaciones de la norma ASTM E 4. No se permiten las máquinas de ensayo operadas manualmente que tienen bombas que no proporcionan una carga continua de un solo movimiento. Están permitidas bombas a motor o bombas de desplazamiento positivo operadas manualmente que tengan capacidad suficiente en un movimiento continuo para completar el ensayo sin necesidad de recarga y deben ser capaces de aplicar cargas a una velocidad uniforme, sin golpes o interrupciones.</p> <p>4.2.2 Aparatos de carga. El método de la carga en los tercios de la luz libre se utiliza para realizar ensayos de flexión del hormigón, empleando bloques de carga, los cuales aseguran que las fuerzas aplicadas a la viga sean perpendiculares a la cara del espécimen y aplicadas sin excentricidad. Un diagrama de un aparato que cumple este propósito se muestra en la figura 1.</p> <p style="text-align: right;"><i>(Continúa)</i></p> <hr/> <p>DESCRIPTORES: Materiales de construcción y edificación, hormigón, y productos de hormigón, ensayos, resistencia a la flexión</p>		

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Casilla 17-01-3999 - Baquerizo Moreno Es-29 y Almagro - Quito-Ecuador - Prohibida la reproducción

FIGURA 1. Esquema de un aparato apropiado para ensayos de flexión en el hormigón, por el método de la carga en los tercios de la luz libre (ver nota 1).



4.2.2.1 Todos los aparatos para realizar ensayos de flexión al hormigón deben ser capaces de mantener constante la longitud de la luz libre especificada y las distancias entre los bloques de aplicación de carga y los bloques de apoyo dentro de $\pm 1,3$ mm.

4.2.2.2 La relación de la distancia horizontal medida desde el punto de aplicación de la carga y el punto de aplicación de la reacción más cercana, con respecto a la altura de la viga debe ser de $1,0 \pm 0,03$.

4.2.2.3 Si se utiliza un aparato similar a la que se ilustra en la figura 1, se debe tener en cuenta lo siguiente: los bloques de aplicación de carga y de apoyo no deben tener una altura mayor a 64 mm, medidos desde el centro o el eje de pivote y deben cubrir el ancho completo del espécimen o ser mayor que este. Cada superficie endurecida de aplicación de carga que esté en contacto con el espécimen no debe separarse de la condición de plano por más de 0,05 mm y debe ser una porción de un cilindro, cuyo eje coincida, ya sea con el eje de la barra o el centro de la esfera de acero, alrededor del cual el bloque esté articulado. El ángulo formado por la superficie curva de cada bloque debe ser de al menos 45° (0,79 radianes). Los bloques de aplicación de carga y de apoyo deben mantenerse en posición vertical y deben estar en contacto con la barra o con la esfera de acero por medio de un sistema de tornillos con resortes que aseguren la unión de los bloques con el pivote de la barra o esfera de acero. Se puede omitir la placa superior de carga y la esfera de acero en el punto central de la figura 1, cuando se utilice un bloque de carga de cojinetes esféricos, a condición de que se utilicen una barra y una esfera de acero como pivotes para los bloques superiores de aplicación de la carga.

4.3 Ensayos

4.3.1 Los especímenes de ensayo deben cumplir los requisitos de las normas ASTM C 42 o ASTM C 31 o ASTM C 192, la que sea aplicable a la viga y la luz libre entre los apoyos debe estar dentro del 2% con relación a tres veces su altura, como se la ensaya. Los lados del espécimen deben formar ángulo recto con la parte superior e inferior. Todas las superficies deben estar lisas y libres de marcas, desportilladuras, agujeros o marcas de identificación impresas.

NOTA 1. Se puede usar este aparato, invertido. Si la máquina de ensayo aplica la fuerza por medio de una cabeza de asiento esférica, se puede omitir el centro del pivote, siempre que un bloque pivote de aplicación de carga esté sobre una barra y el otro sobre una esfera de acero.

(Continúa)

4.3.2 La persona que ensaye las vigas para aceptación del hormigón, debe cumplir con los requisitos de técnico de laboratorio de hormigón de la norma ASTM C 1077, y haber aprobado un examen que demuestre su desempeño, el cual es evaluado por un instituto superior o equivalente (ver nota 2).

4.4 Procedimiento

4.4.1 Los ensayos a flexión deben ser realizados tan pronto como sea posible luego de extraerlos del almacenamiento húmedo. Los especímenes con las superficies secas presentan una reducción en la resistencia a la flexión.

4.4.2 Cuando se utilizan especímenes moldeados, girar el espécimen de ensayo sobre un lado con respecto a su posición como fue moldeado y centrarlo en los bloques de apoyo. Cuando se utilizan especímenes cortados, colocar el espécimen de manera que la cara de tracción corresponda a la parte superior o inferior del espécimen respecto a como se lo cortó del material original. Centrar el sistema de carga respecto a la fuerza aplicada. Llevar los bloques de aplicación de carga, al contacto con la superficie del espécimen en los tercios de la luz libre y aplicar una carga de entre el 3% y el 6% de la carga final estimada. Utilizando calibradores de lámina de 0,10 mm y 0,38 mm, determinar si alguna holgura entre el espécimen y los bloques de aplicación de carga o de apoyo es mayor o menor que cada uno de los calibradores en una longitud de 25 mm o más. Limar, refrentar o usar calzas de cuero en la superficie de contacto del espécimen para eliminar cualquier diferencia mayor a 0,10 mm. Las calzas de cuero deben tener un espesor uniforme de 6,4 mm, un ancho de 25 mm a 50 mm y deben extenderse a todo el ancho del espécimen. Holguras mayores de 0,38 mm deben ser eliminadas solamente por refrentado o limado. Se debe minimizar el limado de superficies laterales puesto que esto puede cambiar las características físicas de los especímenes. El refrentado se lo debe hacer de conformidad con las secciones aplicables de la norma ASTM C 617.

4.4.3 Aplicar carga al espécimen continuamente y sin impacto. La carga debe ser aplicada a una velocidad constante hasta el punto de rotura. Aplicar la carga a una velocidad tal que aumente constantemente el esfuerzo máximo sobre la cara de tracción entre 0,86 MPa/min y 1,21 MPa/min, hasta que se produzca la rotura. La velocidad de carga se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$r = Sbd^2/L \quad (1)$$

Donde:

- r = velocidad de carga, en N/min,
- S = velocidad del incremento del esfuerzo máximo sobre la cara de tracción, en MPa/min,
- b = promedio del ancho del espécimen, según la orientación en el ensayo, en mm,
- d = promedio de la altura del espécimen, según la orientación en el ensayo, en mm,
- L = luz libre de la viga, en mm.

4.5 Medición del espécimen luego del ensayo. Para determinar las dimensiones de la sección transversal del espécimen, para el cálculo de módulo de rotura, tomar medidas a través de una de las caras fracturadas luego del ensayo. El ancho y la altura se miden según la manera de orientación del espécimen en el ensayo. Para cada dimensión, tomar una medición en cada borde y una en el centro de la sección transversal. Utilizar las tres medidas en cada sentido, para determinar los valores promedio de ancho y alto. Tomar todas las medidas con una aproximación de 1 mm. Si la fractura se produce en una sección refrentada, incluir el espesor del refrentado en la medición.

4.6 Cálculos

4.6.1 Si la fractura se produce en la superficie de tracción dentro del tercio medio de la luz libre, calcular el módulo de rotura de la siguiente manera (ver nota 3):

$$R = PL/bd^2 \quad (2)$$

NOTA 2. Se puede cumplir con este requisito, con una certificación equivalente a la de Técnico de Resistencia de Hormigón del ACI.

NOTA 3. Para el cálculo, no se incluye la masa de la viga.

(Continúa)

Donde:

- R = módulo de rotura, en MPa,
- P = carga máxima aplicada, indicada por la máquina de ensayo, en N,
- L = Luz libre, en mm,
- b = promedio del ancho del espécimen, en la fractura, en mm,
- d = promedio de la altura del espécimen, en la fractura, en mm.

4.6.2 Si la fractura se produce en la superficie de tracción fuera del tercio medio de la luz libre, pero no más allá del 5% de la luz libre, calcular el módulo de rotura de la siguiente manera (ver nota 3):

$$R = 3Pa/bd^2 \quad (3)$$

Donde:

- a = distancia media entre la línea de fractura y el apoyo más cercano medido en la superficie de la tracción de la viga, en mm

4.6.3 Si la fractura se produce en la superficie de tracción fuera del tercio medio de la luz libre, en más de un 5% de la luz libre, desechar los resultados del ensayo.

4.7 Informe de resultados. Se debe elaborar un informe de resultados que contenga al menos lo siguiente:

- a) Laboratorio y fecha de ensayo,
- b) Nombre del laboratorista,
- c) Número de identificación del espécimen,
- d) Promedio del ancho en la fractura, con una aproximación de 1 mm,
- e) Promedio de la altura en la fractura, con una aproximación de 1 mm,
- f) Luz libre de la viga, en mm,
- g) Carga máxima aplicada, en N,
- h) Módulo de rotura calculado, con una aproximación de 0,05 MPa,
- i) Historial de curado y condiciones de humedad aparente del espécimen al momento del ensayo,
- j) Si el espécimen fue refrentado, limado o si se ha utilizado calzas de cuero,
- k) Si el espécimen ha sido cortado o moldeado y los defectos encontrados,
- l) Edad del espécimen, y
- m) Observaciones: señalar responsabilidades sobre los procedimientos de muestreo, transporte y curado de especímenes, además de cualquier variación a los procedimientos señalados en esta norma.

4.8 Precisión y desviación

4.8.1 Precisión. Se ha observado que el coeficiente de variación de los resultados del ensayo, depende del nivel de resistencia de la viga (ver nota 4). Se ha encontrado que el coeficiente de variación para un solo operador es del 5,7%. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos correctamente realizados por el mismo operador en vigas moldeadas de una misma amasada, no deben diferir entre sí en más del 16%. Se ha encontrado que el coeficiente de variación multilaboratorio es del 7%. Por lo tanto, los resultados de dos laboratorios diferentes en vigas moldeadas de una misma amasada, no deben diferir entre sí en más del 19%.

4.8.2 Desviación. Puesto que no hay un material normalizado aceptado, para determinar la desviación de este método de ensayo, no se ha hecho ninguna declaración de desviación.

NOTA 4. Para una posible guía en relación a la resistencia y variabilidad, ver "Improved Concrete Quality Control Procedures Using Third Point Loading" de P. M. Carrasquillo y R. L. Carrasquillo, Research Report 119-1F, Project 3-9-87-1119, Center For Transportation Research, The University of Texas at Austin, Noviembre 1987.

(Continúa)

APÉNDICE Z**Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR**

Norma ASTM C 31	<i>Práctica para elaborar y curar especímenes de ensayo de hormigón en el campo.</i>
Norma ASTM C 42	<i>Método de ensayo para obtener y ensayar núcleos calados y vigas aserradas de hormigón.</i>
Norma ASTM C 192	<i>Práctica para elaborar y curar especímenes de ensayo de hormigón en el laboratorio.</i>
Norma ASTM C 617	<i>Práctica para refrentar especímenes cilíndricos de hormigón.</i>
Norma ASTM C 1077	<i>Práctica para laboratorios de ensayo de hormigón y áridos para hormigón para uso en la construcción y criterios para la evaluación de laboratorios.</i>
Norma ASTM E 4	<i>Prácticas para la verificación de la presión en máquinas de ensayo.</i>

Z.2 BASE DE ESTUDIO

ASTM C 78 – 09. *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.* American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 2009.

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Documento: NTE INEN 2554	TÍTULO: HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN. (UTILIZANDO UNA VIGA SIMPLE CON CARGA EN LOS TERCIOS)	Código: CO 02.10-330
------------------------------------	---	--------------------------------

ORIGINAL: Fecha de iniciación del estudio: 2009-10-09	REVISIÓN: Fecha de aprobación anterior del Directorio Oficialización con el Carácter de por Resolución No. publicado en el Registro Oficial No. Fecha de iniciación del estudio:
--	--

Fechas de consulta pública: de _____ a _____

Subcomité Técnico: **Hormigones, áridos y morteros**

Fecha de iniciación: 2009-10-14

Fecha de aprobación: 2009-10-22

Integrantes del Subcomité Técnico:

NOMBRES:

INSTITUCIÓN REPRESENTADA:

Ing. Guillermo Realpe (Presidente)

Ing. José Arce
Ing. Jaime Salvador

Ing. Raúl Ávila

Ing. Hugo Egúez
Ing. Raúl Cabrera
Sr. Carlos Aulestia
Ing. Xavier Arce

Ing. Marlon Valarezo

Arq. Soledad Moreno
Ing. Carlos González
Ing. Víctor Buri
Ing. Douglas Alejandro
Ing. Verónica Miranda

Ing. Diana Sánchez

Ing. Stalin Serrano
Ing. Xavier Herrera
Ing. Mireya Martínez
Ing. Rubén Vásquez
Ing. Víctor Luzuriaga
Ing. Patricio Torres
Ing. Luis Balarezo
Ing. Carlos Castillo (Prosecretario Técnico)

FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
HORMIGONES HÉRCULES S. A.
INSTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO. INECYC.
ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES DE HORMIGÓN PREMEZCLADO DEL ECUADOR. APRHOPEC.
HOLCIM ECUADOR S. A. AGREGADOS
HOLCIM ECUADOR S. A. HORMIGONES
LAFARGE CEMENTOS S. A.
CÁMARA DE LA CONSTRUCCIÓN GUAYAQUIL.
UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
INTACO ECUADOR S. A.
INTACO ECUADOR S. A.
HORMIGONES HÉRCULES S. A.
MUNICIPIO DE GUAYAQUIL.
COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES DE PICHINCHA / HORMIGONES EQUINOCCIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.
HORMIGONES EQUINOCCIAL.
HORMIGONERA QUITO
CAMINOSCA CIA. LTDA.
CEMENTO CHIMBORAZO C. A.
INDUSTRIAS GUAPÁN S. A.
DICOPLAN CIA. LTDA.
CUERPO DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO
INSTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO. INECYC

Otros trámites:

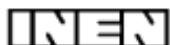
El Directorio del INEN aprobó este proyecto de norma en sesión de 2010-12-17

Oficializada como: Voluntaria

Por Resolución No. 159-2010 de 2010-12-17

Registro Oficial No. Edición especial 151 de 2011-05-26

Anexo 27. NTE INEN 1 573:2010. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 1 573:2010
Primera revisión

HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO.

Primera Edición

STANDARD TEST METHOD FOR COMPRESSIVE STRENGTH OF CYLINDRICAL CONCRETE SPECIMENS.

First Edition

DESCRIPTORES: Materiales de construcción y edificación, materiales y productos minerales, áridos para hormigón, contenido de arcilla, ensayo .

CO 02.10-301

CDU: 691.32:620.173

CIIU: 3699

ICS: 91.100.30

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO.	NTE INEN 1 573:2010 Primera revisión 2010-06
<p style="text-align: center;">1. OBJETO</p> <p>1.1 Esta norma establece el método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico.</p> <p style="text-align: center;">2. ALCANCE</p> <p>2.1 Este método de ensayo se aplica a especímenes cilíndricos tales como cilindros moldeados y núcleos perforados de hormigón de cemento hidráulico, que tengan una densidad mayor que 800 kg/m³.</p> <p>2.2 Este método de ensayo se utiliza para determinar la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico, preparados y curados de acuerdo con las normas ASTM C 31, ASTM C 192, ASTM C 617, ASTM C 1 231, ASTM C 42 y ASTM C 873, mientras no existan normas INEN.</p> <p>2.3 Los resultados de este método de ensayo se utilizan como base para: control de calidad de la dosificación del hormigón, operaciones de mezclado y colocación; determinación del cumplimiento con las especificaciones, control para evaluación de la efectividad de aditivos y usos similares.</p> <p style="text-align: center;">3. DISPOSICIONES GENERALES</p> <p>3.1 Se debe tener cuidado en la interpretación del significado de la determinación de la resistencia a la compresión con los procedimientos de este método de ensayo, puesto que la resistencia no es una propiedad fundamental o intrínseca del hormigón elaborado con materiales dados. Los valores obtenidos dependerán del tamaño y la forma del espécimen, dosificación, procedimientos de mezclado, métodos de muestreo, moldeado o fabricación y de la edad, temperatura y condiciones de humedad durante el curado</p> <p>3.2 El texto de esta norma hace referencia a notas en pie de página, las cuales proveen material explicativo y no deben ser consideradas como requisitos de esta norma.</p> <p>3.3 Esta norma no tiene el propósito de contemplar todo lo concerniente a seguridad, si es que hay algo asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadamente saludables y seguras y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras antes de su uso.</p> <p>3.4 La persona que ensaye los cilindros para aceptación del hormigón, debe cumplir con los requisitos de técnico de laboratorio de hormigón de la norma ASTM C 1 077 y aprobar un examen que demuestre su desempeño, el cual es evaluado por un instituto superior o equivalente (ver nota 1).</p> <p>3.5 Advertencia. Se debe proveer de los medios para detener los fragmentos de hormigón durante la rotura explosiva de especímenes. La tendencia a una rotura explosiva se incrementa con el aumento de la resistencia del hormigón y es más probable cuando la máquina de ensayo es relativamente flexible. Se recomiendan las precauciones de seguridad dadas en el Manual of Aggregate and Concrete Testing de la ASTM.</p> <p>NOTA 1. Se puede cumplir con este requisito, con una certificación equivalente a la de Técnico de Resistencia de Hormigón del ACI.</p> <p style="text-align: right;"><i>(Continúa)</i></p> <hr/> <p>DESCRIPTORES: Materiales de construcción y edificación, materiales y productos minerales, áridos para hormigón, contenido de arcilla, ensayo.</p>		

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN – Casilla 17-01-3999 – Baquerizo Moreno E8-29 y Almagro – Quito-Ecuador – Prohibida la reproducción

4. MÉTODO DE ENSAYO

4.1 Resumen. Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados o núcleos de hormigón de cemento hidráulico a una velocidad que se encuentra dentro de un rango definido hasta que ocurra la falla del espécimen. La resistencia a la compresión de un espécimen se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo para el área de la sección transversal del espécimen.

4.2 Equipos

4.2.1 Máquina de ensayo. La máquina de ensayo debe tener suficiente capacidad y disponer de las velocidades de carga descritas en el numeral 4.4.5.

4.2.1.1 Se debe verificar la calibración de las máquinas de ensayo, de acuerdo con la norma ASTM E 4, excepto en la verificación de rangos de carga requeridos en numeral 4.2.3. La verificación debe realizarse:

- a) Por lo menos una vez al año, sin exceder los 13 meses,
- b) En la instalación inicial o inmediatamente después de un traslado,
- c) Inmediatamente después de efectuar reparaciones o ajustes que afecten la operación del sistema de aplicación de fuerza o los valores mostrados en el sistema de indicación de carga, excepto en los ajustes a cero que es compensado por la masa de los bloques de carga o probetas, o ambos, o
- d) Cada vez que exista una razón para sospechar de la precisión de las cargas indicadas.

4.2.1.2 Diseño. El diseño de la máquina debe incluir las siguientes características:

- a) La máquina debe ser operada con energía eléctrica y debe aplicar la carga continuamente, no de forma intermitente y sin producir impacto. Si esta solo tiene una velocidad de carga (cumpliendo los requisitos del numeral 4.4.5), debe estar provista con un medio suplementario para aplicar la carga a una velocidad que pueda ser verificada. Este medio suplementario de carga puede ser operado con energía eléctrica o manualmente.
- b) El espacio provisto para los especímenes de ensayo debe ser lo suficientemente grande para acomodar, en una posición que permita leer y operar, un equipo de calibración elástico que tenga suficiente capacidad para cubrir el rango de carga potencial de la máquina de ensayo y que cumpla con los requisitos de la norma ASTM E 74 (ver nota2).

4.2.1.3 Precisión. La precisión de la máquina de ensayo debe cumplir con las siguientes disposiciones:

- a) El porcentaje de error para las cargas dentro del rango de uso propuesto para la máquina de ensayo, no debe exceder de $\pm 1,0\%$ de la carga indicada.
- b) Se debe verificar la precisión de la máquina de ensayo aplicando cinco ensayos de carga en orden ascendente, en cuatro incrementos aproximadamente iguales. La diferencia entre dos ensayos de carga sucesivos cualquiera, no debe exceder de un tercio de la diferencia entre las cargas de ensayos máxima y mínima.
- c) La carga indicada por la máquina de ensayo y la carga aplicada determinada a partir de las lecturas del equipo de verificación deben ser registradas en cada punto del ensayo. Calcular el error, E, y el porcentaje de error, E_p , para cada punto de la siguiente manera:

$$E = A - B \quad (1)$$

$$E_p = 100 (A - B)/B$$

NOTA 2. Los tipos de equipo de calibración elásticos generalmente disponibles y más comúnmente utilizados para este propósito son los anillos circulares de calibración o las celdas de carga.

(Continúa)

Donde:

A = carga indicada por la máquina que es verificada (kN), y

B = la carga aplicada determinada por el equipo de calibración (kN)

- d) El informe sobre la verificación de una máquina de ensayo debe establecer el rango de carga dentro del cual cumple con los requisitos de la norma, en lugar de informar una aceptación o un rechazo generales. En ningún caso se debe declarar el rango de carga incluyendo cargas por debajo del valor 100 veces más pequeño que la carga estimable en el mecanismo indicador de carga de la máquina de ensayo o cargas dentro de la porción del rango por debajo del 10% de la capacidad máxima del rango.
- e) En ningún caso debe ser declarado el rango de carga incluyendo cargas fuera del rango de las cargas aplicadas durante el ensayo de verificación.
- f) No se debe corregir la carga indicada por una máquina de ensayo ni por cálculos ni por el uso de un diagrama de calibración para obtener valores dentro de la variación admisible requerida.

4.2.2 La máquina de ensayo debe estar equipada con dos bloques de carga de acero con caras endurecidas (ver nota 3), uno de los cuales es un bloque esférico que se apoya sobre la superficie superior del espécimen y el otro es un bloque sólido sobre el cual se asienta el espécimen. Las caras de contacto de los bloques de carga deben tener una dimensión mínima de al menos 3% mayor que el diámetro del espécimen a ser ensayado. Excepto para los círculos concéntricos descritos abajo, las caras de apoyo de los bloques con diámetro de 150 mm o mayor, no deben desviarse de la condición de plano por más de 0,02 mm a lo largo de los 150 mm o por más de 0,02 mm en el diámetro de cualquier bloque más pequeño y los bloques nuevos deben ser fabricados con la mitad de esta tolerancia. Cuando el diámetro de la cara del bloque de carga esférico excede el diámetro del espécimen por más de 13 mm, deben estar inscritos círculos concéntricos de no más de 0,8 mm de profundidad y no más de 1 mm de ancho, para facilitar un centrado adecuado.

4.2.2.1 Los bloques de carga inferior deben cumplir los siguientes requisitos:

- a) El bloque de carga inferior está especificado con el objetivo de proveer una superficie que se pueda maquinar fácilmente para realizar el mantenimiento de las condiciones de superficie especificadas (ver nota 4). Las superficies superior e inferior deben ser paralelas entre sí. Si la máquina de ensayo está diseñada de manera que la platina se mantenga fácilmente por sí sola en la condición especificada para la superficie, no se requiere un bloque inferior. Su dimensión horizontal mínima debe ser por lo menos 3% mayor que el diámetro del espécimen a ser ensayado. Los círculos concéntricos descritos en el numeral 4.2.2 son opcionales en el bloque inferior.
- b) El centrado final del espécimen debe ser realizado con respecto al bloque esférico superior. Cuando se utiliza el bloque de carga inferior para ayudar en el centrado, el centro de los círculos concéntricos, cuando existan, o el centro del bloque en sí mismo debe estar directamente debajo del centro de la cabeza esférica. Se deben tomar precauciones respecto a la platina de la máquina para asegurar tal posición.
- c) El bloque de carga inferior, cuando es nuevo, debe tener un espesor de al menos 25 mm y después de cualquier operación de maquinado, un espesor de al menos 22,5 mm.

4.2.2.2 El bloque de carga esférico debe cumplir los siguientes requisitos:

- a) El diámetro máximo de la cara de contacto del bloque esférico de carga suspendido no debe exceder los valores de la tabla 1 (ver nota 5).

NOTA 3. Es conveniente que las caras de carga de los bloques utilizados para el ensayo de compresión del hormigón, posean una dureza Rockwell mayor o igual a HRC 55.

NOTA 4. El bloque puede ser asegurado a la platina de la máquina de ensayo.

NOTA 5. Se permiten las caras de contacto cuadradas, si el diámetro del círculo inscrito más grande posible no excede los diámetros de la tabla 1.

(Continúa)

TABLA 1. Diámetro máximo de la cara de contacto del bloque de carga esférico

Diámetro de los especímenes de ensayo (mm)	Diámetro máximo de la cara de contacto (mm)
50	105
75	130
100	165
150	255
200	280

- b) El centro de la esfera debe coincidir con la superficie de la cara de contacto dentro de una tolerancia de $\pm 5\%$ del radio de la esfera. El diámetro de la esfera debe ser al menos el 75% del diámetro del espécimen a ser ensayado.
- c) La esfera y el cuenco deben ser diseñados de tal manera que el acero, en el área de contacto, no los deformen permanentemente cuando sea cargada a la capacidad de la máquina de ensayo (ver nota 6).
- d) Las superficies curvas del cuenco y de la parte esférica, se deben mantener limpias y lubricadas con un aceite en base de petróleo como el aceite convencional para motores y no con grasa de presión. No es conveniente que después del contacto con el espécimen y de la aplicación de una pequeña carga inicial, exista una inclinación en el bloque de carga esférico.
- e) Si el radio de la esfera es más pequeño que el radio del espécimen más grande a ser ensayado, la parte de la cara de contacto que se extiende más allá de la esfera debe tener un espesor no menor que la diferencia entre el radio de la esfera y el radio del espécimen. La dimensión mínima de la cara de contacto debe ser al menos tan grande como el diámetro de la esfera (ver figura 1).

FIGURA 1. Gráfico de un bloque de carga esférico típico



NOTA. Se deben tomar precauciones para mantener la esfera en el cuenco y para mantener la unidad entera en la máquina de ensayo.

- f) La parte móvil del bloque de carga, se debe mantener ajustada al apoyo esférico, pero el diseño debe ser tal que la cara de contacto pueda rotar libremente e inclinarse al menos 4° en cualquier dirección.

NOTA 6. El área de contacto más favorable es en forma de arco (descrita como área de "carga" preferida) como se muestra en la figura 1.

(Continúa)

- g) Si la parte del bloque de carga superior donde va la esfera está diseñada con dos piezas, compuesto de una parte esférica y una placa de carga, este debe estar provisto de un mecanismo que asegure que la parte esférica esté fija y centrada sobre la placa de carga.

4.2.3 Indicador de carga:

4.2.3.1 Si la carga aplicada por la máquina de compresión es registrada en un dial, el dial debe tener una escala graduada que pueda ser leída al menos, al 0,1% más cercano de la carga total de la escala (ver nota 7). El dial debe ser legible dentro del 1% de la carga indicada a cualquier nivel de carga dada, dentro del rango de carga. En ningún caso, el rango de cargas de un dial debe ser considerado para incluir cargas bajo un valor 100 veces el más pequeño cambio de carga que pueda ser leído en la escala. La escala debe estar provista con una línea de graduación que señale el cero y así numerada. El puntero del dial debe ser de suficiente longitud para alcanzar las marcas de graduación; el ancho del extremo del puntero no debe exceder la distancia libre entre las graduaciones más pequeñas. Cada dial debe estar equipado con un ajuste a cero que sea fácilmente accesible desde el exterior de la caja del dial y con un dispositivo adecuado que en todo momento, hasta que sea encerrado, indique la carga máxima aplicada al espécimen con una precisión dentro del 1%.

4.2.3.2 Si la carga de la máquina de ensayo es indicada en forma digital, el visor numérico debe ser lo suficientemente grande para ser leído fácilmente. El incremento numérico debe ser igual o menor que el 0,10% de la carga total de la escala de un rango de cargas dado. En ningún caso, el rango de cargas verificado debe incluir cargas menores que el menor incremento numérico multiplicado por 100. La precisión de la carga indicada debe estar dentro del 1,0% de cualquier valor visualizado dentro del rango de carga verificado. Se debe tomar precauciones para hacer los ajustes que indiquen el verdadero cero a una carga cero. Debe estar provisto de un indicador de carga máxima que en todo momento, hasta que sea encerrado, indique la carga máxima aplicada al espécimen dentro del 1% de la precisión del sistema.

4.3 Especímenes

4.3.1 Los especímenes no deben ser ensayados si cualquier diámetro individual de un cilindro difiere de cualquier otro diámetro del mismo cilindro en más del 2% (ver nota 8).

4.3.2 Antes de ser ensayados, ningún extremo de los especímenes de ensayo debe apartarse de la perpendicularidad a los ejes en más de $0,5^\circ$ (aproximadamente equivalente 1 mm en 100 mm). Los extremos de los especímenes para ensayo de compresión que no estén planos dentro de 0,050 mm deben ser cortados o limados para cumplir esta tolerancia o se deben refrentar con mortero de azufre de acuerdo con la norma ASTM C 617 o, cuando se permita, con la norma ASTM C 1 231. El diámetro utilizado para calcular el área de la sección transversal del espécimen de ensayo debe determinarse con una aproximación de 0,25 mm promediando dos diámetros medidos alrededor de la altura media del espécimen y que formen ángulos rectos entre sí.

4.3.3 Se permite reducir el número de cilindros individuales medidos para determinación del diámetro promedio, a uno por cada diez especímenes o tres especímenes por día, el que sea mayor, si se conoce que todos los cilindros han sido fabricados de un solo lote de moldes reusables o moldes para un solo uso, que siempre producen especímenes de diámetros promedio dentro de un rango de 0,5 mm. Cuando los diámetros promedio no caen dentro del rango de 0,5 mm o cuando los cilindros no están fabricados de un solo lote de moldes, el diámetro de cada cilindro ensayado debe ser medido y este valor utilizado en el cálculo de la resistencia a la compresión unitaria de ese espécimen.

NOTA 7. Se considera que lo más preciso que se puede leer es 0,5 mm a lo largo del arco descrito por el extremo de la aguja. También lo más cerca que se puede leer razonablemente, cuando el espaciamiento del mecanismo indicador de carga está entre 1 mm y 2 mm, es alrededor de la mitad del intervalo de la escala. Cuando el espaciamiento está entre 2 mm y 3 mm, un tercio del intervalo de carga puede ser leído con razonable certeza. Cuando el espaciamiento es 3 mm o más, un cuarto del intervalo de carga puede ser leído con razonable certeza.

NOTA 8. Esto puede ocurrir cuando los moldes que son para un solo uso se dañan o deforman durante el envío, cuando los moldes flexibles que son para un solo uso se deforman durante el moldeo o cuando un extractor de núcleos se desliza o desvía durante la perforación.

(Continúa)

4.3.4 Si el usuario de los servicios de ensayo solicita la medición de la densidad de los especímenes de ensayo, se debe retirar cualquier humedad superficial mediante una toalla para luego determinar la masa de los especímenes antes del refrentado. Determinar la masa del espécimen utilizando una balanza que tenga una precisión dentro del 0,3% de la masa que está siendo medida. Medir la longitud del espécimen con una precisión de 1 mm en tres posiciones espaciadas regularmente alrededor de la circunferencia. Calcular la longitud promedio y registrarla con una precisión de 1 mm. Alternativamente, determinar la densidad del cilindro registrando la masa del cilindro en el aire y luego, sumergido en el agua a $23,0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y calcular el volumen de acuerdo al numeral 4.5.3.1.

4.3.5 Cuando no se requiere la determinación de la densidad y la relación de la longitud al diámetro es menor que 1,8 o mayor que 2,2, medir la longitud del espécimen con una aproximación de 0,05 D.

4.4 Procedimiento

4.4.1 Se deben realizar los ensayos de compresión de especímenes curados en húmedo, tan pronto como sea posible luego de extraerlos del almacenamiento húmedo.

4.4.2 Los especímenes deben ser ensayados en condición húmeda. Se deben mantener húmedos utilizando cualquier método conveniente durante el período comprendido entre la remoción del almacenamiento húmedo y el ensayo.

4.4.3 Todos los especímenes de ensayo para una edad de ensayo dada, deben romperse dentro de las tolerancias de tiempo admisibles, señaladas en la tabla 2:

TABLA 2. Tolerancia de tiempo admisible para el ensayo de especímenes

Edad de ensayo	Tolerancia admisible
24 horas	$\pm 0,5\text{ h}$ o 2,1%
3 días	2 horas o 2,8%
7 días	6 horas o 3,6%
28 días	20 horas o 3,0%
90 días	2 días o 2,2%

4.4.4 Colocación del espécimen. Colocar el bloque de carga plano (inferior), con su cara endurecida hacia arriba, sobre la mesa o platina de la máquina de ensayo directamente bajo del bloque de carga esférico (superior). Limpiar las caras de contacto de los bloques superior e inferior y del espécimen de ensayo y colocar el espécimen de ensayo sobre el bloque de carga inferior. Cuidadosamente alinear el eje del espécimen con el centro de carga del bloque de carga esférico.

4.4.4.1 Verificación del ajuste a cero y asentamiento del bloque. Previo al ensayo del espécimen, verificar que el indicador de carga esté ajustado a cero. En los casos en los que el indicador no está adecuadamente colocado en cero, ajustar el indicador (ver nota 9). Puesto que se lleva el bloque de carga esférico hasta apoyar sobre el espécimen, girar con la mano y suavemente su parte móvil de tal modo de obtener un asentamiento uniforme.

4.4.5 Velocidad de carga. Aplicar la carga continuamente y sin impacto.

4.4.5.1 La carga debe ser aplicada a una velocidad de movimiento (medida desde la platina a la cruceta) correspondiente a una velocidad de esfuerzo sobre el espécimen de $0,25 \pm 0,05\text{ MPa/s}$ (ver nota 10). Se debe mantener la velocidad de movimiento señalada al menos durante la última mitad de la fase de la carga esperada.

NOTA 9. La técnica utilizada para verificar y ajustar el indicador de carga a cero puede variar dependiendo del fabricante de la máquina. Consultar el manual del propietario o al calibrador de la máquina de compresión para una técnica adecuada.

NOTA 10. Para una máquina de ensayo milimétrica o de desplazamiento controlado, será necesario un ensayo preliminar para establecer la velocidad de movimiento requerida para lograr la velocidad de esfuerzo especificada. La velocidad de movimiento requerida dependerá del tamaño del espécimen de ensayo, del módulo elástico del hormigón y de la rigidez de la máquina de ensayo.

(Continúa)

4.4.5.2 Se permite una velocidad de carga mayor durante la aplicación de la primera mitad de la fase de carga esperada. La velocidad de carga mayor debe ser aplicada de manera controlada de modo tal que el espécimen no esté sometido a una carga de impacto.

4.4.5.3 No se debe hacer ajustes en la velocidad de movimiento (desde la platina a la cruceta) cuando la carga última está siendo alcanzada y la velocidad de esfuerzo decrece debido a la fisuración en el espécimen.

4.4.6 Aplicar la carga de compresión hasta que el indicador de carga muestre que está decreciendo constantemente y el espécimen muestre un patrón de fractura bien definido (Tipos 1 a 4 en la figura 2 del Anexo A). Para una máquina de ensayo equipada con un detector de rotura de espécimen, no se permite el apagado automático de la máquina de ensayo hasta que la carga haya decrecido hasta un valor menor al 95% de la carga máxima. Cuando se ensaya con cabezales con almohadillas no adherentes (neoprenos), puede ocurrir una fractura en la esquina, similar a los modelos tipo 5 o 6 mostrados en la figura 2 del Anexo A, antes que se haya alcanzado la capacidad última del espécimen, en estos casos se debe continuar comprimiendo el espécimen hasta que el laboratorista esté seguro de que se ha alcanzado la capacidad última. Registrar la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo y anotar el tipo de modelo de fractura de acuerdo a la figura 2 del Anexo A. Si el modelo de fractura no es uno de los modelos típicos mostrados en la figura 2 del Anexo A, dibujar y describir brevemente el modelo de fractura. Si la resistencia obtenida es menor de lo esperado, examinar el hormigón fracturado y anotar la presencia de grandes cavidades de aire, evidencia de segregación, comprobar si las fracturas pasan predominantemente alrededor o a través de las partículas de árido grueso y verificar si la preparación de los extremos del cilindro fue realizada de acuerdo con las normas ASTM C 617 o ASTM C 1 231.

4.5 Cálculos

4.5.1 Calcular la resistencia a la compresión del espécimen dividiendo la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo, para el promedio del área de la sección transversal, determinada como se describe en el numeral 4.3 y expresar el resultado con una aproximación a 0,1 MPa.

4.5.2 Si la relación de la longitud al diámetro del espécimen es de 1,75 o menos, corregir el resultado obtenido en el numeral 4.5.1 multiplicando por el factor de corrección apropiado mostrado en la tabla 3 (ver nota 11).

TABLA 3. Factor de corrección según la relación de longitud al diámetro del espécimen

L/D	1,75	1,50	1,25	1,00
Factor:	0,98	0,96	0,93	0,87

4.5.2.1 Para determinar los factores de corrección para los valores L/D intermedios entre los valores dados en la tabla 3, se debe interpolar.

4.5.3 Cuando se ha solicitado, calcular la densidad del espécimen con una aproximación de 10 kg/m³, utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Densidad} = \frac{W}{V} \quad (2)$$

Donde:

W = Masa del espécimen en kg, y

V = Volumen del espécimen, calculado a partir del diámetro promedio y la longitud promedio, o determinado mediante la obtención de su masa al aire y sumergido, en m³.

NOTA 11. Los factores de corrección dependen de varias condiciones tales como condiciones de humedad, resistencia y módulo de elasticidad. En la tabla se dan los valores promedio. Estos factores de corrección se aplican al hormigón de baja densidad entre 1 600 kg/m³ y 1 920 kg/m³ y al hormigón de densidad normal. Estos son aplicables al hormigón seco o húmedo al momento de la carga y para resistencias nominales del hormigón en un rango de 14 MPa a 42 MPa. Para resistencias mayores a 42 MPa los factores de corrección pueden ser mayores que los valores mostrados en la tabla. Revisar Bartlett, F.M. y MacGregor, J.G., "Effect of Core Length-to-Diameter Ratio on Concrete Core Strength," ACI Materials Journal, Vol 91, N° 4, Julio-Agosto, 1994, páginas: 339-348.

4.5.3.1 Cuando el volumen sea determinado mediante la obtención de su masa sumergida, calcular el volumen de la siguiente manera:

$$V = \frac{W - W_s}{\gamma_w} \quad (3)$$

Donde:

W_s = Masa aparente del espécimen sumergido, en kg, y
 γ_w = Densidad del agua a 23 °C = 997,5 kg/m³.

4.6 Informe de resultados. Se debe elaborar un informe de resultados que contenga al menos lo siguiente:

- a) Laboratorio y fecha de ensayo,
- b) Número de identificación,
- c) Diámetro (y longitud, si se encuentra fuera del rango de 1,8 *D* a 2,2 *D*), en milímetros,
- d) Área de la sección transversal, en milímetros cuadrados,
- e) Carga máxima, en kilonewtons,
- f) Resistencia a la compresión calculada con una aproximación de 0,1 MPa,
- g) Tipo de fractura, si es diferente que el cono habitual (ver figura 2 del Anexo A),
- h) Defectos en cada espécimen o refrentado,
- i) Edad del espécimen, y,
- j) Densidad, cuando se lo determine, con una aproximación de 10 kg/m³.
- k) Observaciones: señalar responsabilidades sobre los procedimientos de muestreo, transporte y curado de especímenes, además de cualquier variación a los procedimientos señalados en esta norma.

4.7 Precisión y desviación

4.7.1 Precisión.

4.7.1.1 Precisión dentro del ensayo. La tabla 4 proporciona la precisión dentro del ensayo en ensayos de cilindros de 150 mm por 300 mm y de 100 mm por 200 mm moldeados de una muestra de hormigón correctamente mezclada en condiciones de laboratorio y en condiciones de campo (ver el numeral 4.7.1.2).

TABLA 4. Precisión dentro del ensayo

	Coeficiente de variación (ver nota 12)	Rango aceptable de variación de resistencia de cilindros individuales (ver nota 12)	
		2 cilindros	3 cilindros
Cilindros de 150 por 300 mm			
Condiciones de laboratorio	2,4%	6,6%	7,8%
Condiciones de campo	2,9%	8,0%	9,5%
Cilindros de 100 por 200 mm			
Condiciones de laboratorio	3,2%	9,0%	10,6%

NOTA 12. Estos números representan respectivamente los límites (1 σ) y (d2 σ), como se describen en la norma ASTM C 670.

(Continúa)

4.7.1.2 El coeficiente de variación dentro del ensayo representa la variación esperada de la resistencia medida de los cilindros compañeros preparados con la misma muestra de hormigón y ensayados por un laboratorio a la misma edad. Los valores dados para el coeficiente de variación dentro del ensayo de cilindros de 150 mm por 300 mm son aplicables para resistencias a compresión en un rango de 15 MPa a 55 MPa y para los cilindros de 100 mm por 200 mm son aplicables para resistencias a compresión en un rango de 17 MPa a 32 MPa. Los coeficientes de variación dentro del ensayo para cilindros de 150 mm por 300 mm se obtienen de los datos del CCRL (Concrete Proficiency Sample Data), para condiciones de laboratorio y una compilación de 1 265 informes de ensayos de 225 laboratorios de ensayos comerciales en 1978 (ver nota 13). El coeficiente de variación dentro del ensayo para cilindros de 100 mm por 200 mm se obtienen de los datos del CCRL (Concrete Proficiency Sample Data), para condiciones de laboratorio (ver nota 14).

4.7.1.3 *Precisión multilaboratorio.* Se ha encontrado que el coeficiente de variación multilaboratorio para los resultados de ensayo de resistencia a la compresión en cilindros de 150 mm por 300 mm es de 5,0% (ver nota 12); por lo tanto, los resultados de los ensayos apropiadamente realizados por dos laboratorios en especímenes preparados de la misma muestra de hormigón, no deben diferir en más del 14% (ver nota 12) del promedio, (ver nota 15). El resultado de un ensayo de resistencia es el promedio de dos cilindros ensayados a la misma edad.

4.7.1.4 Los datos multilaboratorio fueron obtenidos de seis ensayos de resistencia separados, organizados a través de programas de todos contra todos (ver nota 14) donde los especímenes cilíndricos de 150 mm por 300 mm fueron preparados en una sola ubicación y ensayados por diferentes laboratorios. El rango de resistencia promedio de estos programas fue de 17,0 MPa a 90 MPa.

4.7.2 *Desviación.* Dado que no hay un material de referencia aceptado, no se hace ninguna declaración de desviación.

NOTA 13. Los datos de apoyo han sido archivados en las oficinas de ASTM Internacional y pueden obtenerse solicitando el Informe de Investigación RR: C09-1006.

NOTA 14. Los datos de apoyo han sido archivados en las oficinas de ASTM Internacional y pueden obtenerse solicitando el Informe de Investigación RR: C09-1027.

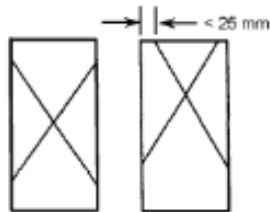
NOTA 15. La precisión multilaboratorio no incluye variaciones asociadas con diferentes laboratoristas que preparan especímenes de ensayos de muestras de hormigón divididas o independientes. Es posible que estas variaciones incrementen el coeficiente de variación multilaboratorio.

(Continúa)

ANEXO A

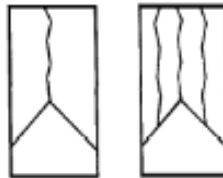
(Información obligatoria)

FIGURA 2. Esquema de los modelos típicos de fractura



Tipo 1

Conos en ambos extremos razonablemente bien formados, fisuras a través de la cabecera menor a 25 mm



Tipo 2

Cono bien formado en uno de los extremos, fisuras verticales que recorren a través de la cabecera, cono no muy definido en el otro extremo.



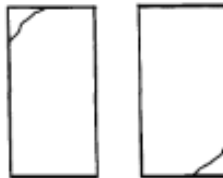
Tipo 3

Fisura vertical columnar a través de ambos extremos, conos no muy definidos.



Tipo 4

Fractura diagonal sin fisuras a través de los bordes; golpear con un martillo para distinguir del Tipo 1



Tipo 5

Fracturas a los lados, en el extremo superior o en el fondo (ocurren comúnmente cuando se ensaya con neoprenos)



Tipo 6

Similar al Tipo 5, pero el extremo del cilindro está en punta

(Continúa)

APÉNDICE Z**Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR**

Norma ASTM C 31	<i>Práctica para hacer y curar especímenes de ensayo de hormigón en el campo.</i>
Norma ASTM C 42	<i>Método de ensayo para obtener y ensayar núcleos calados y vigas aserradas de hormigón.</i>
Norma ASTM C 192	<i>Práctica para hacer y curar especímenes de ensayo de hormigón en el laboratorio.</i>
Norma ASTM C 617	<i>Práctica para refrentar especímenes cilíndricos de hormigón.</i>
Norma ASTM C 670	<i>Práctica para la preparación de informes de precisión y desviación para métodos de ensayo para materiales de construcción</i>
Norma ASTM C 873	<i>Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de cilindros de hormigón tomados en la obra en moldes cilíndricos.</i>
Norma ASTM C 1077	<i>Práctica para laboratorios de ensayo de hormigón y áridos para hormigón para uso en la construcción y criterios para la evaluación de laboratorios.</i>
Norma ASTM C 1231	<i>Práctica para uso de cabezales no adherentes en la determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de hormigón endurecido.</i>
Norma ASTM E 4	<i>Prácticas para la verificación de la presión en máquinas de ensayo.</i>
Norma ASTM E 74	<i>Práctica para la calibración de los instrumentos que miden la presión para verificar el indicador de presión en las máquinas de ensayo.</i>

Z.2 BASE DE ESTUDIO

ASTM C 39 – 05. *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.* American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 2005.

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Documento:	TÍTULO: HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO.	Código:
NTE INEN 1 573 Primera Revisión	DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO	CO 02.10-301
ORIGINAL:	REVISIÓN:	
Fecha de iniciación del estudio:	Fecha de aprobación anterior del Consejo Directivo 1990-06-26 Oficialización con el Carácter de Obligatoria - Emergente por Acuerdo Ministerial No. 414 de 1990-08-20 publicado en el Registro Oficial No. 524 de 1990-09-18	
	Fecha de iniciación del estudio: 2009-09-17	
Fechas de consulta pública: de _____ a _____		
Subcomité Técnico: HORMIGÓN, ARIDOS Y MORTEROS		
Fecha de iniciación: 2009-09-24		Fecha de aprobación: 2009-10-01
Integrantes del Subcomité Técnico:		
NOMBRES:	INSTITUCIÓN REPRESENTADA:	
Ing. Guillermo Realpe (Presidente)	FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR	
Ing. José Arce (Vicepresidente)	HORMIGONES HÉRCULES S. A.	
Ing. Jaime Salvador	INSTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO. INECYC.	
Ing. Raúl Ávila	ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES DE HORMIGÓN PREMEZCLADO DEL ECUADOR. APRHOPEC.	
Ing. Hugo Egúez	HOLCIM ECUADOR S. A. AGREGADOS	
Ing. Raúl Cabrera	HOLCIM ECUADOR S. A. HORMIGONES	
Sr. Carlos Aulestia	LAFARGE CEMENTOS S. A.	
Ing. Xavier Arce	CÁMARA CONSTRUCCIÓN GUAYAQUIL.	
Ing. Marlon Valarezo	UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA	
Arq. Soledad Moreno	INTACO ECUADOR S. A.	
Ing. Carlos González	INTACO ECUADOR S. A.	
Ing. Victor Buri	HORMIGONES HÉRCULES S. A.	
Ing. Douglas Alejandro	MUNICIPIO DE GUAYAQUIL.	
Ing. Verónica Miranda	COLEGIO INGENIEROS CIVILES PICHINCHA / HORMIGONES EQUINOCCIAL	
Ing. Diana Sánchez	FACULTAD DE INGENIERÍA. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.	
Ing. Stalin Serrano	HORMIGONES EQUINOCCIAL.	
Ing. Xavier Herrera	HORMIGONERA QUITO	
Ing. Mireya Martínez	CAMINOSCA CIA. LTDA.	
Ing. Rubén Vásquez	CEMENTO CHIMBORAZO C. A.	
Ing. Victor Luzuriaga	INDUSTRIAS GUAPÁN S. A.	
Ing. Patricio Torres	DICOPLAN CIA. LTDA.	
Ing. Luis Balarezo	CUERPO DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO	
Ing. Carlos Castillo (Prosecretario Técnico)	INECYC.	
Otros trámites: ♦ La NTE INEN 1 573:1990 sin ningún cambio en su contenido fue DESREGULARIZADA , pasando de OBLIGATORIA-EMERGENTE a VOLUNTARIA , según Acuerdo Ministerial No. 236 de 1998-01-08 publicado en el Registro Oficial No. 321 de 1998-05-20.		
Esta NTE INEN 1 573:2010 (Primera Revisión), reemplaza a la NTE INEN 1573:1990		
El Directorio del INEN aprobó este proyecto de norma en sesión de 2010-03-26		
Oficializada como: Voluntaria		Por Resolución No. 035-2010 de 2010-04-02
Registro Oficial No. 213 de 2010-06-14		