



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CONSTRUCCIÓN CIVIL

**ESTUDIO EXPERIMENTAL DE INCORPORACIÓN DE
CENIZA VOLANTE COMO ADICIÓN A LADRILLOS DE
SUELO CEMENTO**

POR:

PABLO ANDRÉS FLORIDO ARANDA

**TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CONSTRUCTOR Y GRADO
ACADÉMICO DE LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN**

PROF. GUÍA: NELSON RICARDO VALDÉS MOYA

Diciembre, 2014

Agradecimientos

En primera instancia agradecer a mis padres por su apoyo incondicional en el proceso, al profesor guía Nelson Valdes por su dedicación y disponibilidad la cual fue esencial para el desarrollo de la investigación. A la empresa cemento Melón por su disponibilidad para la obtención del material. A Claudio Martínez y Raúl Tapia en la materialización de los ladrillos. A mi compañero Ignacio Lara por la disponibilidad de la máquina y materiales. A Sebastián Aliaga y Alejandro Cuevas por su apoyo sobre todo en la perseverancia y motivación. A Claudio Florido por la disponibilidad para el traslado del material. A mis tíos Ángel y Nance por su ayuda de alojamiento en Quillota. A la señorita y secretaria Emperatriz Villanueva por su disponibilidad, apoyo y simpatía.

Dedicatoria

A mis padres por entregar su apoyo emocional y económico con su mayor esfuerzo.

A mi profesor guía por otorgar su conocimiento, experiencia y disponibilidad la cual fue fundamental para lograr la investigación.

A mis amigos por su apoyo e incondicionalidad en cuanto al proceso de formación como profesional.

A mis compañeros que fueron un pilar fundamental en el trabajo en equipo.

Y finalmente, a mi persona por la constancia, dedicación y motivación entregada para llegar al final de este viaje que culmina.

Índice General

Índice General.....	1
Índice de figuras.....	5
Índice de tablas.....	7
Resumen.....	10
Abstract.....	11

ESTUDIO EXPERIMENTAL PARA EVALUAR LA FACTIBILIDAD TÉCNICA DE INCORPORAR CENIZA VOLANTE COMO ADICIÓN A LADRILLOS DE SUELO CEMENTO

Capítulo 1: Antecedentes generales.....	12
1.1 Introducción.....	12
1.2 Objetivos.....	13
1.2.1 Objetivo general.....	13
1.2.2 Objetivos específicos.....	13
1.3 Hipótesis del trabajo.....	13
1.4 Justificación de la investigación.....	13
1.5 Alcances y limitaciones.....	14
1.6 Metodología de la investigación.....	15
Capítulo 2: El Suelo Cemento, historia, componentes, requisitos y fabricación.....	18
2.1 El suelo-cemento.....	18
2.1.1 Reseña histórica del suelo-cemento.....	18
2.1.2 El suelo-cemento como material de construcción.....	19
2.2 Componentes del suelo-cemento.....	19
2.2.1 El suelo.....	19
2.2.2 Propiedades principales del suelo.....	20
2.2.2.1 Compresibilidad.....	20
2.2.2.2 Fricción interna.....	20
2.2.2.3 Cohesión.....	19
2.2.2.4 Índice de vacíos.....	20
2.2.2.5 Porosidad.....	21
2.2.2.6 Estructura.....	21
2.2.2.7 Elasticidad.....	21
2.2.2.8 Capilaridad.....	21
2.2.2.9 Permeabilidad.....	21
2.3 Clasificación y propiedades de los constituyentes básicos del suelo.....	21
2.3.1 Gravas.....	21
2.3.2 Arenas.....	22
2.3.3 Limos.....	22
2.3.4 Arcillas.....	22
2.4 Clasificación de suelos.....	22
2.4.1 Clasificación según sistema AASHTO.....	22
2.4.2 Clasificación según sistema USCS.....	25
2.5 Consistencia de los suelos.....	27
2.5.1 Estados de consistencia.....	27
2.5.1.1 Límite Líquido.....	27
2.5.1.2 Límite Plástico.....	27
2.5.1.3 Límite de Contracción.....	27
2.5.1.4 Índice de plasticidad.....	27
2.6 El Cemento.....	28
2.6.1 Puzolana.....	28
2.6.1.1 Clínquer.....	28
2.6.1.2 Agregado tipo A.....	28
2.6.2 Cemento Pórtland.....	28

2.6.2.1	Cemento siderúrgico.....	29
2.6.2.2	Cemento portland siderúrgico.....	29
2.6.2.3	Cemento siderúrgico.....	29
2.6.2.4	Cementos con agregado tipo A.....	29
2.6.2.4.1	Cemento portland con agregado tipo A.....	29
2.6.2.4.2	Cemento con agregado tipo A.....	29
2.6.2.4.3	Cemento puzolánico.....	29
2.6.2.4.4	Cemento portland puzolánico.....	29
2.6.2.4.5	Cemento puzolánico.....	29
2.6.2.5	Cementos con fines especiales.....	30
2.6.3.	Peso específico del cemento.....	31
2.7	El Agua.....	31
2.8	Ceniza volante.....	31
2.8.1	Características generales de las cenizas volantes.....	31
2.8.2	Clasificación de las cenizas volantes.....	32
2.8.3	Uso de cenizas volantes en cemento.....	32
2.8.4	Ventajas de la utilización de cenizas volantes en la fabricación de cemento.....	33
2.8.5.	Peso específico de la ceniza volante clase F con LOI= 8%.....	33
2.8.6	Porcentaje de ceniza volante a ocupar en la mezcla de suelo cemento.....	34
2.9	Procesos y métodos de fabricación de ladrillos de suelo-cemento.....	34
2.9.1	Selección y dosificación de los materiales.....	34
2.9.1.1	El Suelo.....	34
2.9.1.2	El Cemento.....	36
2.9.1.3	El Agua.....	36
2.9.2	Mezclado de los componentes.....	37
2.9.3	Compactación.....	37
2.9.4	Fraguado y curado de ladrillos.....	37
2.9.5	Sistemas de fabricación de ladrillos de suelo-cemento.....	38
2.9.5.1	Moldes simples.....	38
2.9.5.2	Máquinas moldeadoras manuales.....	39
2.9.5.3	Maquinas moldeadoras automáticas.....	41
2.9.5.4	Modo a emplear en el estudio en laboratorio.....	42
2.10	El suelo cemento con incorporación de fibras.....	42
2.11	Ensayos a realizar.....	43
2.11.1	Resistencia a compresión.....	43
2.11.2	Absorción de agua.....	43
2.11.3	Adherencia a cizalle.....	44
2.12	Tamaño de la muestra.....	45
CAPITULO 3: Diseño experimental.....		45
3.1	Definición de variables.....	48
3.1.1	Variables dependientes.....	48
3.1.2	Variables independientes.....	48
3.2	Ladrillos de Prueba.....	49
CAPITULO 4: Desarrollo experimental.....		50
4.1	Ensayos a muestra de Suelo Natural.....	50
4.2.-	Ensayos sobre muestra de suelo natural.....	50
4.2.1.-	Análisis Granulométrico.....	50
4.2.2	Límites de Consistencia.....	50
4.2.2.1	Límite líquido.....	51
4.2.2.2	Límite plástico.....	52
4.2.2.3	Análisis de resultados clasificación suelo.....	53
4.3	Ensayo Proctor modificado.....	54
4.3.1	Ensayo Proctor modificado suelo natural.....	54
4.3.2	Ensayo Proctor modificado suelo natural con 15% de cemento.....	55

4.3.3 Ensayo Proctor modificado mezcla suelo 85%, cemento 12%, ceniza volante 3%.....	57
4.3.4 Ensayo Proctor modificado mezcla suelo 85%, cemento 9%, ceniza volante 6%.....	58
4.3.5 Ensayo Proctor modificado mezcla suelo 85%, cemento 6%, ceniza volante 9%.....	60
4.3.6 Ensayo Proctor modificado mezcla suelo 85%, cemento 3%, ceniza volante 12%.....	61
4.3.7 Ensayo Proctor modificado mezcla suelo 85% y ceniza volante 15%.....	63
4.3.8 Análisis de resultados Proctor Modificados de mezclas.....	65
4.4 Ensayo de ladrillos.....	66
4.4.1 Ensayo de compresión de ladrillos de suelo-cemento-ceniza volante.....	67
4.4.1.1 Ensayo Resistencia a compresión a la edad de 7 días.....	67
4.4.1.1.1 Análisis de resultados resistencia a la compresión a los 7 días v/s mezclas.....	69
4.4.1.1.2 Análisis de resultados D.M.C.S. (grs/cm ³) v/s densidad aparente a los 7 días.....	70
4.4.1.2 Ensayo Resistencia a compresión a la edad de 28 días.....	71
4.4.1.2.1 Análisis de resultados resistencia a la compresión 28 días v/s mezclas %.....	73
4.4.1.2.2 Análisis de resultados D.M.C.S. (grs/cm ³) v/s densidad aparente (grs/cm ³) a los 28 días.....	74
4.4.1.2.3 Análisis de resultados resistencia a la compresión (kg/cm ²) a los 7 y 28 días V/S mezclas.....	75
4.4.1.2.4 Análisis de resultados D.M.C.S. (grs/cm ³) V/S densidad aparente (grs/cm ³) a los 7 y 28 días.....	77
4.4.2 Ensayo de Absorción de Agua.....	78
4.4.2.1 Ensayo Absorción de Agua a la edad de 7 días.....	78
4.4.2.1.1 Análisis de resultados absorción de agua a los 7 días v/s % mezclas.....	81
4.4.2.1.2 Análisis de resultados absorción de agua 7 días v/s densidad aparente (grs/cm ³).....	82
4.4.2.1.3 Análisis de resultados densidad aparente (grs/cm ³) 7 días v/s D.M.C.S. (grs/cm ³).....	83
4.4.2.2 Ensayo Absorción de Agua a la edad de 28 días.....	85
4.4.2.2.1 Análisis de resultados absorción de agua (%) 28 días v/s % mezclas.....	87
4.4.2.2.2 Análisis de resultados absorción de agua (%) 28 días v/s densidad aparente (grs/cm ³).....	88
4.4.2.2.3 Análisis de resultados densidad aparente (grs/cm ³) 28 días v/s D.M.C.S. (grs/cm ³).....	89
4.4.2.2.4 Análisis de resultados absorción de agua (%) 7 y 28 días v/s mezclas (%).....	90
4.4.2.2.5 Análisis de resultados densidad aparente (grs/cm ³) 7 y 28 días v/s mezclas D.M.C.S. (grs/cm ³).....	91
4.4.3 Ensayo de Adherencia a Cizalle.....	93
4.4.3.1 Ensayo Adherencia a Cizalle a la edad de 7 días.....	93
4.4.3.1.1 Análisis de resultados adherencia a cizalle (kgf/cm ²) 7 días v/s mezclas (%).....	96
4.4.3.2 Ensayo Adherencia a Cizalle a la edad de 28 días.....	98
4.4.3.2.1 Análisis de resultados adherencia a cizalle (kgf/cm ²) 28 días v/s mezclas (%).....	100
4.4.3.2.2 Análisis de los resultados adherencia a cizalle (kg/cm ²) 7 y 28 días v/s mezclas (%).....	101

4.5 Análisis de costos de producción.....	103
4.5.1 Análisis de resultados costo unitario v/s mezclas (%).....	107
CAPÍTULO 5: Conclusiones y proposición de nuevas investigaciones.....	112
5.1 Conclusiones.....	112
5.2 Comentarios.....	114
5.3 Proposición de futuras investigaciones.....	115
ANEXOS.....	116
1 Peso específico de la ceniza volante clase F con LOI= 8% según MC VOL. 8 anexo	
2.102.10.....	116

Índice de Figuras

Figura 1.1: Metodología de la Investigación.	17
Figura 2.1: Molde Fijo.....	38
Figura 2.2: Molde Desarmable y articulado.....	39
Figura 2.3: Molde Articulado.	39
Figura 2.4: Cinva-Ram.....	40
Figura 2.5: Ellson.....	40
Figura 2.6: Sistema empleado en la fabricación de ladrillos.....	42
Figura 3.1: Desarrollo en laboratorios (diagrama de flujo).....	47
Figura 3.2: Ladrillo de Prueba.....	49
Figura 4.1: Muestra para realización de granulometría y límites de consistencia.....	50
Figura 4.2: Grafico granulometría suelos.....	51
Figura 4.3: Grafico curva de fluidez.....	52
Figura 4.4: Carta de plasticidad.....	53
Figura 4.5: Gráfico Proctor modificado muestra de suelo natural.....	55
Figura 4.6: Gráfico Proctor modificado muestra de suelo natural con 15% de cemento.....	56
Figura 4.7: Gráfico Proctor modificado muestra de suelo 85%, 12% cemento y 3% ceniza volante	58
Figura 4.8: Gráfico Proctor Modificado muestra de suelo 85%, 9% cemento y 6% ceniza volante..	59
Figura 4.9: Gráfico Proctor Modificado muestra de suelo 85%, 6% cemento y 9% ceniza volante..	61
Figura 4.10: Gráfico Proctor Modificado muestra de suelo 85%, 3% cemento y 12% ceniza volante	62
Figura 4.11: Gráfico Proctor Modificado muestra de suelo 85% y 15 % ceniza volante.....	64
Figura 4.12: Gráfico resumen Proctor modificado mezclas.....	65
Figura 4.13: Gráfico resistencia a la compresión 7 días (Kg/cm ²) V/S mezclas suelo-ceniza volante-cemento (%).	69
Figura 4.14.: Grafico Densidad máxima compactada seca v/s Densidad Aparente a los 7 días.....	70
Figura 4.15: Gráfico resistencia a la compresión 28 días (Kg/cm ²) V/S mezclas suelo-ceniza volante-cemento (%).	73
Figura 4.16.: Grafico Densidad máxima compactada seca v/s Densidad Aparente a los 28 días....	74
Figura 4.17.: Probeta ladrillo 85% suelo, 12% cemento y 3 % ceniza volante.....	75
Figura 4.18: Gráfico resistencia a la compresión 7 y 28 días (Kg/cm ²) V/S mezclas suelo-ceniza volante-cemento (%).	75
Figura 4.19.: Grafico Densidad máxima compactada seca v/s Densidad Aparente a los 7 y 28 días.....	76
Figura 4.20.: Absorción indefinida e infinita de ladrillo con 85% suelo y 15% ceniza volante.....	80
Figura 4.21.: Grafico absorción de agua (%) V/S mezclas (% respecto al peso) a los 7 días.....	81
Figura 4.22.: Grafico absorción de agua V/S densidad aparente a los 7 días.....	82
Figura 4.23.: Gráfico densidad aparente (grs/cm ³) v/s D.M.C.S. (grs/cm ³) a los 7 días.....	83
Figura 4.24.: Grafico absorción de agua (%) V/S mezclas (% respecto al peso) a los 28 días.....	87
Figura 4.25.: Grafico absorción de agua (%) V/S densidad aparente (grs/cm ³) a los 28 días.....	88

Figura 4.26.: Gráfico densidad aparente (grs/cm ³) v/s D.M.C.S. (grs/cm ³) a los 28 días.....	89
Figura 4.27.: Gráfico absorción de agua (%) V/S mezclas (% respecto al peso) a los 7 y 28 días.....	90
Figura 4.28.: Gráfico densidad aparente (grs/cm ³) v/s D.M.C.S. (grs/cm ³) a los 7 y 28 días.....	91
Figura 4.29.: Gráfico adherencia a cizalle v/s % mezclas a los 7 días.....	96
Figura 4.30: Ladrillo con 85% suelo, 6% cemento y 9 % de ceniza volante.....	97
Figura 4.31: Ladrillo con 85% suelo y 15% de cemento.....	97
Figura 4.32.: Gráfico adherencia a cizalle v/s % mezclas a los 28 días.....	100
Figura 4.33.: Gráfico adherencia a cizalle v/s % mezclas a los 7 y 28 días.....	101
Figura 4.34.: Gráfico costo unitario v/s mezclas (%).....	107
Figura 4.35.: Evaluación del horizonte del proyecto (Fuente: elaboración propia).....	110

Índice de tablas

Tabla 2.1: Clasificación de suelos AASHTO.....	24
Tabla 2.2: Clasificación de suelos según sistema USCS para suelos finos.....	26
Tabla 2.3: Clasificación de suelos según sistema USCS para suelos gruesos.....	26
Tabla 2.4: Tipos de cementos en el mercado nacional.....	30
Tabla 2.5: Clasificación ASTM C618.....	32
Tabla 2.6: Composición química ceniza volante – cemento.....	33
Tabla 2.7: Ventajas de las cenizas volantes en el cemento.....	33
Tabla 2.8: Rango de componentes suelos recomendados.....	35
Tabla 2.9: Tamaño muestra.....	45
Tabla 3.1: dosificación cemento – ceniza volante	48
Tabla 4.1: Resultados distribución porcentual de partículas del suelo	50
Tabla 4.2: Límites de consistencia suelo	51
Tabla 4.3. Límite Plástico.....	52
Tabla 4.4: Resumen de resultado Límites de Consistencia.....	52
Tabla 4.5: Ensayo Proctor Modificado muestra de suelo natural	54
Tabla 4.6: Resumen Ensayo Proctor Modificado muestra de suelo natural.....	54
Tabla 4.7: Ensayo Proctor Modificado muestra de suelo natural y 15% cemento	55
Tabla 4.8: Resumen Ensayo Proctor Modificado muestra de suelo natural con 15% de cemento.....	56
Tabla 4.9: Ensayo Proctor Modificado muestra de suelo 85%, 12% cemento y 3% ceniza volante....	57
Tabla 4.10: Resumen Ensayo Proctor Modificado muestra de suelo 85%, 12% cemento y 3% ceniza volante.....	58
Tabla 4.11: Ensayo Proctor Modificado muestra de suelo 85%, 9% cemento y 6% ceniza volante.....	58
Tabla 4.12: Resumen Ensayo Proctor Modificado muestra de suelo 85%, 9% cemento y 6% ceniza volante.....	59
Tabla 4.13: Ensayo Proctor Modificado muestra de suelo 85%, 6% cemento y 9% ceniza volante.....	60
Tabla 4.14: Resumen Ensayo Proctor Modificado muestra de suelo 85%, 6% cemento y 9% ceniza volante.....	61
Tabla 4.15: Ensayo Proctor Modificado muestra de suelo 85%, 3% cemento y 12% ceniza volante.....	62
Tabla 4.16: Resumen Ensayo Proctor Modificado muestra de suelo 85%, 3% cemento y 12% ceniza volante.....	62
Tabla 4.17: Ensayo Proctor Modificado muestra de suelo 85% y 15% ceniza volante.....	63
Tabla 4.18: Resumen Ensayo Proctor Modificado muestra de suelo 85% y 15% ceniza volante.....	63
Tabla 4.19: Resumen Ensayo Proctor Modificado según norma 1534 parte 2 OF.70.....	64
Tabla 4.20: Resultados Resistencia a Compresión a los 7 días para mezcla con 85% de suelo y 15% de cemento.....	66
Tabla 4.21. Resultados Resistencia a Compresión a los 7 días para mezcla con 85% de suelo , 12% de cemento y 3% ceniza volante.....	67
Tabla 4.22. Resultados Resistencia a Compresión a los 7 días para mezcla con 85% de suelo , 9% de cemento y 6% ceniza volante.....	67
Tabla 4.23. Resultados Resistencia a Compresión a los 7 días para mezcla con 85% de suelo , 6%	

de cemento y 9% ceniza volante.....	67
Tabla 4.24. Resultados Resistencia a Compresión a los 7 días para mezcla con 85% de suelo , 3% de cemento y 12% ceniza volante.....	68
Tabla 4.25. Resultados Resistencia a Compresión a los 7 días para mezcla con 85% de suelo , 15% ceniza volante.....	68
Tabla 4.26: Resultados Resistencia a Compresión a los 7 días para las distintas mezclas.....	68
Tabla 4.27: Resultados Resistencia a Compresión a los 28 días para mezcla con 85% de suelo y 15% de cemento.....	71
Tabla 4.28: Resultados Resistencia a Compresión a los 28 días para mezcla con 85% de suelo , 12% de cemento y 3% ceniza volante.....	71
Tabla 4.29: Resultados Resistencia a Compresión a los 28 días para mezcla con 85% de suelo , 9% de cemento y 6% ceniza volante.....	71
Tabla 4.30: Resultados Resistencia a Compresión a los 28 días para mezcla con 85% de suelo, 6% de cemento y 9% ceniza volante.....	72
Tabla 4.31: Resultados Resistencia a Compresión a los 28 días para mezcla con 85% de suelo, 3% de cemento y 12% ceniza volante.....	72
Tabla 4.32: Resultados Resistencia a Compresión a los 28 días para mezcla con 85% de suelo , 15% ceniza volante.....	72
Tabla 4.33: Resultados Resistencia a Compresión a los 28 días para las distintas mezclas (Fuente: Elaboración propia).....	73
Tabla 4.34: Resultados Absorción de Agua a los 7 días muestra patrón 85% suelo y 15% cemento.....	78
Tabla 4.35: Resultados Absorción de Agua a los 7 días muestra 85% suelo, 12% cemento y 3%.....	78
Tabla 4.36: Resultados Absorción de Agua a los 7 días muestra 85% suelo, 9% cemento y 6% ceniza volante.....	78
Tabla 4.37: Resultados Absorción de Agua a los 7 días muestra 85% suelo, 6% cemento y 9% ceniza volante.....	79
Tabla 4.38: Resultados Absorción de Agua a los 7 días muestra 85% suelo, 3% cemento y 12% ceniza volante.....	79
Tabla 4.39: Resultados Absorción de Agua a los 7 días muestra 85% suelo y 15% ceniza volante.....	79
Tabla 4.40: Resumen Resultados Absorción de agua a los 7 días.....	80
Tabla 4.41: Resultados Absorción de Agua a los 28 días muestra patrón 85% suelo y 15% cemento.....	85
Tabla 4.42: Resultados Absorción de Agua a los 28 días muestra 85% suelo, 12% cemento y 3% ceniza volante.....	85
Tabla 4.43: Resultados Absorción de Agua a los 28 días muestra 85% suelo, 9% cemento y 6% ceniza volante.....	85
Tabla 4.44: Resultados Absorción de Agua a los 28 días muestra 85% suelo, 6% cemento y 9% ceniza volante.....	86
Tabla 4.45: Resultados Absorción de Agua a los 28 días muestra 85% suelo, 3% cemento y 12% ceniza volante.....	86

Tabla 4.46: Resultados Absorción de Agua a los 28 días muestra 85% suelo y 15% ceniza volante.....	86
Tabla 4.47: Resumen Resultados Absorción de agua a los 28 días.....	87
Tabla 4.48: Resultados adherencia a cizalle a los 7 días muestra 85% suelo y 15% cemento.....	93
Tabla 4.49: Resultados adherencia a cizalle a los 7 días muestra 85% suelo,12% cemento y 3 % ceniza volante.....	93
Tabla 4.50: Resultados adherencia a cizalle a los 7 días muestra 85% suelo,9% cemento y 6 % ceniza volante.....	94
Tabla 4.51: Resultados adherencia a cizalle a los 7 días muestra 85% suelo,6% cemento y 9 % ceniza volante.....	94
Tabla 4.52: Resultados adherencia a cizalle a los 7 días muestra 85% suelo,3% cemento y 12% ceniza volante.....	94
Tabla 4.53: Resultados adherencia a cizalle a los 7 días muestra 85% suelo, 15% ceniza volante.....	95
Tabla 4.54: Resumen resultados adherencia a cizalle a los 7 días.....	95
Tabla 4.55: Resultados adherencia a cizalle a los 28 días muestra 85% suelo y 15% cemento.....	98
Tabla 4.56: Resultados adherencia a cizalle a los 28 días muestra 85% suelo, 12% cemento y 3 % ceniza volante.....	98
Tabla 4.57: Resultados adherencia a cizalle a los 28 días muestra 85% suelo,9% cemento y 6 % ceniza volante.....	98
Tabla 4.58: Resultados adherencia a cizalle a los 28 días muestra 85% suelo, 6% cemento y 9 % ceniza volante.....	99
Tabla 4.59: Resultados adherencia a cizalle a los 28 días muestra 85% suelo, 3% cemento y 12% ceniza volante.....	99
Tabla 4.60: Resultados adherencia a cizalle a los 28 días muestra 85% suelo, 15% ceniza volante.....	99
Tabla 4.61: Resumen resultados adherencia a cizalle a los 28 días.....	100
Tabla 4.62: Valor referencial ladrillo artesanal.....	103
Tabla 4.63: Costo máquinas y herramientas.....	104
Tabla 4.64: Costo de mano de obra.....	104
Tabla 4.65: Costo unitario Ladrillo 85% suelo, 15% cemento (muestra patrón).....	105
Tabla 4.66: Costo unitario Ladrillo 85% suelo, 12% cemento y 3% ceniza volante.....	105
Tabla 4.67: Costo unitario Ladrillo 85% suelo, 9% cemento y 6% ceniza volante.....	105
Tabla 4.68: Costo unitario Ladrillo 85% suelo, 6% cemento y 9% ceniza volante.....	106
Tabla 4.69: Costo unitario Ladrillo 85% suelo, 3% cemento y 12% ceniza volante.....	106
Tabla 4.70: Costo unitario Ladrillo 85% suelo y 15% ceniza volante.....	106
Tabla 4.71: resumen Costo unitario Ladrillos.....	107
Tabla 4.72: depreciación de máquina y herramientas(Fuente: Elaboración propia).....	108
Tabla 4.73: Costos variables de producción (Fuente: Elaboración propia).....	108
Tabla 4.74: Cantidad de ceniza volante en producción de 900 ladrillos.....	108
Tabla 4.75: Costo transporte y descarga ceniza volante.....	108
Tabla 4.76: Costo total ladrillo 6% cemento/9% ceniza volante.....	109
Tabla 4.77: resumen ensayos según NCH167 Of. 2001 a los 28 días.....	112

Resumen

Uno de los mayores problemas que existe mundialmente y por sobre todo como país en la actualidad, es la capacidad de darle reutilización a los recursos limitados que tenemos. De este enfoque nace la idea del desarrollo sustentable, que trajo en nuestra área lo que se conoce por el nombre de la construcción sustentable. Se entiende que la armonía entre el medio ambiente y la necesidad de infraestructura que necesita el hombre, van de la mano con una percepción racional de como actuamos en ella, finalmente como cuidamos el entorno en que vivimos. Con esto existe la necesidad de crear nuevas materias primas con los mismos residuos que generamos, logrando de esta forma disminuir en forma gradual el consumo energético y económico, logrando a su vez un menor impacto al medio ambiente.

Con el enfoque dado, el objetivo principal de esta investigación fue desarrollar un ladrillo de suelo cemento con incorporación como adición y sustitución de este por ceniza volante, el cual es un residuo del carbón utilizado en las empresas termoeléctricas. Dentro de las ventajas que se pudieron encontrar son: darle un uso a este residuo logrando disminuir los consumos energéticos y económicos; disminuir el impacto ambiental que se da en los cauces y lechos de ríos para la obtención de áridos; disminución en cuanto al dióxido de carbono liberado en las industrias de producción del cemento, las cual es la tercera industria más contaminante después de las que producen acero y aluminio.

En el programa experimental se consideró las características puzolánicas y aglomerantes que contienen las cenizas volantes, las cuales son muy similares con las del cemento. El método usado para la producción y materialización del ladrillo fue la maquina Cinva Ram, la cual trabaja a presión mecánica, que trata de un proceso más artesanal. Las unidades de ladrillos fabricadas se sometieron a ensayos de compresión, absorción y adherencia a cizalle, los cuales midieron las propiedades físicas y químicas de los ladrillos fiscales. De la experiencia experimental se logró concluir que el ladrillo con una incorporación de 9% de ceniza volante en un total de 15% de aglomerante entre cemento y ceniza, fue el ladrillo que supero todos los ensayos y se ocupó la mayor cantidad de ceniza respectivamente.

El último objetivo fue desarrollar un estudio de la factibilidad económica, sobre las circunstancias en las que se trabajó, la cual arrojó un resultado negativo, lo que se vio afectado por la baja producción considerada. Pero se hacen percances sobre cómo mejorarla para poder proyectar un negocio viable finalmente.

Palabras claves: mezclas de suelo cemento, ventajas de la utilización de la ceniza volante.

Abstract

One of the biggest problems that exists globally and especially as a country today is give you the ability to reuse the limited resources we have. This approach led to the idea of sustainable development, which brought in our area which is known by the name of sustainable construction. It is understood that the harmony between the environment and the need for infrastructure needed man go together with rational perception of how we act in it, finally as we care for the environment in which we live. With this there is the need to create new materials with the same waste we generate, thus achieving gradually decrease the economic and energy consumption, in turn achieving a lower impact on the environment.

With the given approach, the main objective of this research was to develop a soil cement brick incorporation as adding and replacing this by fly ash, which is a residue of coal used in thermal power companies. Among the advantages that could be found are: give a use for this waste achieving lower energy consumption and economic; reduce the environmental impact that occurs in streams and riverbeds for obtaining aggregates; decrease as the carbon dioxide released in the industries of cement production, which is the third biggest polluter after producing steel and aluminum industries.

In the experimental program pozzolanic characteristics and binders containing fly ash, which are very similar to those of the cement is considered. The method used for the production and realization of the brick was Cinva Ram machine, which works to mechanical pressure, which is a more traditional process. Bricks manufactured units were subjected to compressive, shear absorption and adhesion, which measured the physical and chemical properties of tax bricks. From experimental experience is able to conclude that the incorporation of brick with a 9% fly ash in a total of 15% bond between cement and ash, the brick was surpassed all tests and the most amount of ash respectively occupied.

The ultimate goal was to develop an economic feasibility study on the circumstances in which it worked, which I throw a negative result, which was affected by the low production envisaged. But mishaps on how to improve in order to project a viable business eventually do.

Keywords: soil cement mixtures, advantages of using fly ash.

CAPITULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1.1 Introducción

A través de los últimos años a nivel global se ha producido un aumento demográfico, ante lo cual, nuestro país no es la excepción, generando con esto una mayor demanda habitacional y principalmente de tipo económica, enfocada para satisfacer las necesidades de la población más vulnerable o de escasos recursos existentes en el país.

Es así como surge la necesidad de recurrir al uso de materiales de construcción de bajo costo y alta disponibilidad. Por otra parte, es esencial generar un mejoramiento progresivo de las técnicas constructivas utilizadas, como lo es la construcción con tierra, considerada hoy en día una técnica alternativa, dentro de la cual destaca también la tierra estabilizada con cemento, a lo cual se denomina suelo cemento.

El suelo cemento es una mezcla de suelo con cantidades medidas de cemento Portland Puzolánico, generalmente de grado corriente y agua, los cuales se compactan para aumentar su densidad, esta mezcla posee amplias ventajas por sobre las construcciones tradicionales en tierra, puesto que el cemento mejora considerablemente las propiedades resistentes del suelo.

El ladrillo fabricado de suelo cemento reúne en alto grado las cualidades que debe cumplir un material para ser considerado económico y apto para construcciones de bajo costo, además, su fabricación manual es un proceso sencillo, que no requiere de mano de obra especializada, por lo cual, puede ser considerado como material de autoconstrucción.

Aun cuando en la actualidad existen innumerables estudios respecto del tema, no está todo dicho, puesto que a pesar de las ventajas que se han demostrado con respecto al uso de ésta técnica, ya sea, en elementos monolíticos, ladrillos, o estudios más recientes han explorado ladrillos con la incorporación de poliestireno expandido, en su formato de "perlas" obteniendo resultados satisfactorios, su uso no es muy conocido, ni tampoco muy utilizado. Otros estudios realizados son con la incorporación de Tereftalato de polietileno (PET) de tamaño máximo de 5 mm plástico usado para la comercialización de todo tipo de bebestibles y/o diferentes líquidos, incorporándolo a la dosificación en su formato reciclado denominado "escamas", en este estudio el resultado no mejoro las propiedades físicas y mecánicas de la muestra patrón de suelo cemento pero si cumple con lo exigido en la NCH 167 OF 2001(construcción-ladrillos cerámicos-ensayos).Otro estudio realizado fue con la adhesión de fibra de vidrio, en este los resultados superan los resultados de la muestra patrón y las de las normas exigidas. En cuanto a costos en la adición de PET, el costo supera el ladrillo artesanal referencial cuyo valor en el mercado se encuentra entre \$180 - \$200, en una adición con un 7% de este obteniendo un valor de \$233. En el ladrillo con adición con un 2% de fibra de vidrio el costo por material dio \$109, cuyo valor se encuentra por debajo del costo del ladrillo fiscal.

En este proyecto de investigación se estudiara experimentalmente la incorporación de cenizas volantes los cuales son residuos de carbón bituminoso y sub-bituminoso que se emplean como materia prima en termoeléctricas para la producción de energía eléctrica valga la redundancia. Este residuo puede incorporarse como sustituto del árido fino, sustituto del Clinker para la producción del cemento y como remplazo de cemento en la mezcla de suelo cemento.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general:

- Estudiar experimentalmente la factibilidad técnica y económica de incorporar ceniza volante en ladrillos de suelo cemento.

1.2.2 Objetivos específicos:

- Establecer las características del material escogido para ser usado en suelo cemento.
- Determinar la dosificación óptima de cemento, agua y ceniza volante para la fabricación de ladrillos en función del tipo de suelo escogido.
- Obtener la resistencia a la compresión, porcentaje de absorción de agua y adherencia a cizalle de las unidades de albañilería estipulados en la NCH 167 OF.2001.
- Análisis de costos y flujos de caja en cuanto al negocio de ladrillos de suelo – cemento- ceniza volante.

1.3 Hipótesis del trabajo

La ceniza volante al ser un material puzolánico, el cual endurece al estar en contacto con un agente alcalino como cal, la cual es desprendida cuando el cemento entra en contacto con el agua, lograría mejorar las propiedades físicas y mecánicas de una mezcla de suelo –cemento.

1.4 Justificación de la investigación

En la actualidad, impulsadas por constantes investigaciones en el ámbito mundial, se registran interesantes innovaciones tecnológicas respecto de las técnicas constructivas en tierra, caracterizadas por simplicidad, eficiencia, economía y bajo impacto ambiental. Entre el suelo-cemento como insumo básico, destaca una de las posibilidades del uso de tierra para la construcción de viviendas. Su aplicación según diferentes técnicas constructivas permiten la resolución de la envolvente (muros y pisos) conformando elementos monolíticos, mampostería de bloques o de ladrillos prensados y entramados. El suelo natural, siempre que reúna ciertas características granulométricas, puede ser sometido al tratamiento denominado “estabilización”. La adición de un agente estabilizante, como el cemento, permite aprovechar mejor sus cualidades y añadir otras que por sí solo no posee (Barros y Imhoff, 2010).

El uso de cenizas volantes como adición del cemento está ampliamente extendido por dos razones: el ahorro económico que supone la reducción del cemento empleado y los cambios micro-estructurales motivados por la adición (Molina, 2008). La reducción de la dosis de cemento en las mezclas en el cemento abarata los costos en el material, disminuye la contaminación

asociada a la producción del cemento y ayuda a solucionar el problema de la eliminación de las cenizas (Molina et.al, 2008).

La utilización de tierra o suelo natural como material de construcción data de tiempos inmemorables. Sin embargo, a pesar de sus buenas características aislantes y resistentes, el suelo presenta limitaciones en su aplicación, ya que su resistencia mecánica es reducida, es vulnerable a la humedad y se erosiona por acción de agentes externos (Godoy , 2010).

Dado la necesidad de reducir un impacto al medio ambiente, disminuyendo la producción de dióxido de carbono que genera la producción de cemento, disminuir los residuos de ceniza volante proveniente de la quema de carbón -bituminoso y sub-bituminoso, reducir la explotación de arcilla, disminuir costos de la fabricación, nace la idea de contribuir en materiales sustentables. Ya sabemos que la “estabilización” del suelo a través del cemento mejora sus propiedades y que la ceniza volante a su vez reduce el costo de fabricación, reduce la segregación, disminuye la razón agua/ cemento manteniendo la trabajabilidad, reduce la demanda de agua y mejora la trabajabilidad. Dado esto viéndolo del punto económico, técnico y sustentable es importante evaluar la factibilidad que tendrían estos tres materiales en conjunto, para una solución constructiva, estructural, ambiental y económica.

1.5 Alcances y limitaciones

- Debido a la inexistencia de una normativa para ladrillos de suelo cemento, los ensayos a que serán sometidas las unidades, corresponderán a los ensayos exigidos para ladrillos arcillosos estipulados en NCh 167 Of. 2001. Debiendo ser comparados con los requisitos para ladrillos arcillosos, estipulados en la NCh 169 Of. 2001.
- El suelo a utilizar para la fabricación de los ladrillos será una muestra obtenida de un lugar a definir, dentro de la V región, priorizando que sea un “maicillo” debido a su alta disponibilidad en la región, el cual será sometida a ensayos para ver si cumple con las recomendaciones habituales para la fabricación de suelo cemento.
- Se utilizarán máquina Cinva Ram con dimensiones de 29 x 13,6 x 7,1 cms. para la fabricación de los ladrillos de suelo cemento, simulando el ladrillo arcilloso para efectos comparativos con la normativa vigente actual para dicho material.
- Se utilizará cemento Portland puzolánico de grado corriente, existente en el mercado nacional.
- Se ocupará ceniza volante clase F según ASTM C-618 en 15%,12%, 9%,6%,3% y 0% obtenida de la termoeléctrica AES Gener ubicada en Ventana, V región.
- La ceniza volante se tomara como un residuo y por ende su costo como material será igual a cero y pasara a tener un costo de transporte y descarga.

1.6 Metodología de investigación

En primera instancia se realiza una revisión bibliográfica extensiva para encontrar donde está inserto nuestro tema de investigación y los temas generales que engloba y los subtemas que conlleva, esto se realizara a través de un mapa conceptual que nos permitirá visualizar temas y subtemas. Esto nos transportara en efecto a nuestra pregunta de investigación la cual a su vez nos abrirá nuestros objetivos generales y específicos, alcances, hipótesis, tipo de investigación y ordenamiento de nuestro índice. Todo esto para desarrollar nuestra primera parte de esta tesis.

Ya habiendo hecho una revisión bibliográfica extensiva y haya sido ordenada podremos realizar nuestro marco teórico que nos ayudara a definir materiales y equipos validados necesarios para el desarrollo. Este trabajo de investigación experimental por el hecho de trabajar con materiales de suelo cemento y ceniza volante será necesario encontrar rangos de dosificación por autores que hallan trabajado con dichos materiales o en circunstancias parecidas.

Las normas necesarias para la evaluación de los ladrillos de suelo-cemento es la NCH 167 OF. 2001 que nos dice el tipo de ensayo y cantidad mínima de muestras por ensayo a realizar. Estos son resistencia a la compresión, absorción de agua y adherencia a cizalle.

Se realizara 1 molde de ladrillos diseñados en el programa Solidwork y Autocad con dimensiones de 28 x 14 x 10 cm que estará en función a la NCH 169 OF. 2001 que establece la clasificación y requisitos que debe cumplir un ladrillo. El tipo de acero será definido por la norma DIN.

Luego desarrollaremos el diseño metodológico o metodología de trabajo en donde se realizara un cronograma específico que conlleve la cantidad de material a definir por etapa de ensayo, esto estará en función de tiempo de preferencia diaria para esta investigación experimental. Se evaluaran todos los elementos necesarios para desarrollar la investigación que son el espacio físico (laboratorio), tiempo, materiales (dosificación), proveedores de los materiales, equipos necesarios y soluciones alternativas para obtener una planificación y sistema seguro para el desarrollo del trabajo. En cuanto a lo teórico dispondremos de la definición de variables dependientes las cuales son la absorción de agua, resistencia a la compresión y adherencia a cizalle. Las variables independientes serían la cantidad de ceniza volante a ocupar, cantidad de agua y cantidad de cemento.

Empezando los primeros ensayos cabe destacar tratándose de ladrillos con la incorporación de ceniza volante, se deberá realizar una muestra patrón de ladrillo de suelo cemento para compararla con los que se incorporara ceniza volante. Esto nos guiara para ver si superan o no los resultados obtenidos de la muestra patrón y ver si cumple con la hipótesis de

mejora de propiedades físicas y mecánicas evaluadas a través de los ensayos de la NCH167 OF.2001.

Realizando lo anterior se procederá a realizar un análisis de datos para obtener las conclusiones de nuestro proyecto de investigación. También se abrirán temas futuros de investigación que queden abiertos para ser desarrollados.

Lo anteriormente dicho se puede visualizar en el siguiente diagrama de flujo.

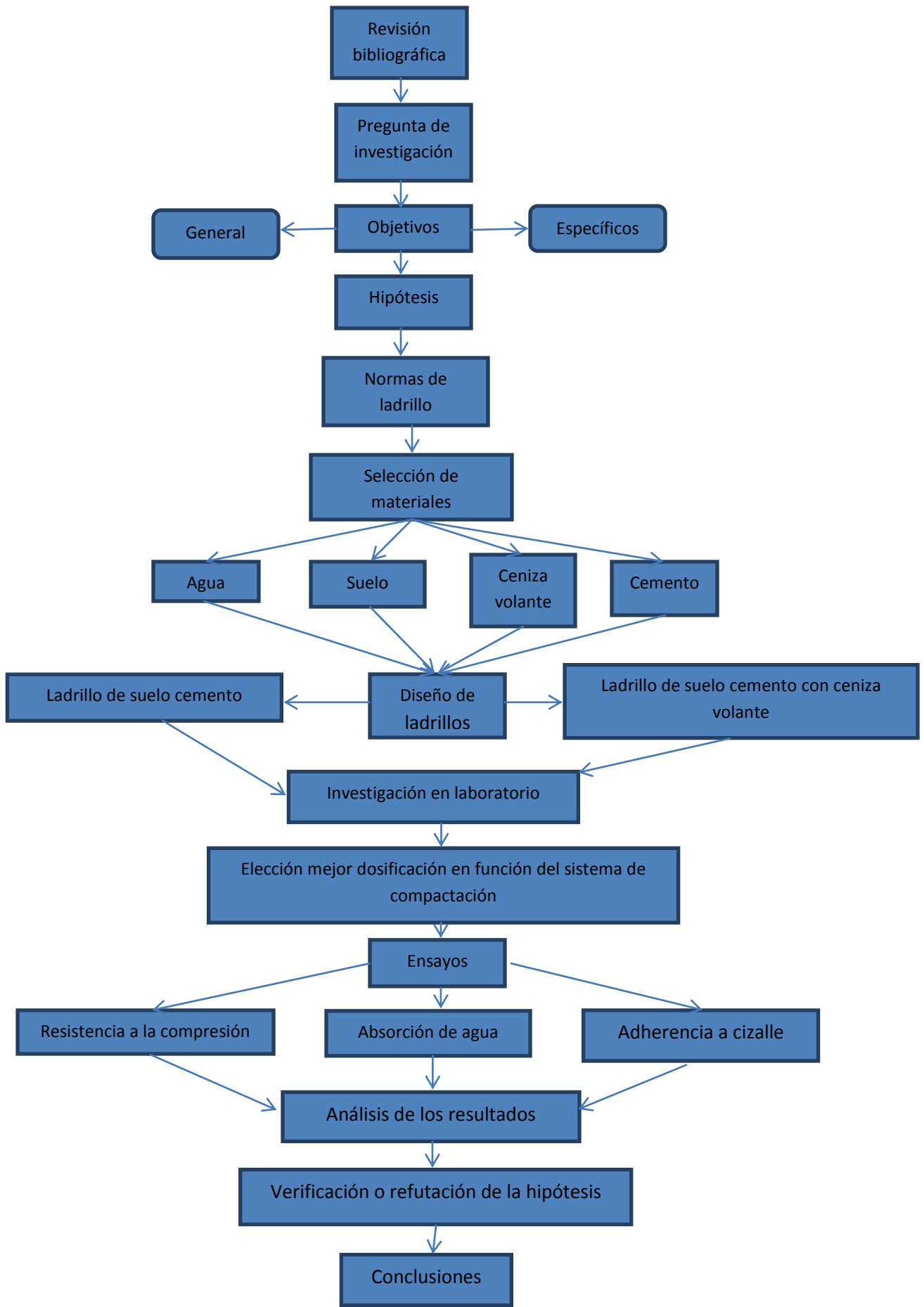


Figura 1.1 Metodología de investigación.

CAPITULO 2: El Suelo Cemento, historia, componentes, requisitos y fabricación

2.1 El suelo cemento

El suelo, y, en el presente estudio el cemento portland puzolánico de grado corriente se presenta como el material base para la fabricación de los ladrillos en estudio, por lo tanto, es necesario conocer sus características y posibles respuestas ante condiciones de trabajo determinadas. En el caso de este material su comportamiento lo determinan, en gran parte, sus componentes, la proporción en que éstos se encuentren, el grado de humedad óptima y compactación. El presente capítulo presenta una definición del suelo-cemento como material de construcción y un estudio de sus componentes. El componente principal y de mayor proporción de este material es el suelo, sin embargo, no forma parte de los objetivos el realizar un estudio de mecánica de suelos, pues se encuentra una amplia bibliografía al respecto, pero si determinar cuales son sus propiedades principales, y como éstas influyen en el comportamiento del suelo-cemento.

2.1.1 Reseña histórica del suelo-cemento

La mayor parte de los trabajos realizados con suelo-cemento han sido aplicados en la construcción de muros monolíticos, bloques y ladrillos.

Alrededor del año 1920 se tiene los primeros registros de experiencias con este material, comenzaron por el estudio de un camino sobre un suelo gredoso que formaba la sub-rasante, esto ubicado en el estado de California, Estados Unidos.

Más tarde, en el año 1932, el señor Charles Moorfield, ingeniero jefe del departamento de caminos del estado de Carolina del Sur, fue la primera persona que comenzó a investigar la posibilidad de estabilizar el suelo con agregado de cemento Portland. Las probetas de ensayo confeccionadas con distintas dosis de cemento, quedaron a la intemperie y bajo la lluvia para comprobar sus resistencias. Las mezclas de suelo-cemento no sufrieron gran daño por la acción desintegradora de la lluvia, en cambio las de tierra sola se desintegraron.

Los ensayos posteriores, no solo fueron para probar las probetas ante las inclemencias del clima, sino para estudiar también su comportamiento ante cargas de tránsito directo, y se concluyó que el desgaste de las piezas estaba directamente relacionado con las dosis de cemento a ocupar. Por lo tanto, todos los estudios siguientes tuvieron por objetivo evaluar las dosis de cemento a ocupar para un óptimo estabilizado de suelo.

En Estados Unidos, hasta el año 1943, se estimaban el uso del suelo-cemento en alrededor de 26.000.000 m² de bases. Actualmente, las aplicaciones de este material se han diversificado, yendo desde aeropuertos secundarios, caminos interiores, patios, veredas, revestimiento de canales y taludes, ladrillos y bloques para construcciones económicas, entre otras.

En 1944 la "American Society for Testing Materials", estandarizó los ensayos de "Humedad-Densidad", y de "Humedad-Secado" para poder dosificar científicamente el suelo-cemento.

En Latinoamérica, el “Instituto de Cemento Portland Argentino” fue el encargado de divulgar la gran experiencia norteamericana sobre suelo-cemento aplicado a caminos.

Los ladrillos pueden ser fabricados simplemente apisonados por delgadas capas, en moldes especiales o confeccionados a máquina, que mejora la compactación y capacidad de producción.

En Chile la experiencia es reciente, en 1953 el “Instituto Nacional de Investigaciones Tecnológicas y Normalización” (INDITECNOR) realizó la construcción de una primera casa experimental, ubicada en la población “Miguel Dávila”, siendo inaugurada esta el 21 de enero del mismo año, y hasta nuestros días la casa existe y los desperfectos han sido mínimos.

2.1.2 El suelo-cemento como material de construcción

El suelo-cemento, es un material obtenido de la mezcla de suelo natural, con una dosis de cemento Portland, el cual, actúa como conglomerante, produce un adecuado estabilizado y reduce ampliamente el coeficiente de contracción de la tierra. El suelo-cemento es un elemento que resiste el desgaste ocasionado por las variaciones de humedad del ambiente, disminuyendo el peligro de la erosión que en él pudiera tener la acción del viento y la lluvia.

Una tierra posee en mayor o menor medida “Fricción interna (ϕ)” y “Cohesión (C)”, según sea la proporción en que se encuentren la arena, el limo y la arcilla. Una correcta humedad, acompañada de una buena compactación, consigue un excelente mejoramiento de las cualidades físicas del terreno.

El agregado de cemento es suficiente cuando se forman grandes aglomeraciones que fijan los trozos de suelo y que hacen a la mezcla perder sus características iniciales, transformándolo en un material estructural. Este material estructural, posee la cualidad de ser moldeable y poseer buenas características de trabajabilidad si su dosificación y mezcla son adecuadas.

Para finalizar el proceso, se le efectúa un “curado”, a través del cual, se obtiene un material con las condiciones deseadas. Este curado es importante para obtener mayores resistencias en el producto final.

El conjunto de suelo, cemento y agua, debidamente dosificados y compactados, constituye el material denominado suelo-cemento.

2.2 Componentes del suelo-cemento

2.2.1 El Suelo

Una denominación de suelo, basada en su origen, según el señor Augusto Eteiche, 1966: “La corteza terrestre es la parte superior y sólida del globo terráqueo. La parte superior o exterior de esta corteza está compuesta por una capa relativamente gruesa de material fragmentario no consolidado. La parte superficial de esta capa es de espesor variable y se denomina suelo, el cual, es producto de la transformación de la roca madre, que ha llegado a este estado por efecto de procesos químicos, mecánicos y mecánico-biológicos.”

El suelo se puede considerar como un sistema de partes sólidas, líquidas y gaseosas. La parte sólida, está formada por fragmentos minerales en diferentes grados de descomposición y desintegración, entre los elementos sólidos con mayor grado de desintegración se encuentran las

arcillas, limos y arenas, mezclado con ellos se encuentra una gran parte de materia orgánica. El suelo se puede dividir en dos capas: el “suelo superficial” contenedor de una gran cantidad de materia orgánica producto de residuos minerales y vegetales, y el “subsuelo”, con poca o ninguna materia orgánica.

Al utilizar los suelos como material de construcción es importante conocer anticipadamente su posible comportamiento bajo ciertas condiciones a que van a ser sometidos en la práctica. Para predecir este comportamiento se deben observar propiedades que posee cada suelo y que lo hace diferente de otro, aunque en apariencia sean muy similares.

2.2.2 Propiedades principales de los suelos

Son ciertos atributos que pueden identificarlos y que contribuyen a apreciar solo de una manera general la forma como ellos pueden actuar en la práctica, bajo ciertas condiciones de trabajo. (Canales, 2010)

Entre las principales propiedades de los suelos se encuentran: Fricción interna, cohesión, compresibilidad, índice de vacíos, porosidad, estructura, elasticidad, capilaridad y la permeabilidad.

2.2.2.1 Compresibilidad

Se refiere a la propiedad que tienen ciertos suelos a disminuir su volumen cuando sobre ellos actúa una carga determinada. Esto se debe a la disminución de la porosidad del suelo producto de la disminución de la cantidad de huecos.

2.2.2.2 Fricción Interna

En una masa de suelo, es la fuerza que se opone al deslizamiento de un grano sobre otro.

En una masa de arena o arcilla, se producen fricciones internas según el grado de humedad que contengan; la fricción interna es una fuerza que en las arcillas, debido a su consistencia, es mucho menor que en las arenas.

2.2.2.3 Cohesión

Esta es una adherencia que se produce debido a fuerzas de atracción a nivel molecular.

- “Cohesión real” es aquella que se produce por fuerzas de atracción entre las moléculas de arcilla, que crean una ligadura entre las superficies de contacto.
- “Cohesión aparente” es aquella que adquieren los suelos cuando están humedecidos con cierta cantidad de agua. El grado de humedad es muy importante para obtener características cohesivas.

La cohesión es una propiedad de gran importancia en la estabilización de suelos, ya que con tratamientos apropiados puede modificarse y con ello mejorar las características originales del suelo.

2.2.2.4 Índice de Vacíos

Se define como índice de vacíos a la relación que existe entre el volumen de espacios vacíos y el volumen de la parte sólida de un suelo.

2.2.2.5 Porosidad

Se denomina así a la relación, en una masa de suelo, entre su volumen de vacíos y el volumen total de este.

2.2.2.6 Estructura

Se refiere al ordenamiento de las partículas de una masa de suelo y a la clase y cantidad de su conglomerante.

2.2.2.7 Elasticidad

Es la propiedad de un suelo de recuperar su volumen inicial en forma total o parcial, una vez que las cargas que lo solicitan hayan desaparecido.

2.2.2.8 Capilaridad

Es la capacidad que poseen los suelos para absorber agua en dirección vertical o lateralmente.

2.2.2.9 Permeabilidad

Un suelo es permeable cuando posee la propiedad de permitir el paso del agua a través de sus vacíos.

2.3 Clasificación y propiedades de los constituyentes básicos del suelo

Los distintos tipos de constituyentes de los suelos y la proporción en que ellos se encuentran, influyen directamente sobre el comportamiento que este va a tener.

Se llama análisis granulométrico al ensayo que indica en porcentaje, la cantidad de los diversos tamaños de partículas que forman la composición del suelo.

Para clasificar las partículas en función de su tamaño se le designan con diferentes nombres:

2.3.1 Gravas

Éstas son las partículas mayores de 4,76 mm. (Pasa por el tamiz 3" y es retenido por el tamiz N°4). También denominado agregado grueso.

Este material aporta el poder de soporte de los suelos con la fricción, traba mecánica y dureza de sus partículas. No tiene cohesión y su capilaridad es nula; no es compresible ni elástica.

2.3.2 Arenas

Éstas son las partículas de 4,76 a 0,074 mm. (Pasa por el tamiz N°4 y es retenido en el tamiz N° 200). También denominado agregado fino.

Este material es estable solo cuando se encuentra en estado húmedo, o bien, incrementa la estabilidad de una mezcla que esté humedecida. Su fricción interna es elevada y no tiene cohesión real; es permeable, incompresible e inelástica. Respecto a su capilaridad, es baja.

2.3.3 Limos

Éstas son las partículas de 0,074 a 0,005 mm. (Pasa por el tamiz N° 200). También denominado agregado conglomerante.

Es inestable por su propia naturaleza, particularmente cuando aumenta la humedad, con tendencia a fluir cuando está saturado. Tiene muy poca cohesión y fricción interna, es relativamente impermeable; contribuye a la resistencia de los suelos rellenando huecos y trabando a las partículas mayores. Es compresible y expansivo.

2.3.4 Arcillas

Éstas son las partículas menores a 0,005 mm. (Pasa por el tamiz N° 200). Cuando la partícula de arcilla tiene un diámetro aparente menor a 0,001 mm., se denominan arcillas coloidales. También denominado agregado conglomerante.

Este material desarrolla una actividad física química intensa, no poseída por los demás componentes del suelo. No tiene fricción interna, pero tiene cohesión muy alta, que aumenta al disminuir la humedad. Es impermeable y expansivo.

Difícil de compactar en estado húmedo e imposible de drenar por métodos ordinarios. Una vez compactada es resistente a la erosión.

2.4 Clasificación de suelos

2.4.1 Clasificación según sistema AASHTO

El sistema de clasificación de la AASHTO fue desarrollado en 1979 por la “American association of state highway and transportation officials” y el “Committee on classification of materials for subgrades and granular type roads of the highway research board” de la ASTM.

La clasificación se realiza basada en el tamaño del grano y en la plasticidad, de acuerdo a este sistema el suelo es clasificado en siete grupos principales: desde A-1 hasta A-7; los suelos clasificados en los grupos A-1, A-2 y A-3 son suelos grueso granulares con un 35% o menos pasa por la malla n° 200, y los que presentan una cantidad superior al 35% son clasificados en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7, estos son los suelos finos o materiales limosos y arcillosos.

La clasificación es basada en los siguientes criterios:

- Tamaño de grano: Se distinguen tres tamaños principales: grava, arena y finos (limo y arcilla). Los bloques de roca (Tamaño superior a los 75 mm.) encontrados dentro de la muestra de suelo, se excluyen de la porción de análisis para la clasificación, pero se registra la cantidad presente.

- Plasticidad: El término limo es aplicado a aquellas fracciones finas donde el índice de plasticidad es inferior o igual a 10, el término arcilloso a las fracciones con plasticidad superior o igual a 11.

- Índice de grupo (IG): Para evaluar la calidad de un suelo desde el punto de vista de vías, se desarrollo una expresión matemática conocida como índice de grupo o subgrupo: La fórmula para el cálculo es la siguiente:

$$IG = (F - 35) (0,2 + (0,005 (LL - 40))) + 0,01 (F - 15) (IP - 10)$$

Donde:

- F es la fracción del suelo que pasa por la malla nº 200.
- LL es el límite líquido del suelo.
- IP es el índice de plasticidad del suelo.

Algunas reglas con respecto al uso de esta ecuación son las siguientes:

- Si el valor obtenido es negativo, se debe asumir como IG = 0.
- No hay un límite superior para el índice de grupo.
- El IG debe redondearse a valores enteros: Por ejemplo si el valor obtenido es IG = 3,3, realmente es IG = 3 o si es IG= 3,5, realmente es IG = 4.
- Para los grupos A-2-6 y A-2-7, el índice de grupo se calcula con la segunda parte de la ecuación, dependiendo solo del IP.
- En general, la calidad en el comportamiento de un suelo cuando está como sub-base es inversamente proporcional al índice de grupo.

SISTEMA DE CLASIFICACION AASHTO										
Clasif. General	Suelos Granulares ($\leq 35\%$ pasa 0.08 mm)					Suelos Finos ($> 35\%$ bajo 0.08 mm)				
Grupo	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7
Sub-Grupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6*	A-2-7*			A-7-5**
2 mm	≤ 50									
0.5 mm	≤ 30	≤ 50	≥ 51							
0.08 mm	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35			≥ 36			
W _L				≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≥ 41
IP	≤ 6		NP	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11
Descripción	Gravas y Arenas		Arena fina	Gravas y Arenas Limosas y Arcillosas			Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
	** A-7-5: IP \leq (W _L - 30)					A-7-6: IP $>$ (W _L - 30)				
	IG = (B/0.08 - 35) (0.2 + 0.005 (W _L - 40)) + (B/0.08 - 15) (IP - 10) * 0.01									
	* Para A-2-6 y A-2-7: IG = (B/0.08 - 15) (IP - 10) * 0.01									

Tabla 2.1: Clasificación de suelos AASHTO

Dónde:

A-1-a Principalmente gravas con o sin partículas finas de granulometría bien definidas.

A-1-b Arena con o sin partículas finas de granulometría bien definidas.

A-2-4 Materiales granulares con partículas finas limosas.

A-2-5 Intermedio.

A-2-6 Materiales granulares con partículas finas arcillosas.

A-2-7 Intermedio.

A-3 Arena de granulometría deficiente que casi no contiene partículas finas ni gravas.

A-4 Principalmente partículas finas limosas.

A-5 tipos de suelo poco frecuentes que contienen partículas finas limosas, generalmente elásticas y difíciles de compactar.

A-6 Contienen partículas finas limosas o arcillosas con un límite líquido bajo.

A-7-5 Las arcillas y limos más plásticos.

A-7-6 Las arcillas y limos más plásticos.

2.4.2 Clasificación según sistema USCS

La forma original del sistema de clasificación de suelos fue desarrollada por Casagrande en 1942, como una herramienta para ser usada en las construcciones diseñadas por el Cuerpo de ingenieros del ejército de Estados Unidos durante la segunda guerra mundial. En 1952 el cuerpo de ingenieros en cooperación con el US. "Bureau Reclamation", revisó el sistema creado y es aún en la actualidad, es el más usado por los ingenieros en la clasificación de suelos.

La clasificación es basada en las propiedades de plasticidad y en la distribución del tamaño del grano, según esta última, el sistema divide el suelo en dos grandes categorías:

- Suelos Grueso granulares: Son aquellos materiales en los cuales el porcentaje retenido en la malla nº 200 es superior al 50%. Dentro de ellos están las fracciones de arena y grava, son suelos donde la distribución del tamaño y la forma de los granos influye notablemente en las propiedades ingenieriles del suelo.
- Suelos Fino granulares: Son los suelos en los cuales un 50% o mas pasa por la malla nº 200. En estos suelos se incluyen las fracciones limo y arcilla, así como las fracciones de carácter orgánico. En los suelos finos son las propiedades de plasticidad las usadas para su clasificación.

La simbología utilizada para la clasificación del suelo es la siguiente:

Tamaño de partículas:

- G: (del término inglés Gravel): Fracción de suelo más grueso o tamaño grava.
- S: (del término inglés Sand): Fracción del suelo con tamaño de grano comprendido entre malla nº 4 y nº 200.
- M: (del término sueco Mo): Fracción fina del suelo que no posee propiedades de plasticidad, o de tener, es muy baja.
- C: (del término inglés Clay): Fracción fina del suelo que posee propiedades de plasticidad.

Respecto a la distribución de las partículas en el suelo:

- W: (del término inglés Well): Buena graduación del suelo, o sea que, dentro de la masa de suelo hay un predominio de un tamaño de grano.
- P: (del término inglés Poorly): Mala gradación. Significa que dentro de la masa de suelo hay variedad en el tamaño de grano, aunque haya predominio de uno de ellos

Respecto a la Plasticidad:

- L: (del término inglés Low): Suelos con baja plasticidad, son aquellos donde $LL < 50$.
- H: (del término inglés High): Suelos con alta plasticidad, aquellos donde $LL > 50$.

FINOS ($\geq 50\%$ pasa 0.08 mm)			
Tipo de Suelo	Símbolo	Lim. Liq. w _l	Índice de Plasticidad * I _p
limos inorgánicos	ML	< 50	< 0.73 (w _l - 20) ó < 4
	MH	> 50	< 0.73 (w _l - 20)
arcillas inorgánicas	CL	< 50	> 0.73 (w _l - 20) y > 7
	CH	> 50	> 0.73 (w _l - 20)
limos y arcillas orgánicos	OL	< 50	** w _l seco al horno ≤ 75 % de w _l seco al aire
	OH	> 50	
turba	P _t	Materia orgánica fibrosa se carboniza, se quema o se pone incandescente.	
Si I _p \geq 0.73 (w _l - 20) ó si IP entre 4 y 7 e I _p > 0.73 (w _l - 20), usar símbolo doble: CL-ML, CH-OH			
** Si tiene olor orgánico debe determinarse adicionalmente w _l seco al horno			
En casos dudosos favorecer clasificación más plástica Ej: CH-MH en vez de CL-ML. Si w _l = 50; CL-CH ó ML-MH			

Tabla 2.2: Clasificación de suelos según sistema USCS para suelos finos.

SISTEMA CLASIFICACION USCS							
GRUESOS (< 50 % pasa 0.08 mm)							
Tipo de Suelo	Símbolo	% pasa 5 mm.***	% pasa 0.08 mm.	CU	CC	** IP	
Gravas	GW	< 50	< 5	> 4	1 a 3	< 0.73 (w _l -20) ó <4	
	GP			≤ 6	<1 ó >3		
	GM		> 12	> 0.73 (w _l -20) ó >7			
	GC						
Arenas	SW	> 50	< 5	> 6	1 a 3	< 0.73 (w _l -20) ó <4	
	SP			≤ 6	<1 ó >3		
	SM		> 12	> 0.73 (w _l -20) y >7			
	SC						
* Entre 5 y 12% usar símbolo doble como GW-GC, GP-GM, SW-SM, SP-SC. *** respecto a la fracción retenida en el tamiz 0.080 mm							
** Si IP \geq 0.73 (w _l -20) ó si IP entre 4 y 7 e IP > 0.73 (w _l -20), usar símbolo doble: GM-GC, SM-SC.							
En casos dudosos favorecer clasificación menos plástica Ej: GW-GM en vez de GW-GC.							
$C_u = (D_{60}) / (D_{10})$				$C_c = (D_{30}^2) / (D_{60} \cdot D_{10})$			

Tabla 2.3: Clasificación de suelos según sistema USCS para suelos gruesos.

2.5 Consistencia de los suelos

Por consistencia se entiende al grado de cohesión aparente o de humedad de las partículas de un suelo y su resistencia a aquellas fuerzas exteriores que tienden a deformar su estructura.

La consistencia depende del grado de humedad de los suelos. Cuando la humedad de los suelos finos es muy grande, estos se convierten en un líquido viscoso (Estado líquido). A medida que se evapora el agua que contiene el suelo, se convierte en un sólido blando, hasta el punto que es fácil moldearlo en una forma cualquiera (Estado plástico). Ahora bien, si continúa la evaporación del agua, el suelo llega a ser un sólido, pero todavía blando (Estado semisólido). Finalmente, si el proceso de evaporación continúa, el suelo se transforma en un sólido duro (estado sólido).

2.5.1 Estados de consistencia

El investigador sueco Atterberg, estableció los límites entre los estados de los suelos. Estos son cuatro y se denominan “límites de consistencia” (Canales, 2010), los cuales son los siguientes:

2.5.1.1 Límite Líquido

Está representado por la humedad límite antes de pasar del estado líquido al estado plástico.

2.5.1.2 Límite Plástico

Está representado por la humedad límite antes de pasar del estado plástico al estado semisólido.

2.5.1.3 Límite de Contracción

Está representado por la humedad límite antes de pasar del estado semisólido al estado sólido.

Todos estos límites de consistencia se representan en peso seco del suelo y son determinados por sencillos ensayos de laboratorio.

Un término importante que se calcula a partir de estos límites es el “Índice de plasticidad”.

2.5.1.4 Índice de plasticidad

Se define como índice de plasticidad de un suelo a la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico. Representa el intervalo de contenido de agua en que la masa de suelo mantiene características plásticas.

$$IP = LL - LP$$

2.6 El Cemento

El cemento es un material pulverizado que por adición de una cantidad conveniente de agua forma una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como en el aire (NCh 148, Of. 68).

Los cementos se preparan a base de clínquer, yeso y materiales específicos que caracterizan a cada clase de cemento. Para tener una mejor claridad de los componentes de este a continuación se presentan algunas definiciones de importancia.

2.6.1 Puzolana

Material silicio-aluminoso que aunque no posee propiedades aglomerantes por sí solo, las desarrolla cuando está finalmente dividido y en presencia de agua, por reacción química con hidróxido de calcio a temperatura ambiente (NCh 148, Of 68). Existen puzolanas de origen natural producidas por la acumulación de cenizas generadas durante las erupciones volcánicas explosivas, rocas o minerales sedimentarios ricos en sílice hidratada y formada en yacimientos submarinos; y de origen artificial que deben su condición puzolánica a un tratamiento térmico adecuado. Dentro de esta denominación se incluyen los subproductos de determinadas operaciones industriales; tales como, residuos de bauxita, polvos de chimeneas de altos hornos, cenizas volantes, etc (Tobon, 2000).

2.6.1.1 Clínquer

Es un producto constituido principalmente por silicatos cálcicos; se obtiene por calentamiento de una mezcla homogénea finamente molida, en proporciones adecuadas, formada principalmente por óxido de calcio (CaO) y silicio (SiO₂) y en menores cantidades, por óxido de aluminio (Al₂O₃) y hierro (Fe₂O₃), hasta una temperatura que no podrá ser inferior a la temperatura de fusión incipiente (entre 1.400 y 1.500 ° C) (NCh 148, Of. 68).

2.6.1.2 Agregado tipo A

Es una mezcla de sustancias compuestas de un material calcáreo-arcilloso que ha sido calcinado a una temperatura superior a 900° C y otros materiales a base de óxidos de silicio, aluminio y hierro. El contenido de calcio del agregado, expresado como CaO total, fluctuara entre 5% mínimo y 30% máximo (NCh 148, Of 68).

Según la Norma Chilena Oficial 148. Of 68 los cementos se pueden clasificar de acuerdo a su composición en 5 clases:

2.6.2 Cemento Pórtland

Es el que se obtiene por molienda conjunta de clínquer y yeso y que puede aceptar hasta un 3% de materias extrañas, excluido el sulfato de calcio hidratado.

2.6.2.1 Cemento siderúrgico

Es el producto que se obtiene de la molienda conjunta del clínquer, escoria granulada de alto horno y yeso y que puede aceptar hasta un 3 % de materias extrañas, excluido el sulfato de calcio hidratado. Se clasifica en:

2.6.2.2 Cemento portland siderúrgico

Es el cemento en cuya composición entrará escoria básica granulada de alto horno en una proporción no superior al 30% en peso del producto terminado.

2.6.2.3 Cemento siderúrgico

Es el cemento en cuya composición entrará escoria básica granulada de alto horno en una proporción comprendida entre el 30% y el 75% del producto terminado.

2.6.2.4 Cementos con agregado tipo A

Son productos que se obtiene por molienda conjunta de clínquer, agregado tipo A (agregado calcáreo-arcilloso) y yeso y que pueden aceptar hasta un 3% de materias extrañas, excluido el sulfato de calcio hidratado. Se clasifican en:

2.6.2.4.1 Cemento portland con agregado tipo A

Es el cemento en cuya composición entrará agregado tipo A, en una proporción no superior a 30% en peso del producto terminado.

2.6.2.4.2 Cemento con agregado tipo A

Es el cemento en cuya composición entrará agregado tipo A en una proporción comprendida entre el 30% y el 50% en peso del producto terminado.

2.6.2.4.3 Cemento puzolánico

Es el producto que se obtiene de la molienda conjunta de clínquer, puzolana y yeso y que puede aceptar hasta un 3% de materias extrañas, excluido el sulfato de calcio hidratado. Se clasifican en:

2.6.2.4.4 Cemento portland puzolánico

Es el cemento en cuya composición entrará puzolana en una proporción no superior a 30% en peso del producto terminado.

2.6.2.4.5 Cemento puzolánico.

Es el cemento en cuya composición entrará puzolana en una proporción comprendida entre el 30% y 50% en peso del producto terminado.

2.6.2.5 Cementos con fines especiales

Es el cemento en cuya composición entran los productos que se emplean normalmente en la fabricación de cementos, cuyos requisitos y propiedades se establecen por acuerdo previo entre productor y consumidores para cumplir determinados fines.

En la tabla siguiente se muestra los tipos de cemento y la composición según la EN 197-1.

Tipo de cemento principal			Composición % (proporción en masa) ¹										Componentes Adicionales
			Componentes principales										
			Clinker de cemento Portland	Escoria de alto horno	Humo de sílice	Puzolanas		Cenizas volantes (fly ashes)		Esquistos calcinados	Caliza		
						Natural	Artificial	Alto componente de Silíceas	Alto componente de Calcáreas				
Designación	Tipo de cemento	K	S	D ²	P	Q	V	W	T	L ⁴	LL ⁵		
CEM I	Cemento Portland	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM II	Cemento Portland con escoria	CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cemento Portland con humo de sílice	CEM II/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM II	Cemento Portland con puzolana	CEM II/A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5
CEM II	Cemento Portland con cenizas volantes	CEM II/A-V	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-V	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-W	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5
		CEM II/B-W	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5
CEM II	Cemento Portland con esquistos calcinados	CEM II/A-T	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5
		CEM II/B-T	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5
CEM II	Cemento Portland con caliza	CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5
		CEM II/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5
		CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5
		CEM II/B-LL	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5
CEM II	Cemento Portland compuesto ³	CEM II/A-M	80-94	6-20							-	-	0-5
		CEM II/B-M	65-79	21-35							-	-	0-5
CEM III	Cemento con escoria de alto horno	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM IV	Cemento puzolánico ³	CEM IV/A	65-89	-	11-35				-	-	-	0-5	
		CEM IV/B	45-64	-	36-55				-	-	-	0-5	
CEM V	Cemento	CEM V/A	40-64	18-30	-	18-30		-	-	-	-	0-5	

Tabla 2.4: Tipos de cemento y su composición (Fuente: SIKA, 2007).

(1) Los valores de la tabla se refieren a la suma de los componentes principales y minoritarios.

(2) El humo de sílice se limita al 10%.

(3) En los cementos portland con adición (portland compuestos) CEM II/A-M y CEM II/B-M, los cementos puzolánicos CEM IV/A y CEM IV/B y los cementos compuestos CEM V/A y CEM V/B, el componente mayoritario debe estar declarado en la designación del cemento.

(4) El contenido de carbono orgánico total (TOC) no debe exceder el 0,2 en masa.

(5) El contenido de carbono orgánico total (TOC) no debe exceder el 0,5 en masa.

2.6.3. Peso específico del cemento.

El peso específico real varía muy poco de unos cementos a otros, oscilando entre 2.9 y 3.15 [gr/cm³]. La determinación del peso específico relativo de los cementos consiste en establecer la relación entre una masa de cemento (gr) y el volumen (ml) de líquido que ésta masa desplaza en el matraz de Le Chatelier (IEIA, 2010).

2.7 El Agua

El agua a ocupar en la fabricación de suelo-cemento debe cumplir con los mismos requerimientos que especifica la Norma NCh 1498 Of. 82. para el agua de amasado en la elaboración de hormigones. El agua potable es por regla general, el agua óptima para uso en fabricación de hormigones y de suelo-cemento.

El agua en el suelo-cemento tiene una importancia clave, y debe asegurar:

- La humedad óptima de la mezcla para alcanzar la máxima compactación.
- La hidratación total del cemento y de la ceniza volante.
- La buena trabajabilidad de la mezcla

Para el caso en que no se cuente con agua potable, se deberá considerar hacer análisis de aguas, enfocado principalmente a conocer su PH, sólidos en suspensión y/o disueltos, así como materias orgánicas.

2.8 Ceniza volante

La ceniza volante corresponde al residuo fino resultante de la combustión de carbón pulverizado arrastrado de la cámara de combustión por gases de escape.

Las cenizas volantes fluyen con los gases de combustión hacia los sistemas captadores de partículas, desde donde serán retiradas y depositadas en silos de ceniza para su acopio temporal y su posterior disposición.

2.8.1 Características generales de las cenizas volantes

Las cenizas volantes son la porción inorgánica del carbón finamente pulverizado, esto es llevado hacia fuera de la caldera con el flujo de gases y colectados por un sistema de captación. Dependiendo de la eficiencia del dispositivo de control de partículas, una pequeña porción de la

fracción más pequeña de las cenizas volantes tiene la consistencia de polvo fino y el color varía de tostado a gris oscuro. El tamaño de sus partículas fluctúa de 0,5 a 100 micras. La composición química de las cenizas depende de las características químicas del carbón quemado pero también del equipo de control de emisiones usado.

2.8.2 Clasificación de las cenizas volantes

Cuando las cenizas se utilizan como una mezcla de minerales en el concreto, estas se clasifican según la ASTM, en dos categorías, clase F y clase C.

En la clase F la ceniza volante es puzolánica y se compone principalmente de silicio, aluminio y hierro. El material puzolánico se endurecerá con agua pero sólo después de una activación con sustancia alcalina como la cal. La clase C de las cenizas volantes, es material cementante que también contiene silicio, aluminio y hierro pero es alto en calcio (CaO) y endurecida con agua (Aljoe, 2007).

En la tabla siguiente se muestra la clasificación de las cenizas volantes según la norma ASTM C618.

	Clase F	Clase C
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	70% mín.*	50% mín.
MgO	5% máx.*	5% máx.
SO ₃	5% máx.	5% máx.
Humedad	3% máx.	3% máx.
Pérdidas a la incineración (LOI)	6% máx.	6% máx.

Tabla 2.5: Clasificación ASTM C618. Fuente: Umaña, 2002.

Las cenizas volantes que reúnen las especificaciones ASTM C618, tienen una alta demanda en productos de concreto, las cenizas volantes de baja calidad que no reúnen estas especificaciones son usadas típicamente en volúmenes muy altos para la aplicación de rellenos estructurales. El uso de la ceniza volante varía dependiendo de la calidad del producto, la proximidad de la planta al mercado y la disponibilidad del producto (Aljoe, 2007).

2.8.3 Uso de cenizas volantes en cemento

Las cenizas volantes son utilizadas comúnmente como un sustituto de cemento portland o como clínquer para producción de cemento portland (ACAA, 2008).

Sustituir parte del cemento portland por ceniza volante trae consigo un beneficio económico, ya que el precio de esta última es menor que el del cemento. Por otro lado, la ceniza volante, obtenida de la quema del carbón utilizado como combustible en la 80 generación de energía eléctrica, es considerada como un contaminante, de manera que su utilización tiene beneficios ambientales (Mendoza, 2006).

La composición química de las cenizas volantes es muy similar a la del cemento portland.

En la tabla siguiente se muestra un análisis realizado a dos tipos básicos de cenizas volantes respecto al cemento portland habitual.

Componente químico	Cenizas volantes (clase F)	Ceniza volante (clase C)	Cemento Portland
SiO	54,90	39,90	22,60
Al ₂ O ₃	25,80	16,70	4,30
Fe ₂ O ₃	6,90	5,80	2,40
CaO	8,70	24,30	64,40
MgO	1,80	4,60	2,10
SO ₃	0,60	3,30	2,30
Na ₂ O & K ₂ O	0,60	1,30	0,60

Tabla 2.6: Composición química ceniza volante – cemento. Fuente: Canals, 2007.

De la tabla anterior se puede deducir que las cenizas volantes y el cemento portland poseen los mismos componentes, pero se distinguen en que, mientras en las cenizas volantes son amorfos (debido al rápido enfriamiento), en el cemento son cristalinos (debido a su más lento enfriamiento).

La diferencia principal se basa en la cantidad relativa de cada uno de sus componentes. El cemento portland es rico en cal, en cambio las cenizas volantes no lo son tanto, pero en estas últimas contienen altas cantidades de silicatos reactivos que en el cemento son pequeñas.

Una mezcla entre ambos componentes provoca un mejor producto en hormigón realizando las propiedades de ambos (Canals, 2007).

2.8.4 Ventajas de la utilización de cenizas volantes en la fabricación de cemento

Ventajas de las cenizas volantes en el cemento
Aumento de la durabilidad en el tiempo.
Mejora la trabajabilidad.
Reduce la segregación.
Disminución de la razón agua/cemento manteniendo la trabajabilidad.
Reduce el costo de fabricación.
Disminuye el impacto ambiental.

Tabla 2.7: Ventajas de las cenizas volantes en el cemento (ACAA, 2007)

2.8.5. Peso específico de la ceniza volante clase F con LOI= 8%

El peso específico de la ceniza volante fue calculado según el manual de carretera volumen 8 anexo 8.102.10, el cual establece el método para determinar la densidad de partículas sólidas. Este método establece el procedimiento para determinar mediante un picnómetro, la

densidad de partículas la densidad de partículas sólidas de suelos compuestos por partículas menores que 5 mm.

Los resultados obtenidos se pueden encontrar en el anexo 1.1 de la presente investigación.

2.8.6 Porcentaje de ceniza volante a ocupar en la mezcla de suelo cemento.

Las cenizas volantes se pueden adicionar al hormigón de tres formas diferentes (Santaella et al., 2004):

- 1) Adición activa incorporada directamente en la mezcladora.
- 2) Adición inerte, es decir, como elemento sustituto o complementario de las fracciones finas de los áridos, cuando éstos son deficitarios en ellas.
- 3) Molida conjuntamente con el clínquer en la preparación de cementos.

Se ha visto que la sustitución parcial del cemento portland con ceniza volante en cantidades del orden de hasta 50% conduce a tener concretos con mejor desempeño en cuanto a su durabilidad (Mendoza, 2006).

En esta investigación se realizara tanto la adición como la sustitución del cemento con carácter parcial y absoluta. Con esta idea se harán dos parámetros de comparación. La primera comparación será de término absoluto realizando un ladrillo de suelo-cemento con un 10% de cemento comparándola con un ladrillo de suelo-ceniza volante que contenga un 10% de ceniza volante. La Segunda comparación de hará sustituyendo en un 5% el cemento por ceniza volante de forma parcial respecto a una adición parcial de un 5% más el 10% de cemento portland.

La incorporación de ceniza volante se hará sde forma activa, vale decir mezclando directamente a la mezcladora.

2.9 Procesos y métodos de fabricación de ladrillos de suelo-cemento

El ladrillo de suelo-cemento posee un método de fabricación totalmente diferente al de los ladrillos de arcilla cocida, que necesitan ser sometidas a altas temperaturas para alcanzar sus máximas resistencias mecánicas. En cambio el ladrillo de suelo cemento alcanza sus mayores resistencias al efectuar una correcta dosificación de sus componentes, una adecuada compactación y un correcto curado y fraguado de las unidades.

2.9.1 Selección y dosificación de los materiales

2.9.1.1 El Suelo

Para confeccionar ladrillos de suelo-cemento, puede usarse una variada composición de suelos, siempre que se despeje su capa vegetal. Las más adecuadas son aquellas que poseen un contenido arenoso superior a un 50%, siendo lo óptimo un 25% de material fino. Este suelo de tipo

arenoso, al agregarles cemento, es con el cual se han producido ladrillos de mejor calidad, de gran resistencia a la compresión y a la erosión. (Ramírez, 2002)

El suelo se someterá a los siguientes ensayos de laboratorio:

- Análisis granulométrico según NCh 165 Of. 77. Este proceso tiene por objetivo conocer la distribución porcentual de los tamaños de las partículas que componen el suelo; determinar su módulo de finura.
- Porcentaje de material fino según NCh 1223 Of. 77, su objetivo es determinar el contenido de limos y arcillas presentes en el suelo.
- Ensayo Método Proctor Modificado, según NCh 1534-2 Of. 1979, cuyo objetivo es determinar la humedad necesaria para alcanzar la máxima compactación.
- Límites de Atterberg, según NCh 1517-1 Of 1979 y NCh 1517-2 Of 1979, y su finalidad es conocer la plasticidad del suelo.

Al conocer las propiedades de los suelos, es posible conocer su clasificación, y su aptitud para ser ocupado en mezclas de suelo-cemento, siendo los más aptos aquellos suelos arenosos, el cual pasa por la malla N° 4, da una resistencia elevada y se contrae poco al secarse. Los suelos con presencia considerable de arcilla, no son muy recomendados para componer la mezcla, aunque se pueden mejorar agregándoles arena.

El suelo deberá tener buenas aptitudes para ser compactado y estar compuesto por una mezcla de arena, limo y arcilla; estos dos últimos en proporción tal, que den cohesión a la mezcla y composición granulométrica variada, sin que se produzcan contracciones perjudiciales.

Un suelo ideal está en el siguiente rango granulométrico:

<i>Cuadro recopilatorio de granulometrías recomendadas para suelo-cemento</i>				
Autores	Recomendación	Arena [%]	Limo [%]	Arcilla [%]
Enteiche	óptimo	75	10	15
	rango	45 a 80	20 a 55	
De la Fuente	rango	55 a 80	20 a 45	
De Olarte	óptimo	70	15	15
U. de Valparaíso	rango	70 a 80	20 a 30	5 a 10
Minke	óptimo	70	30	
Walker, Keable	óptimo	45-80	15 a 30	5 a 20
Krüger	óptimo	60	40	

Tabla 2.8: Rango de componentes suelos recomendados. (Barrosy y Imhoff, 2010)

No se recomienda utilizar en los rangos extremos, ni mínimos, ni máximos, pues ambos generan elevación de costos al adecuarlos para conseguir una buena trabajabilidad.

La arcilla comunica a los suelos plasticidad y resistencia. Sin embargo, los suelos que los contienen en porcentajes superiores al 25%, poseen fuerte tendencia a agrietarse y a contraerse con los cambios de humedad en el secado.

La estabilización de suelos arcillosos por medio de este sistema es costosa, ya que, se necesita de una mayor cantidad de cemento, además la pulverización de la arcilla es lenta, y por último, el humedecimiento de la mezcla de arcilla con cemento es difícil de realizar, ya que se forman grumos.

Una forma de contrarrestar los problemas citados, es agregando arena a la mezcla, buscando igualarlo a un rango ideal.

Idealmente, nos sirven suelos con bajo índice de plasticidad, ya que cuanto mayor es este, más necesidad de agua requiere la mezcla para una óptima compactación, por lo cual, tendrá mayores retracciones al secarse.

2.9.1.2 El Cemento

Aunque se han realizados diversos estudios, con distintos tipos de cementos el más ocupado, y el que se utilizará en esta experiencia es el cemento Portland Puzolánico de grado corriente, ya que es el más económico presente en el mercado nacional.

Se estima que el contenido de cemento debe estar entre el 5 y el 15,4%, no recomendándose exceder del 10% del peso del suelo seco, por razones de economía.

Para la mayor parte de los suelos, el aumento de la cantidad de cemento está en directa relación con el aumento de las resistencias obtenidas así como de su duración.

El cemento en el suelo cumple una doble función, primero, genera efectos ligantes, que dará cohesión que el suelo por si solo no posee, y en segundo lugar, durante el proceso de fraguado, el cemento desprende cal, que cambia las propiedades de la arcilla, disminuyendo su plasticidad y evitando así las variaciones de volumen.

En el presente estudio se realizarán las mezclas tanto patrón como las que poseen ceniza volante, con un 10% de cemento, buscando ante posibles resultados satisfactorios, una asegurada economía de las unidades.

2.9.1.3 El Agua

El efecto de la humedad en la calidad de la mezcla de suelo-cemento tiene su mayor influencia durante el proceso de compactación con una energía determinada, es necesario conseguir la máxima densidad seca del material. La humedad óptima para la compactación viene dada por el tipo de suelo el método de compactación. La mezcla se deberá realizar con una humedad igual o mayor que la humedad óptima para el equipo de compactación disponible.

2.9.2 Mezclado de los componentes

El mezclado de los componentes del suelo-cemento, es totalmente independiente del proceso de fabricación de ladrillos de suelo-cemento.

Primero, se acopia el material en una superficie aislada del terreno natural, ya sea por una cubierta de madera, metálica, o plástica. Lo ideal es una losa de hormigón, con techumbre que proteja los materiales del clima.

Posteriormente, el suelo debe ser secado, ya sea en hornos, fuego directo, o al aire libre.

Se prosigue por pulverizar el material, para deshacer los terrones que puedan haber quedado, se puede realizar tamizando el material en una malla de abertura 4,76 mm.

Una vez pulverizado el suelo, se mezcla con el cemento en la dosis estudiada, y se humedece según el porcentaje de agua para la máxima compactación.

El agua se aplica en forma de riego a challa y la forma más apropiada para hacerlo es en un trompo vertical e ir regando el agua a medida que el trompo gira, una vez aplicada el agua dejar girar por dos minutos.

La mezcla puede estar preparada por a lo más dos horas antes de ser moldeada, luego de ese tiempo, el material comienza su proceso de fraguado, por lo cual, no es recomendable utilizar mezclas producidas después de dos horas.

Para el caso de esta investigación, la mezcla se hará manualmente.

2.9.3 Compactación

Si tenemos una mezcla de suelo-cemento, humedecida con una cantidad apropiada de agua, y quisiéramos que asumiera una forma determinada, cuando se termina el proceso de sequía, la mezcla se coloca en un molde y se compacta. Este moldeado se le llama "Compactación" y se debe realizar dentro de una hora después de que el agua se le agregue a la mezcla, en esta operación, la mezcla se comprime hasta cierto límite y así, su volumen total se reduce.

La compactación se va realizando en distintas capas de suelo, dependiendo de cómo se compacte, ya sea manual o mecánicamente el espesor de la capa va variando. Cuando se termina el proceso, habremos obtenido un "peso unidad máximo" y tendremos una masa más dura, más compacta y con un mínimo de vacíos.

2.9.4 Fraguado y curado de ladrillos

Sin importar el método de fabricación, el proceso de curado y fraguado de los ladrillos es el mismo.

El primer cuidado que se debe tener es el lugar donde se realizará este proceso, debe ser un lugar cerrado, aislado del sol y la lluvia, para que el proceso de fraguado sea lento y sin cambios violentos de temperatura.

Una vez que los ladrillos se desmoldan se mantienen almacenados sin apilarse, y la superficie donde se dejen debe ser lisa y no absorbente, pasado un par de horas de haber sido desmoldados, se almacenarán y mantendrá un riego continuo con una lluvia suave de agua limpia, de preferencia potable.

Pasadas las 24 horas, y durante los siguientes tres días, los ladrillos deberán mantenerse humedecidos mediante una lluvia fina de baja presión un par de veces al día, tal que, los ladrillos se mantengan saturados superficialmente secos.

Al quinto día de su fabricación, podrán encasillarse en palets y apilarse de soga hasta una altura máxima de 5 hileras de ladrillos, manteniendo el riego dos veces por día hasta completar el octavo día de su fabricación, edad en que el ladrillo puede transportarse fuera del área de curado y ser almacenado en un lugar cerrado y seco hasta la edad de 28 días, que es la edad óptima para su uso en construcción. Al término de este plazo se ha alcanzado una resistencia mecánica cercana a la máxima y se han producido también las mayores variaciones físicas.

2.9.5 Sistemas de fabricación de ladrillos de suelo-cemento

2.9.5.1 Moldes simples

Este método es el más artesanal, consistente en un molde rígido, que puede ser desarmable, articulado o fijo generalmente de madera, y un pisón del mismo material.

El molde se coloca sobre una superficie plana y no absorbente y se introduce en él la mezcla humedecida y suelta, en capas de no más de 5 cm de espesor, que se apisonan hasta conseguir una compactación máxima.

Inmediatamente formado el ladrillo y alisada su cara superior, se retira el molde.

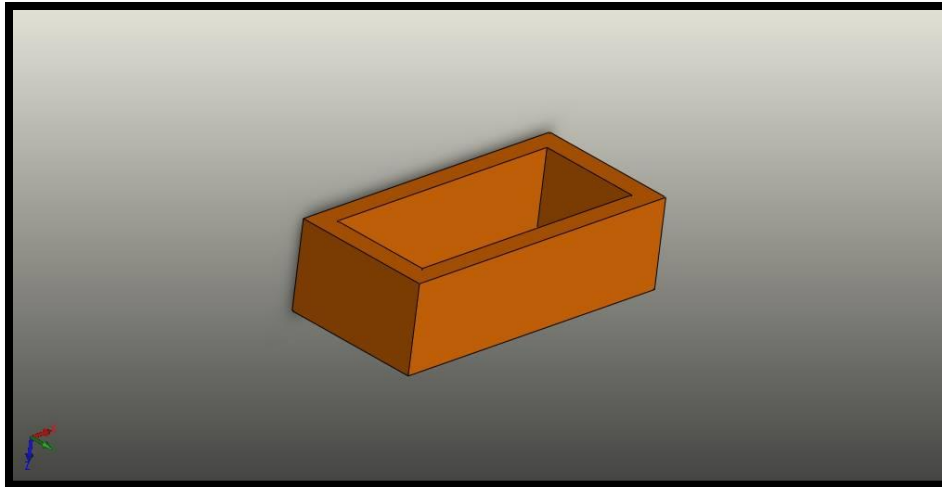


Figura 2.1: Molde Fijo

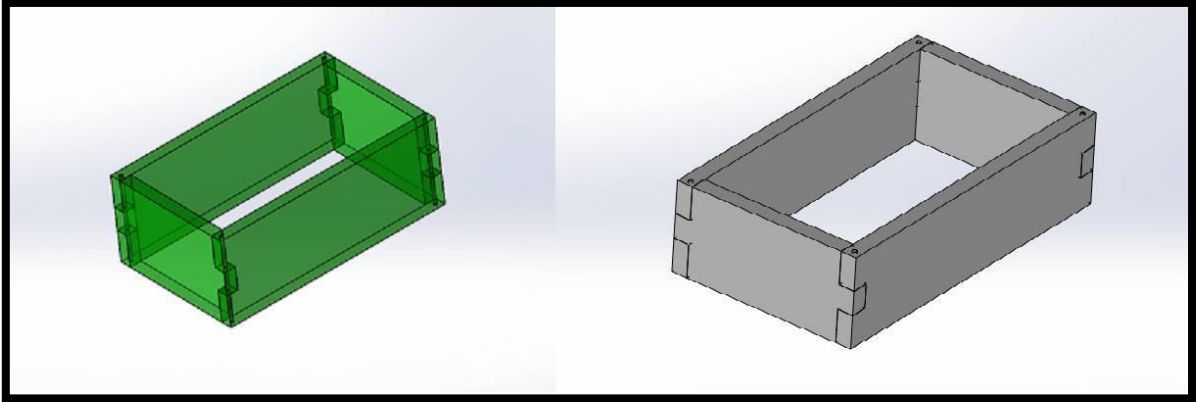


Figura 2.2: Molde Desarmable y articulado

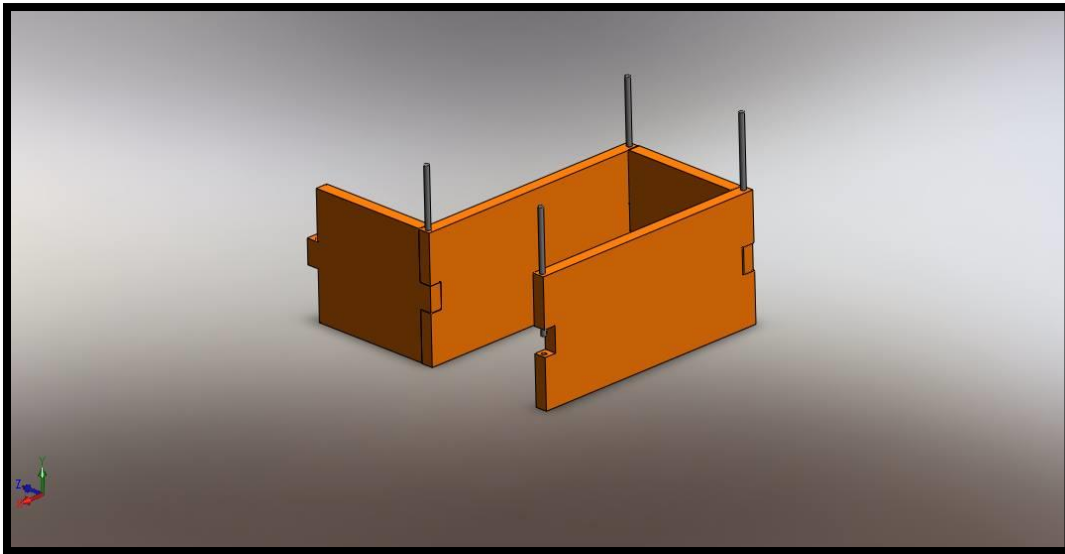


Figura.2.3: Molde Articulado

2.9.5.2 Máquinas moldeadoras manuales

Cinva-Ram

Una de las más utilizadas, diseñada por Raúl Ramírez, ingeniero, Chileno. Esta máquina es portátil, y se requiere de dos personas para su manipulación, logrando una producción de 300 ladrillos por jornada laboral de ocho horas.

Es necesario humectar el molde con una película aislante (Petróleo o grasa), con el fin de evitar que la mezcla de suelo cemento se adhiera a las paredes del molde.



Figura 2.4: Cinva-Ram

Ellson

Esta es una prensa manual de ladrillos de 27,9 x 22,9 x 10,2 cm. Son necesarios dos obreros para su funcionamiento.

El método de fabricación con esta máquina se abrevia como sigue; en el molde de la maquina se vierte el suelo-cemento previamente dosificado y mezclado, luego el molde se comprime a una presión de 55 kg/cm². Finalmente el ladrillo se desmolda y se inicia su proceso de curado.

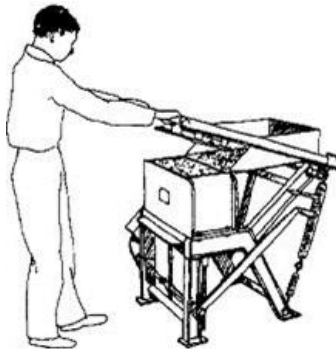


Figura 2.5: Ellson

Landcrete

Esta máquina es operada dando vuelta simultáneamente dos palancas, y como resultado la mezcla de suelo-cemento en el molde se comprime a una presión de 105 kg/cm². Los tamaños de los bloques son de 29,2 x 22,9 x 11,4 cm. Para operar esta máquina se requieren de dos obreros.

Permaq MTS-010

La prensa manual de ladrillos de suelo-cemento Permaq MTS-10, tiene una capacidad de producción de 2000 unidades en una jornada de 8 horas. Esta prensa posee articuladores con rodaje, de estructura robusta y con moldes ajustados con tornillos para permitir su intercambio.

Con esta prensa se puede fabricar ladrillos de 10 x 20 x 5 cm y 12,5 x 25 x 5,25 cm, los que pueden ser macizos o son huecos.

Esta máquina permite un acabado rayado de los cantos y con encajes de 1 cm – 10 m/m.

Hobby

Esta prensa de uso manual tiene una capacidad de producción de 600 a 800 ladrillos en una jornada de 8 horas, ocupando para ello dos operarios, uno para llenar la prensa con el material húmedo de suelo-cemento; y el otro operario es para manipular la prensa y retirar los ladrillos al lugar de curado.

Alguna de las características de esta moldeadora es su peso, con solo 40 kg, es totalmente desmontable.

Los moldes se pueden intercambiar y se compran por separado, entre estos: 10 x 21 x 5 cm; 11 x 23 x 5 cm; 12,5 x 25 x 5 cm y 15 x 30 x 7.

2.9.5.3 Maquinas moldeadoras automáticas

Winget

Prensa hidráulica para bloques y ladrillos, operada por un motor, el cual ejerce una presión de 70 kg/cm² sobre la mezcla de suelo cemento.

Su procedencia es inglesa, y su funcionamiento es en tres ciclos dentro de una base rotatoria.

Primero, llenado, después compactación y finalmente desmolde.

La producción de esta máquina es de alrededor de 330 unidades/hora.

TORSA HPT – 30

Esta máquina es de origen brasileña, capaz de fabricar 15.000 ladrillos en una jornada de 8 horas de trabajo y su equipamiento completo es SUPERTOR. Esta es la máquina apropiada para industrializar la confección de ladrillos de suelo- cemento, por su rendimiento y durabilidad.

2.9.5.4 Modo a emplear en el estudio en laboratorio

En la fabricación de ladrillos de suelo cemento se usara la maquina Cinva Ram descrita en el punto 2.9.5.2.

Las dimensiones serán las mismas del ladrillo fiscal, las cuales son 28 x 14 x 7 cms. respectivamente.

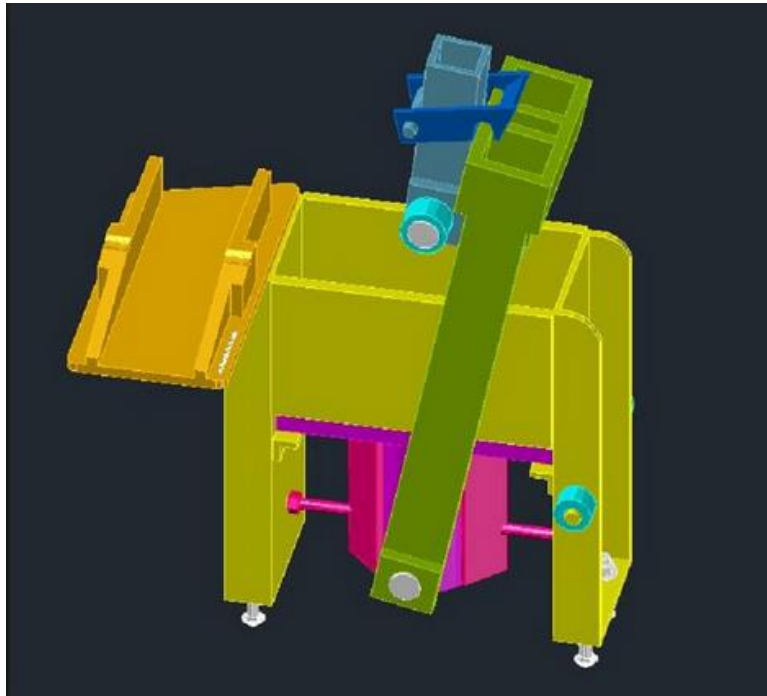


Figura 2.6: Sistema empleado en la fabricación de ladrillos.

2.10 El suelo cemento con incorporación de fibras

Estudios recientes del suelo cemento, le han incorporado fibras, desde perlas de poliestireno expándido, hasta microfibras de polipropileno, ya sea para aligerarlo, como para mejorar sus propiedades.

Un estudio reciente, en el cual se le agregó perlas de poliestireno expandido en adiciones variables, demostró, que al aplicarles un material de distinta naturaleza, sus propiedades no se afectan negativamente, por el contrario, se mejoran.

En dicho estudio las proporciones de poliestireno que se le incorporaron a la mezcla fueron dentro del rango de 5 al 30%, obteniendo los mejores resultados dentro del 5 al 15%. También se han realizado ladrillos de suelo cemento en adición de PET, con adiciones que fluctúan desde 0 a 7 % como reemplazo del árido fino. Los resultados no superaron la resistencia mecánica a compresión respecto a la muestra patrón, por lo que tu hipótesis de mejorar sus propiedades fue refutada. La otra adición incorporada fue con fibra de vidrio en donde si se superan los datos de compresión normal respecto a la muestra patrón a diferencia de la adición de PET.

2.11 Ensayos a realizar

Los ensayos a que se someterán las unidades de ladrillos de suelo-cemento serán los estipulados en la NCh 167 Of. 2001 Ladrillos Cerámicos – Ensayos, debido a que no existe normativa que regule los ladrillos de suelo cemento. Y además, deberán cumplir con los requerimientos establecidos en la NCh 169 Of. 2001 Ladrillos cerámicos – Clasificación y requisitos.

2.11.1 Resistencia a compresión

Relación entre la carga máxima que resiste la unidad, cuando esta carga actúa perpendicularmente.

Para la realización de este ensayo se requiere de una prensa provista de rótula.

El tamaño mínimo de la muestra será de seis unidades, las cuales deberán estar secas; en caso de no ser así, secar en horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas.

Se comienza por colocar el ladrillo en el centro de las placas de la prensa, la cual debe estar libre de cualquier impureza, que impida la correcta ejecución del ensayo.

Posteriormente se comienza a aplicar la carga en forma normal, y su velocidad de carga no debe exceder de 20 MPa/min. (NCh 167 Of 2001)

La resistencia a compresión se obtiene dividiendo la carga máxima por la superficie media de sus dos caras de apoyo.

2.11.2 Absorción de agua

Es la cantidad de agua que absorbe el ladrillo, mediante inmersión total, durante 24 horas.

Para la realización del ensayo se requiere de una balanza con una sensibilidad de 0,5 g, y además de un recipiente que permita la inmersión de toda la muestra.

El tamaño mínimo de la muestra será de seis unidades.

En primer lugar, los ladrillos se secan hasta peso constante en un horno ventilado a una temperatura de 110 a 115 °C, se considera peso constante p1, cuando la diferencia entre dos mediciones seguidas varíe menos de un 0,1%, o bien 24 horas.

Los ladrillos ya secos se sumergen completamente en agua potable durante 24 horas.

A continuación, se sacan los ladrillos y se dejan estilar por 5 minutos aproximadamente, y luego se les quita el agua superficial visible con un paño húmedo, e inmediatamente se pesan, p2.

La absorción se calcula según:

$$A = ((p2 - p1) / p1) * 100$$

En que:

A: Absorción de agua en %.

P1: Masa del ladrillo seco, en Kg.

P2: Masa del ladrillo saturado, en Kg.

2.11.3 Adherencia a cizalle

Es la atracción físico-química entre el ladrillo y el mortero de pega.

Este ensayo se realiza sometiendo a cizalle probetas formadas por tres ladrillos, pegados con mortero normalizado, según NCh 163 Of. 2001.

Para este ensayo se requiere de una prensa provista de rótula, y la muestra debe ser de 18 ladrillos.

Para confeccionar las probetas se coloca el primer ladrillo sobre una superficie plana y nivelada, para luego extender una capa de mortero de 20 mm de espesor. A continuación se coloca el ladrillo central, ejerciendo una presión uniforme, de manera de obtener un espesor de junta de 10 mm. Después de un periodo de una hora, y luego de humectar la cara del ladrillo central, se coloca la segunda capa de mortero y el tercer ladrillo, procediendo de forma análoga.

Las probetas se dejan secar en ambiente de laboratorio, tapadas con polietileno, por 7 días.

El ensayo se realiza controlando la velocidad de aplicación de carga, la que no debe ser mayor de 1 MPa/min.

La adherencia se calcula según:

$$A = P/S$$

En que:

A: Adherencia, en MPa.

P: Carga Máxima, en N.

S: Área bruta total de las superficies de pega, en mm².

2.12 Tamaño de la muestra

Ensayo	Nº muestras
Resistencia a la Compresión	6
Absorción de agua	6
Adherencia a Cizalle	18
Total	30

Tabla 2.9: Tamaño muestra. Fuente (elaboración propia).

Se consideran 6 dosificaciones, por lo tanto nuestra muestra asciende a la suma de 180 ladrillos, por edad de ensayo. La edad considerada por norma es a los 28 días respectivamente después de haber compactado y retirado el ladrillo. Pero para ver la evolución de sus propiedades también se hará a los 7 días. Finalmente nuestra muestra de ensayo será de 260 ladrillos.

CAPITULO 3: Diseño experimental

En primera instancia, se procederá por definir el suelo, al realizarle el análisis granulométrico; posteriormente, se analizarán los límites de consistencia, para con ellos, definir el índice de plasticidad que posee el suelo y clasificarlo. En caso de que el suelo tenga menos de un 12 % de finos que pasa por malla N°200 se deberá calcular la densidad relativa dada por la 1116 NCH OF. 77, la cual establece la humedad necesaria para obtener una mezcla trabajable de acuerdo al sistema de compactación presentado en figura 2.6. Además se deberán desarrollar los Proctor modificados según NCh 1534-2 Of. 1979 para todas las distintas mezclas para obtener las densidades máximas compactadas secas (D.M.C.S.), y se comparara con la densidad aparente obtenida de los ladrillos para ver cuánto porcentaje alcanzo respecto a la del proctor modificados. El tomara el mayor resultado obtenido entre ambos ensayos.

Una vez conocida la humedad necesaria para manipular la mezcla se procederá por comenzar la fabricación de ladrillos, según lo expuesto en el punto 2.9.2 del presente informe y con el sistema de compactación presentada en figura 2.6.

Considerando que el ladrillo planteado en el estudio tiene 7 cm de alto, se consideró el molde con paredes de 10 cm. para efectuar un llenado del molde de forma de compactar uniformemente la mezcla.

Para asegurar una geometría uniforme del ladrillo, se considera realizar ladrillos de prueba, con el fin de establecer la cantidad óptima de mezcla en kg. para obtener un ladrillo de 7 cm de espesor con la compactación que nos ofrece la prensa.

El desmolde se ejecutará inmediatamente después de haber hecho la compactación y se dispondrán las unidades para el proceso de curado, establecido en el punto 2.9.4 del presente informe.

Una vez hechos los ladrillos de prueba, y concluido cual es la cantidad de mezcla necesaria para una unidad, se comenzará por confeccionar la muestra patrón, para posteriormente seguir por los que contienen ceniza volante en distintas proporciones.

La cantidad de cemento a ocupar no superara el 15 % de la mezcla ya que se habla de suelo-cemento y no de cemento-suelo, y además por motivos económicos.

Una vez confeccionados los ladrillos, se efectúa el tratamiento de curado, establecido en el punto 2.9.4 del presente documento.

Finalmente, se proceden a realizar los ensayos establecidos en la NCh 167 Of. 2001. Se analizarán los resultados, para con estos, refutar o no la hipótesis, y plantear, por último, las conclusiones de la investigación.

Y en base a la experiencia se propondrán nuevas temáticas de investigaciones para ser desarrolladas.

Lo anterior, se puede visualizar en el siguiente diagrama:

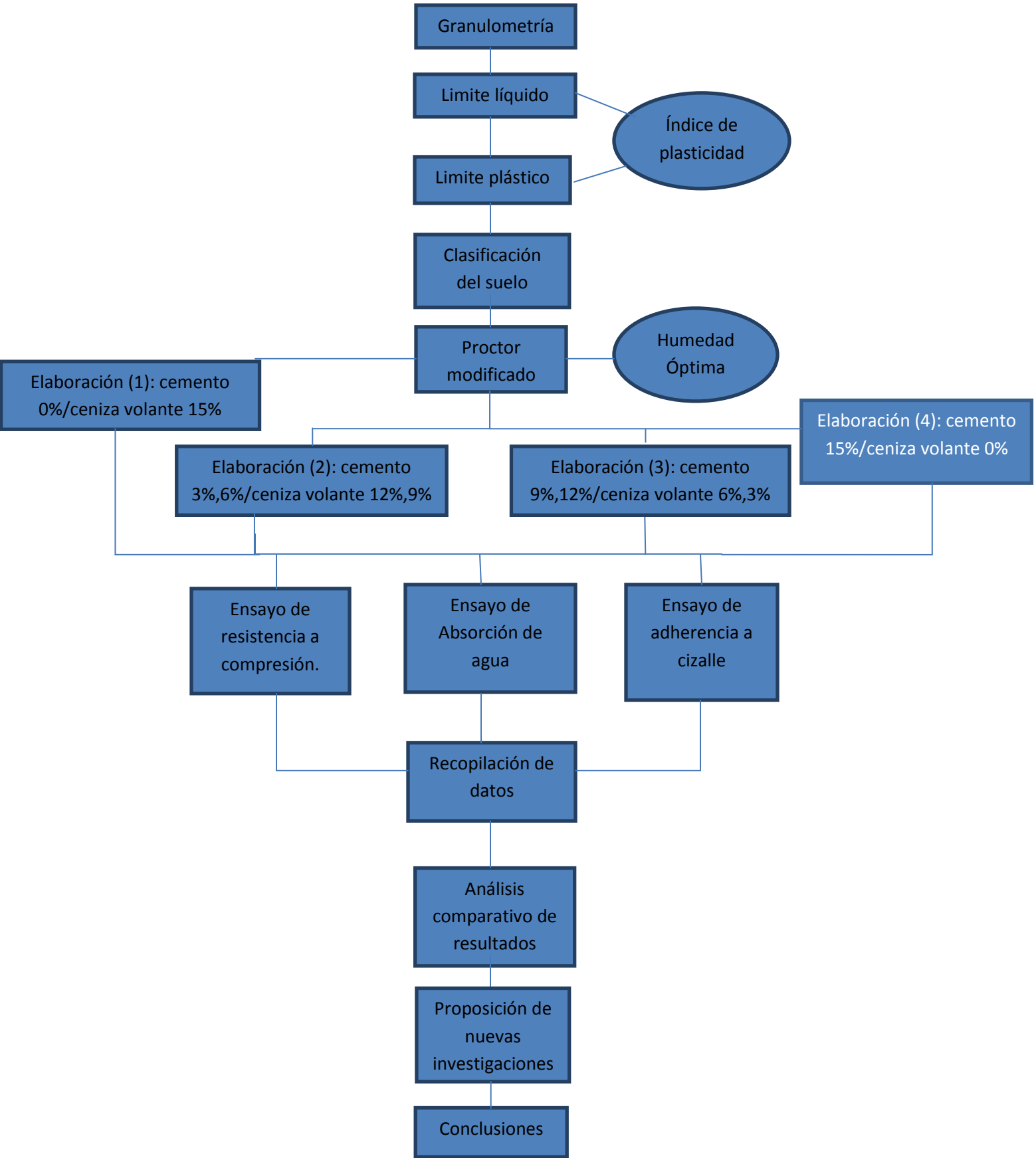


Figura 3.1, Desarrollo en laboratorio (diagrama de flujo)

3.1 Definición de variables

3.1.1 Variables dependientes

Las variables dependientes corresponderán a los resultados obtenidos en los ensayos de Resistencia a Compresión, Absorción de agua y Adherencia a Cizalle.

- a) Resistencia a compresión
Mediante este ensayo se determinará la resistencia adquirida por los ladrillos.
- b) Absorción de Agua
Mediante este ensayo se determinará la cantidad de agua que el ladrillo absorberá en un periodo de inmersión total de 24 horas.
- c) Adherencia a Cizalle
Mediante este ensayo se determinará la atracción molecular físico-química entre la superficie del ladrillo y el mortero de pega.

3.1.2 Variables independientes

Corresponderá a la cantidad de ceniza volante y cemento a incorporar. En cual las distintas dosificaciones en peso se pueden visualizar en la siguiente tabla.

	Dosificación 1	Dosificación 2	Dosificación 3	Dosificación 4	Dosificación 5	Dosificación 6
% de cemento	0	3	6	9	12	15
% de ceniza volante	15	12	9	6	3	0
	Muestra patrón	Ladrillo suelo -ceniza volante-cemento		Ladrillo suelo-cemento-ceniza volante		Muestra patrón

Tabla 3.1: dosificación cemento – ceniza volante (fuente: elaboración propia).

3.2 Ladrillos de Prueba

Con el sistema anteriormente citado, se confeccionarán ladrillos de prueba, para obtener información del proceso de fabricación.



Figura 3.2: Ladrillo de Prueba

CAPITULO 4: Desarrollo experimental

En el presente capítulo se dan a conocer los resultados obtenidos en los ensayos realizados a la muestra de suelo y a los ladrillos de suelo cemento – ceniza volante, todos ellos confeccionados según las normativas mencionadas en los capítulos anteriores. Estos ensayos fueron efectuados en los laboratorios de Mecánica de suelos de la Universidad de Valparaíso.

4.1 Ensayos a muestra de Suelo Natural

4.2.- Ensayos sobre muestra de suelo natural

4.2.1.- Análisis Granulométrico

Para la realización del análisis granulométrico, se consideran tres mediciones, para hacer más representativo el estudio.



Figura 4.1: Muestra para realización de granulometría y límites de consistencia (Fuente: elaboración propia).

La expresión de resultados está representada en las siguientes tablas con su respectivo gráfico:

Tamiz	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		Granulometría promedio	
ASTM (Pulg.)	% retenido	% que pasa	% retenido	% que pasa	% retenido	% que pasa	% retenido	% que pasa
3/4"	0	100	0	100	0	100	0	100
3/8"	0,32	99,68	0	100	0,3	99,7	0,21	99,79
4	1,26	98,42	0,18	99,82	1,28	98,42	0,91	98,89
10	18,52	79,9	20,48	79,52	17,58	78,98	18,86	79,47
40	46,45	33,45	48,57	30,95	46,37	32,61	47,13	32,34
200	17,71	15,74	16,63	14,32	17,79	14,82	17,38	14,96

Tabla 4.1: Resultados distribución porcentual de partículas del suelo (Fuente: Universidad de Valparaíso).

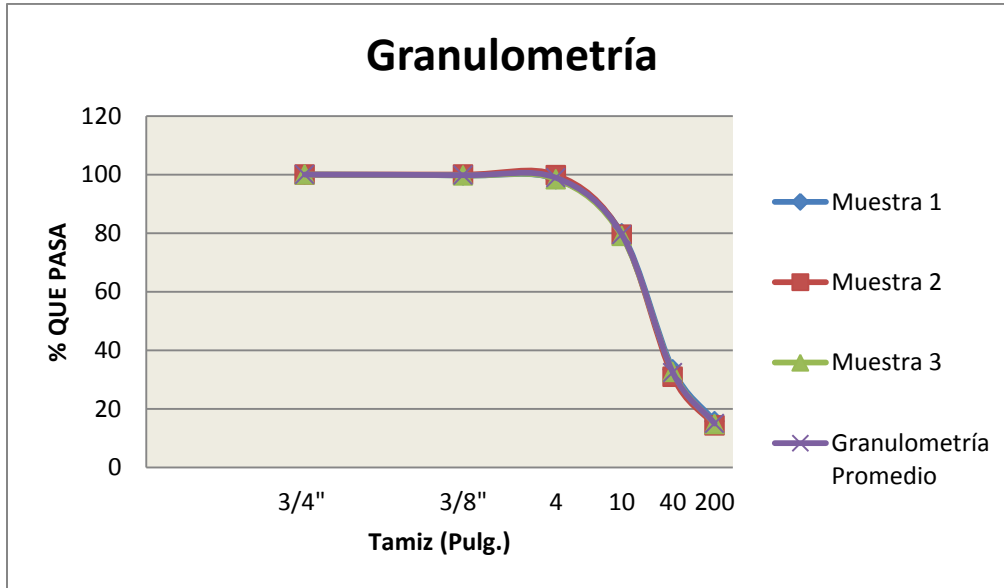


Figura 4.2: Grafico granulometría suelos (Fuente: Elaboración propia).

4.2.2 Límites de Consistencia

4.2.2.1 Límite líquido:

Límite Líquido					
Ensaye	1	2	3	4	5
Nº Capsula	49	22	15	55	1ª
Nº Golpes	7	10	23	30	38
Peso Cap+Suelo Hum (g)	7,72	7,82	7,6	6,21	7,58
Peso Cap+Suelo Seco (g)	19,05	25,03	29,86	18,23	17,58
Peso Capsula (g)	16,12	20,51	24,25	15,24	15,26
Peso Agua (g)	2,93	4,52	5,61	2,97	2,32
Peso Suelo Seco (g)	8,4	12,69	16,65	9,03	7,68
% Humedad	43,88	35,61	33,69	32,89	30,2

Tabla 4.2: Límites de consistencia suelo (fuente: elaboración propia).

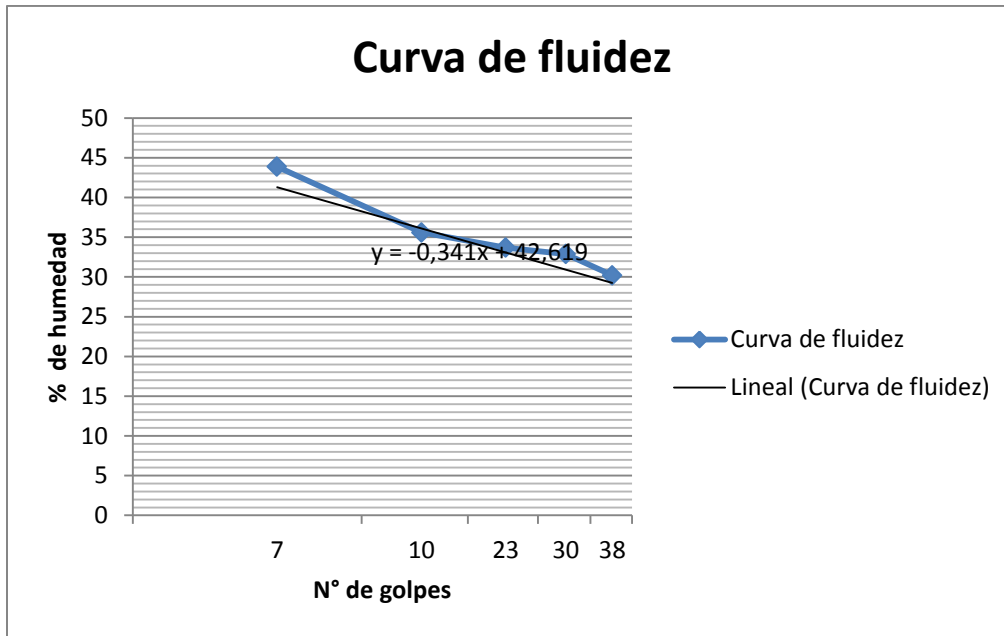


Figura 4.3: Grafico curva de fluidez (Fuente: elaboración propia)

- $LL = -0,341 (25) + 42,619 = 34,094$

4.2.2.2 Límite plástico:

Ensaye	Límite Plástico		
	1	2	3
Nº Capsula	G	14	N
Peso Cap+Suelo Hum (g)	7,54	6,79	8,5
Peso Cap+Suelo Seco (g)	9,17	9,32	11,26
Peso Capsula (g)	8,85	8,83	10,73
Peso Agua (g)	0,32	0,49	0,53
Peso Suelo Seco (g)	1,31	2,04	2,23
% Humedad	24,42	24,01	23,76

Tabla 4.3. Limite Plástico (Fuente elaboración propia)

LIMITE LIQUIDO (LL)	34
LIMITE PLASTICO (LP)	24
INDICE DE PLASTICIDAD (IP)	10

Tabla 4.4: Resumen de resultado Límites de Consistencia (Fuente: Elaboración propia).

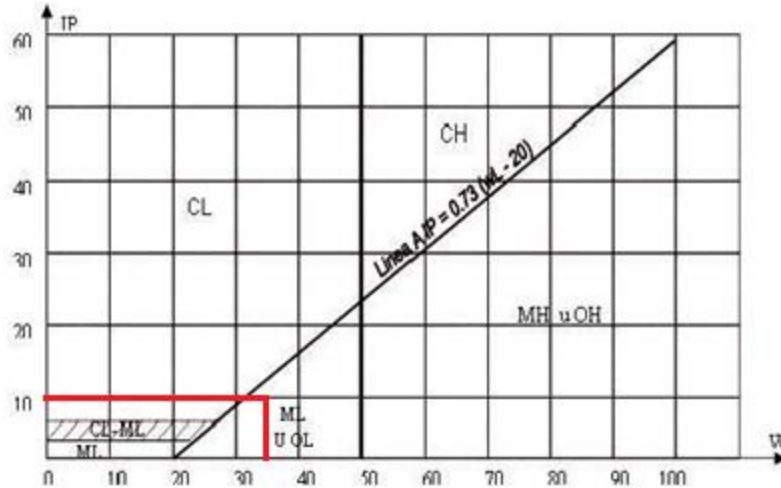


Figura 4.4: Carta de plasticidad (Fuente: Moreno, 2013)

4.2.2.3 Análisis de resultados clasificación suelo:

Ya obtenida la granulometría, los límites de consistencia y la carta de plasticidad podemos clasificar el suelo con los sistemas estandarizados.

Según el sistema unificado U.S.C.S., nuestro suelo presenta un 14,96% en promedio que pasa por el tamiz 0,08 mm. que es menor al 50% del suelo, por lo que corresponde a un suelo grueso. El porcentaje que pasa por el tamiz de 5 mm. es de 98,89% , el cual es superior al 50% correspondiendo a ser una arena. Nuestro índice de plasticidad es de 10 el cual es mayor a 7, pero menor a $0,73(WL - 20)$ equivalente a 10,22, lo que nos entrega un suelo del tipo arena limosa (SM) tal cual muestra la carta de plasticidad.

Según el sistema AASHTO el suelo pertenece en una clasificación general de suelos granulares ya que por la malla N°200 pasa un 14,96% en promedio siendo menor al 35% que pasa. Luego nuestro límite líquido es 34 siendo menor a 40, y además el índice de plasticidad es 10, por lo tanto nuestro suelo corresponde al grupo A-2-4 con un $IG=0$, el cual corresponde a un suelo o material granular con partículas finas limosas.

Según el análisis anterior, el suelo escogido es apto para ser usado para la confección de ladrillos, ya que según nuestro marco teórico específicamente en la tabla 2.8 puede ser un suelo de tipo arena arcillosa, arena limosa, arena arcillosa limosa y arena limosa arcillosa.

4.3 Ensayo Proctor modificado

4.3.1 Ensayo Proctor modificado suelo natural.

Ensayo Proctor Modificado para muestra de Suelo natural											
I.- Datos para el ensayo											
1	Molde (humedad)(%)	2%	4%	6%	8%	10%					
2	(Mm) Masa molde (g)	1629	1637	1637	1637	1637					
3	(V) Volumen (cm ³)	930	944	944	944	944					
II.- Densidad húmeda											
1	(Mc) Masa molde + Suelo compactado (g)	3627	3653	3678	3686	3613					
2	(M) Masa suelo Compactado (Mc-Mm) (g)	1998	2016	2041	2049	1976					
3	(Dh) Densidad Húmeda (M/V) (g/cm ³)	2,14	2,14	2,16	2,17	2,09					
III.- Determinación de la Humedad											
1	Nº Recipiente	2%	4%	6%	8%	10%					
a	(Mr) Masa Recipiente (g)	33,9	32,36	50,44	38,14	34,48	33,9	34,48	32,8	31,71	46,75
b	(Mh) Masa Recipiente + Masa Húmeda (g)	166,87	215,3	185,47	167,32	166,28	190,19	186,78	166,25	210,67	209,72
c	(Ms) Masa Recipiente + Masa seca (g)	160,26	206,09	174,12	195,96	154,48	176,66	171,22	151,79	190,25	190,71
d	(W) $((Mh-Ms)/(Ms-Mr))*100$ (%)	3,405	5,3	9,18	156,6	9,83	9,48	11,38	12,15	12,87	13,2
2	Promedio Humedad (%)	4,62	9,12	9,66	11,77	13,04					
IV.- Densidad Seca											
1	(Ds) $(100*Dh)/(W+100)$ (g/cm ³)	1,95	1,96	1,97	1,94	1,85					

Tabla 4.5: Ensayo Proctor Modificado muestra de suelo natural (Fuente: Universidad de Valparaíso)

Humedad real (%)	DCS (Gr/cm ³)
4,62	1,95
9,12	1,96
9,66	1,97
11,77	1,94
13,04	1,85

Tabla 4.6: Resumen Ensayo Proctor Modificado muestra de suelo natural (Fuente: Elaboración propia).

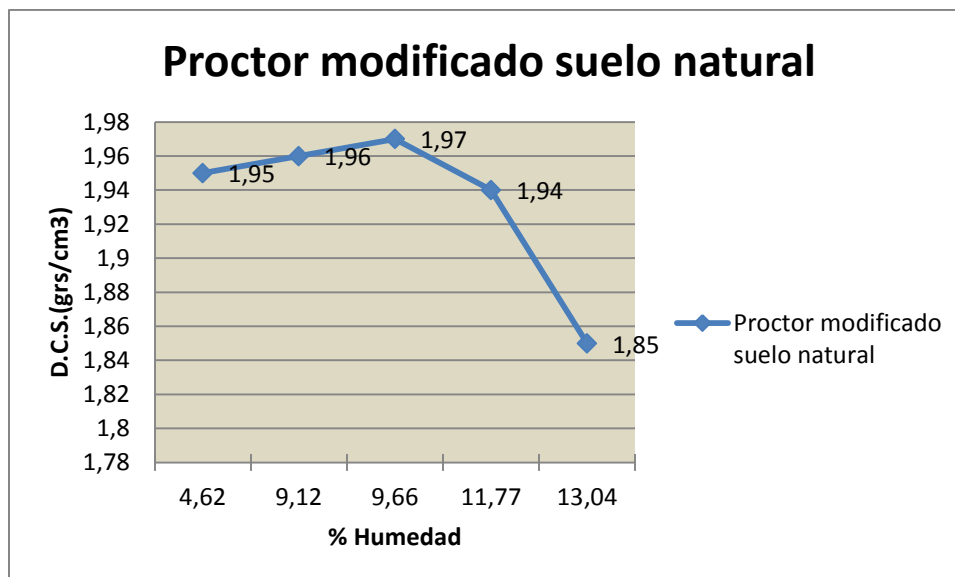


Figura 4.5: Gráfico Proctor modificado muestra de suelo natural (Fuente: Elaboración propia)

4.3.2 Ensayo Proctor modificado suelo natural con 15% de cemento

Ensayo Proctor Modificado para muestra de Suelo Natural con 15% de cemento												
I.- Datos para el ensayo												
1	Molde (humedad)(%)		2%	4%	6%	8%	10%					
2	(Mm)	Masa molde (g)	1637	1637	1754	1637	1754					
3	(V)	Volumen (cm³)	944	944	944	944	944					
II.- Densidad Húmeda												
1	(Mc)	Masa molde + Suelo compactado (g)	3600	3688	3895	3730	3847					
2	(M)	Masa suelo Compactado (Mc-Mm) (g)	1663	2051	2141	2093	2093					
3	(Dh)	Densidad Húmeda (M/V) (g/cm³)	1,76	2,17	2,27	2,22	2,21					
III.- Determinación de la Humedad												
1	Nº Recipiente		2%		4%		6%		8%		10%	
a	(Mr)	Masa Recipiente (g)	33,4	37,79	40,76	37,49	46,07	45,91	41,93	32,24	40,01	29,86
b	(Mh)	Masa Recipiente + Masa Húmeda (g)	157,12	227,71	181,38	175,98	208,8	236,95	258,33	224,78	240,03	191,05
c	(Ms)	Masa Recipiente + Masa seca (g)	150,09	217,42	173,99	166,03	192,96	217,11	236,14	204,66	216,27	172,54
d	(W)	$((Mh-Ms)/(Ms-Mr))*100$ (%)	6,02	5,73	7,8	7,74	10,78	11,59	11,43	11,67	13,48	12,97
2	Promedio Humedad (%)		5,88		7,77		11,19		11,55		13,23	
IV.- Densidad Seca												
1	(Ds)	$(100*Dh)/(W+100)$ (g/cm³)	1,98	2,01	2,04	1,99	1,95					

Tabla 4.7: Ensayo Proctor Modificado muestra de suelo natural y 15% cemento (Fuente: Universidad de Valparaíso).

Humedad real (%)	DCS (Gr/cm3)
5,88	1,98
7,77	2,01
11,19	2,04
11,55	1,99
13,23	1,95

Tabla 4.8: Resumen Ensayo Proctor Modificado muestra de suelo natural con 15% de cemento (Fuente: Elaboración propia).

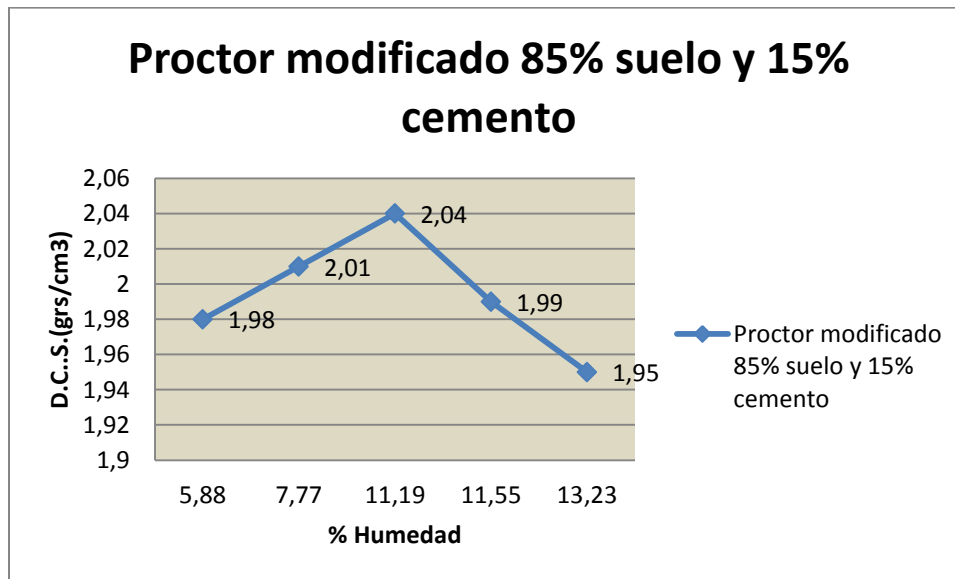


Figura 4.6: Gráfico Proctor modificado muestra de suelo natural con 15% de cemento (Fuente: Elaboración propia).

4.3.3 Ensayo Proctor modificado mezcla suelo 85%, cemento 12%, ceniza volante 3%.

Ensayo Proctor Modificado para muestra de Suelo 85% , 12% cemento y 3% ceniza volante											
I.- Datos para el ensayo											
1	Molde (humedad)(%)	2%	4%	6%	8%	10%					
2	(Mm) Masa molde (g)	1629	1629	1629	1629	1754					
3	(V) Volumen (cm ³)	930	930	930	930	944					
II.- Densidad Húmeda											
1	(Mc) Masa molde + Suelo compactado (g)	3623	3644	3694	3716	3808					
2	(M) Masa suelo Compactado (Mc-Mm) (g)	1994	2015	2065	2087	2054					
3	(Dh) Densidad Húmeda (M/V) (g/cm ³)	2,14	2,17	2,22	2,24	2,18					
III.- Determinación de la humedad											
1	Nº Recipiente	2%	4%	6%	8%	10%					
a	(Mr) Masa Recipiente (g)	32,8	34,48	45,84	38,14	46,75	32,36	24,21	33,61	32,63	48,22
b	(Mh) Masa Recipiente + Masa Húmeda (g)	150,79	167,4	198,35	167,32	175,47	159,24	179,5	172,33	206,91	231,64
c	(Ms) Masa Recipiente + Masa seca (g)	144,3	160,66	187,15	195,96	163,24	147,5	162,17	157,39	186,47	210,04
d	(W) $((Mh-Ms)/(Ms-Mr))*100$ (%)	5,82	5,34	7,92	156,6	10,5	102	12,56	12,07	13,29	15,35
2	Promedio Humedad (%)	5,58	8	10,35	12,32	13,32					
IV.- Densidad Seca											
1	(Ds) $(100*Dh)/(W+100)$ (g/cm ³)	2,01	2,02	2,03	1,99	1,92					

Tabla 4.9: Ensayo Proctor Modificado muestra de suelo 85%, 12% cemento y 3% ceniza volante
(Fuente: Universidad de Valparaíso)

Humedad real (%)	DCS (Gr/cm3)
5,58	2,01
8	2,02
10,35	2,03
12,32	1,99
13,32	1,92

Tabla 4.10: Resumen Ensayo Proctor Modificado muestra de suelo 85%, 12% cemento y 3% ceniza volante (Fuente: Elaboración propia)

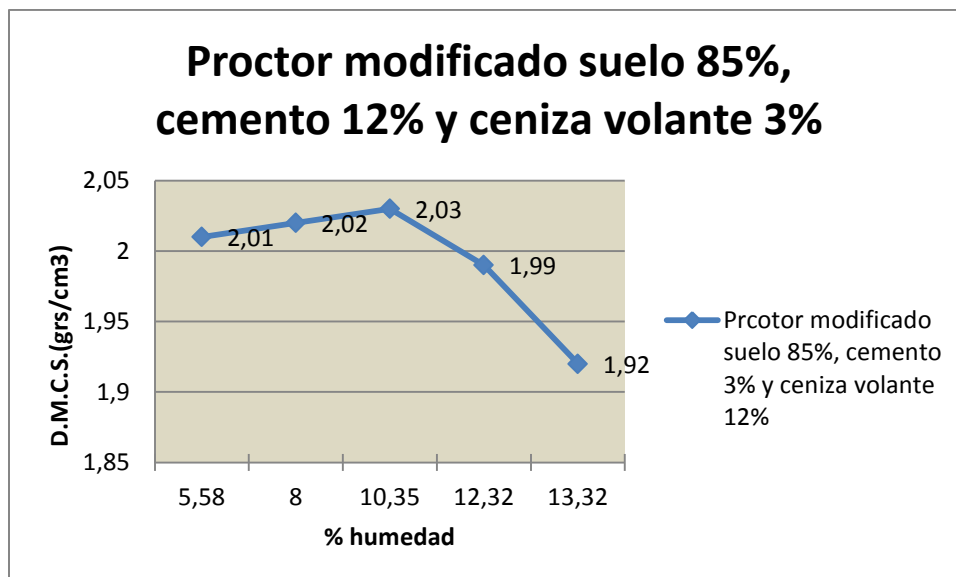


Figura 4.7: Gráfico Proctor modificado muestra de suelo 85%, 12% cemento y 3% ceniza volante (Fuente: Elaboración propia)

4.3.4 Ensayo Proctor modificado mezcla suelo 85%, cemento 9%, ceniza volante 6%.

Ensayo Proctor Modificado para muestra de Suelo 85%, cemento 9% y ceniza volante 6%											
I.- Datos para el ensayo											
1	Molde (humedad)(5)	4%		6%		8%		10%		12%	
2	(Mm) Masa molde (g)	1637		1637		1637		1637		1637	
3	(V) Volumen (cm³)	944		944		944		944		944	
II.- Densidad Húmeda											
1	(Mc) Masa molde + Suelo compactado (g)	3631		3657		3634		3684		3634	
2	(M) Masa suelo Compactado (Mc-Mm) (g)	1944		2020		1997		1997		1997	
3	(Dh) Densidad Húmeda (M/V) (g/cm³)	2,11		2,14		2,12		2,12		2,12	
III.- Determinación de la Humedad											
1	Nº Recipiente	4%		6%		8%		10%		12%	
a	(Mr) Masa Recipiente (g)	32,8	40,86	33,61	38,14	33,33	45,84	37,09	31,29	45,82	45,62
b	(Mh) Masa Recipiente + Masa Húmeda (g)	150,07	218,06	159,17	159,36	165,96	186,53	174,95	153,65	182,08	220,42
c	(Ms) Masa Recipiente + Masa seca (g)	141,79	205,89	148,56	148,87	152,7	172,17	159,08	140,04	164,5	198,87
d	(W) $((Mh-Ms)/(Ms-Mr))*100$ (%)	7,6	7,37	9,23	9,47	11,11	11,37	13	12,51	14,81	14,06
2	Promedio Humedad (%)	7,49		9,35		11,24		12,76		14,44	
IV.- Densidad Seca											
1	(Ds) $(100*Dh)/(W+100)$ (g/cm³)	1,96		1,97		2,01		1,92		1,85	

Tabla 4.11: Ensayo Proctor Modificado muestra de suelo 85%, 9% cemento y 6% ceniza volante (Universidad de Valparaíso).

Humedad real (%)	DCS (Gr/cm ³)
7,49	1,96
9,35	1,97
11,24	2,01
12,76	1,92
14,44	1,85

Tabla 4.12: Resumen Ensayo Proctor Modificado muestra de suelo 85%, 9% cemento y 6% ceniza volante (Fuente: Elaboración propia)

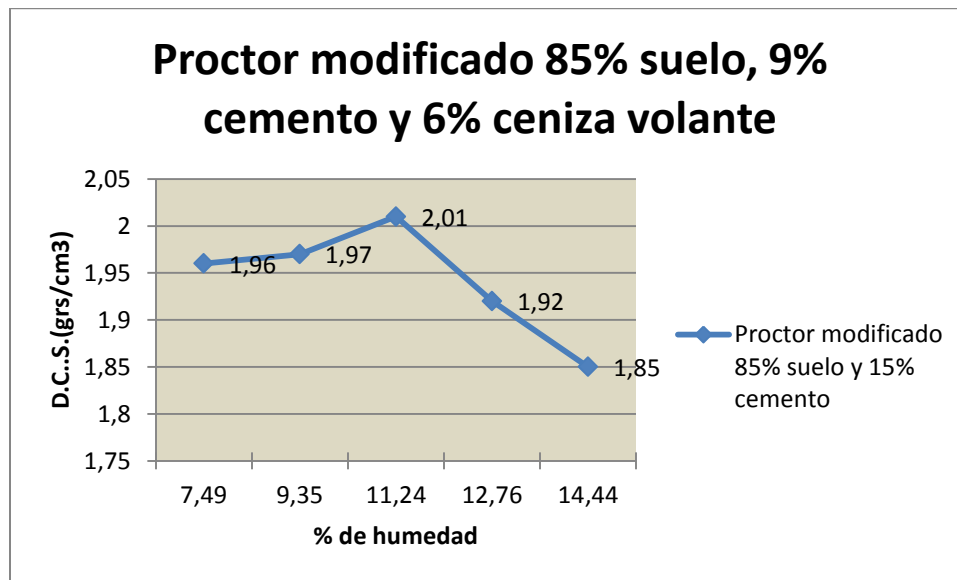


Figura 4.8: Gráfico Proctor Modificado muestra de suelo 85%, 9% cemento y 6% ceniza volante (Fuente: Elaboración propia)

4.3.5 Ensayo Proctor modificado mezcla suelo 85%, cemento 6%, ceniza volante 9%.

Ensayo Proctor Modificado para muestra de Suelo 85% , 6% cemento y 9% ceniza volante											
I.- Datos para el ensayo											
1	Molde (humedad)(%)	2%	4%	6%	8%	10%					
2	(Mm) Masa molde (g)	1754	1637	1629	1637	1629					
3	(V) Volumen (cm ³)	944	944	930	944	944					
II.- Densidad Húmeda											
1	(Mc) Masa molde + Suelo compactado (g)	3718	3633	3681	3691	3690					
2	(M) Masa suelo Compactado (Mc-Mm) (g)	1964	1996	2052	2054	2061					
3	(Dh) Densidad Húmeda (M/V) (g/cm ³)	2,08	2,11	2,17	2,18	2,18					
III.- Determinación de la humedad											
1	Nº Recipiente	2%	4%	6%	8%	10%					
a	(Mr) Masa Recipiente (g)	37,1	31,71	45,62	42,92	30,76	40,86	31,43	51,39	30,28	44,92
b	(Mh) Masa Recipiente + Masa Húmeda (g)	180,62	172,4	207,38	161,75	219,12	197,26	159,14	166,45	219,65	242,92
c	(Ms) Masa Recipiente + Masa seca (g)	173,08	165,03	196,17	153,37	203,78	184,16	146,65	155,26	199,3	220,6
d	(W) $((Mh-Ms)/(Ms-Mr))*100$ (%)	5,1	5,53	7,45	7,65	8,87	9,14	10,84	10,77	12,04	12,7
2	Promedio Humedad (%)	5,32	7,55	9	10,81	12,37					
IV.- Densidad Seca											
1	(Ds) $(100*Dh)/(W+100)$ (g/cm ³)	1,97	1,98	2	1,97	1,94					

Tabla 4.13: Ensayo Proctor Modificado muestra de suelo 85%, 6% cemento y 9% ceniza volante (Universidad de Valparaíso)

Humedad real (%)	DCS (Gr/cm ³)
5,32	1,97
7,55	1,98
9	2
10,81	1,97
12,37	1,94

Tabla 4.14: Resumen Ensayo Proctor Modificado muestra de suelo 85%, 6% cemento y 9% ceniza volante (Fuente: Elaboración propia)

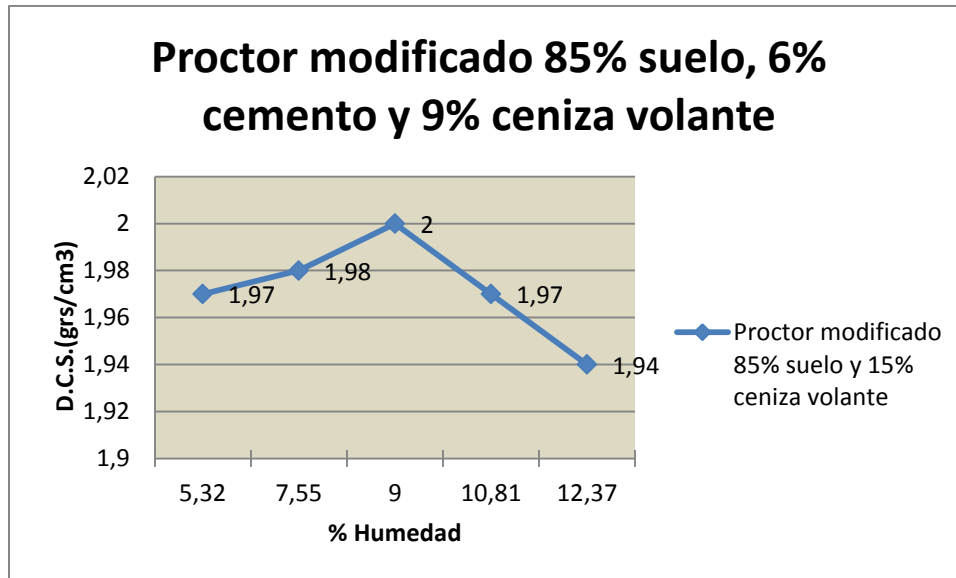


Figura 4.9: Gráfico Proctor Modificado muestra de suelo 85%, 6% cemento y 9% ceniza volante (Fuente: Elaboración propia)

4.3.6 Ensayo Proctor modificado mezcla suelo 85%, cemento 3%, ceniza volante 12%.

Ensayo Proctor Modificado para muestra de Suelo 85% , 3% cemento y 12% ceniza volante											
I.- Datos para el ensayo											
1	Molde (humedad)(%)	2%	4%	6%	8%	10%					
2	(Mm) Masa molde (g)	1637	1637	1637	1637	1637					
3	(V) Volumen (cm³)	944	944	944	944	944					
II.- Densidad Húmeda											
1	(Mc) Masa molde + Suelo compactado (g)	3567	3643	3690	3686	3652					
2	(M) Masa suelo Compactado (Mc-Mm) (g)	1930	2006	2053	2049	2015					
3	(Dh) Densidad Húmeda (M/V) (g/cm³)	2,04	2,13	2,18	2,17	2,14					
III.- Determinación de la humedad											
1	Nº Recipiente	4%	4%	6%	8%	10%					
a	(Mr) Masa Recipiente (g)	37,1	32,36	45,82	33,61	45,62	45,84	34,48	32,8	33,4	50,44
b	(Mh) Masa Recipiente + Masa Húmeda (g)	190,58	215,3	226,93	207,77	177,46	183,81	186,78	166,25	179,52	231,47
c	(Ms) Masa Recipiente + Masa seca (g)	182,79	206,09	213,81	195,96	166,16	171,82	171,22	151,79	162,51	209,44
d	(W) $((Mh-Ms)/(Ms-Mr))*100$ (%)	5,95	5,3	7,81	7,27	9,37	9,52	11,38	12,15	13,17	13,86
2	Promedio Humedad (%)	5,33	7,54	9,45	11,77	13,52					
IV.- Densidad Seca											
1	(Ds) $(100*Dh)/(W+100)$ (g/cm³)	1,94	1,98	1,99	1,94	1,89					

Tabla 4.15: Ensayo Proctor Modificado muestra de suelo 85%, 3% cemento y 12% ceniza volante (Fuente : Universidad de Valparaíso)

Humedad real (%)	DCS (Gr/cm3)
5,33	1,94
7,54	1,98
9,45	1,99
11,77	1,94
13,52	1,89

Tabla 4.16: Resumen Ensayo Proctor Modificado muestra de suelo 85%, 3% cemento y 12% ceniza volante (Fuente: Elaboración propia)

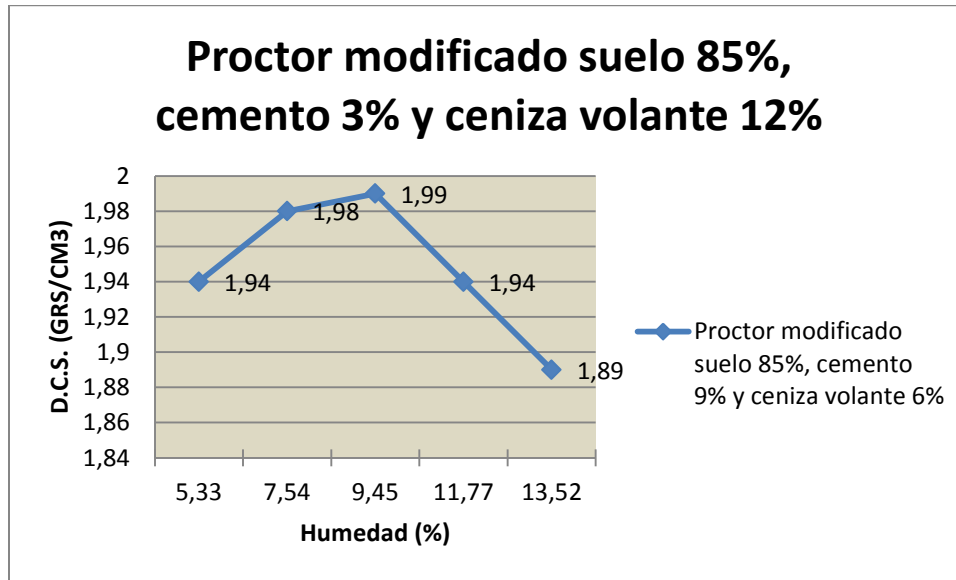


Figura 4.10: Gráfico Proctor Modificado muestra de suelo 85%, 3% cemento y 12% ceniza volante (Fuente: Elaboración propia)

4.3.7 Ensayo Proctor modificado mezcla suelo 85% y ceniza volante 15%

Ensayo Proctor Modificado para muestra de Suelo 85% , 12% cemento y 3% ceniza volante											
I.- Datos para el ensayo											
1	Molde (humedad)(%)	4%	6%	8%	10%	12%					
2	(Mm) Masa molde (g)	1637	1637	1637	1637	1637					
3	(V) Volumen (cm ³)	944	944	944	944	944					
II.- Densidad Húmeda											
1	(Mc) Masa molde + Suelo compactado (g)	3607	3666	3719	3697	3637					
2	(M) Masa suelo Compactado (Mc-Mm) (g)	1970	2029	2082	2060	2000					
3	(Dh) Densidad Húmeda (M/V) (g/cm ³)	2,09	2,15	2,21	2,18	2,12					
III.- Determinación de la Humedad											
1	Nº Recipiente	4%	6%	8%	10%	12%					
a	(Mr) Masa Recipiente (g)	32,36	45,82	33,9	32,36	30,76	42,92	33,61	38,14	40,86	37,1
b	(Mh) Masa Recipiente + Masa Húmeda (g)	243,08	212,36	185,03	217,43	175,26	176,54	154,68	171,19	183	183,19
c	(Ms) Masa Recipiente + Masa seca (g)	229,31	201,35	173,24	202,53	161,36	163,28	141,48	157,73	165,2	165,31
d	(W) $((Mh-Ms)/(Ms-Mr))*100$ (%)	6,99	6,87	8,46	8,76	10,64	11,02	12,24	11,26	14,32	13,95
2	Promedio Humedad (%)	6,93	8,61	10,83	11,75	14,14					
IV.- Densidad Seca											
1	(Ds) $(100*Dh)/(W+100)$ (g/cm ³)	1,95	1,97	1,98	1,95	1,86					

Tabla 4.17: Ensayo Proctor Modificado muestra de suelo 85% y 15% ceniza volante (Fuente: Universidad de Valparaíso)

Humedad real (%)	DCS (Gr/cm3)
6,93	1,95
8,61	1,97
10,83	1,98
11,75	1,95
14,14	1,86

Tabla 4.18: Resumen Ensayo Proctor Modificado muestra de suelo 85% y 15% ceniza volante (Fuente: Elaboración propia)

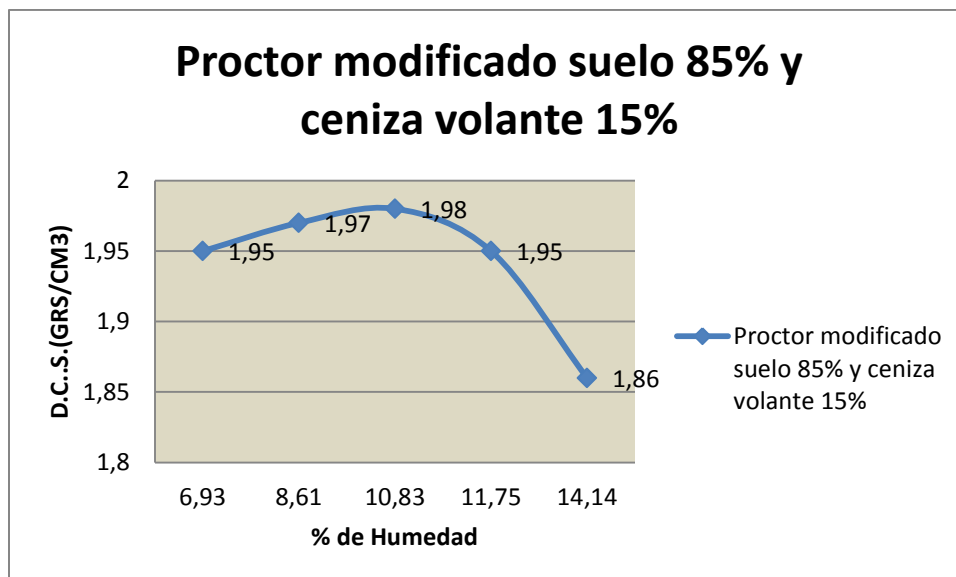


Figura 4.11: Gráfico Proctor Modificado muestra de suelo 85% y 15% ceniza volante (Fuente: Elaboración propia)

Resumen Proctor Modificados según norma 1534 parte 2 OF.79						
% Mezclas	IV.- Densidad Seca					
suelo natural	Promedio Humedad (%)	4,62	9,12	9,66	11,77	13,04
	(Ds)	1,95	1,96	1,97	1,94	1,85
15% cemento	Promedio Humedad (%)	5,88	7,77	11,19	11,55	13,23
	(Ds)	1,98	2,01	2,04	1,99	1,95
12% cemento/3% C. volante	Promedio Humedad (%)	5,58	8	10,35	12,32	13,32
	(Ds)	2,01	2,02	2,03	1,99	1,92
9% cemento/ 6% C. volante	Promedio Humedad (%)	7,49	9,35	11,24	12,76	14,44
	(Ds)	1,96	1,97	2,01	1,92	1,85
6% cemento/ 9% C.volante	Promedio Humedad (%)	5,32	7,55	9	10,81	12,37
	(Ds)	1,97	1,98	2	1,97	1,94
3% cemento/ 12% C. volante	Promedio Humedad (%)	5,33	7,54	9,45	11,77	13,52
	(Ds)	1,94	1,98	1,99	1,94	1,89
15% ceniza volante	Promedio Humedad (%)	6,93	8,61	10,83	11,75	14,14
	(Ds)	1,95	1,97	1,98	1,95	1,86

Tabla 4.19: Resumen Ensayo Proctor Modificado según norma 1534 parte 2 OF.79 (Fuente: Elaboración propia)

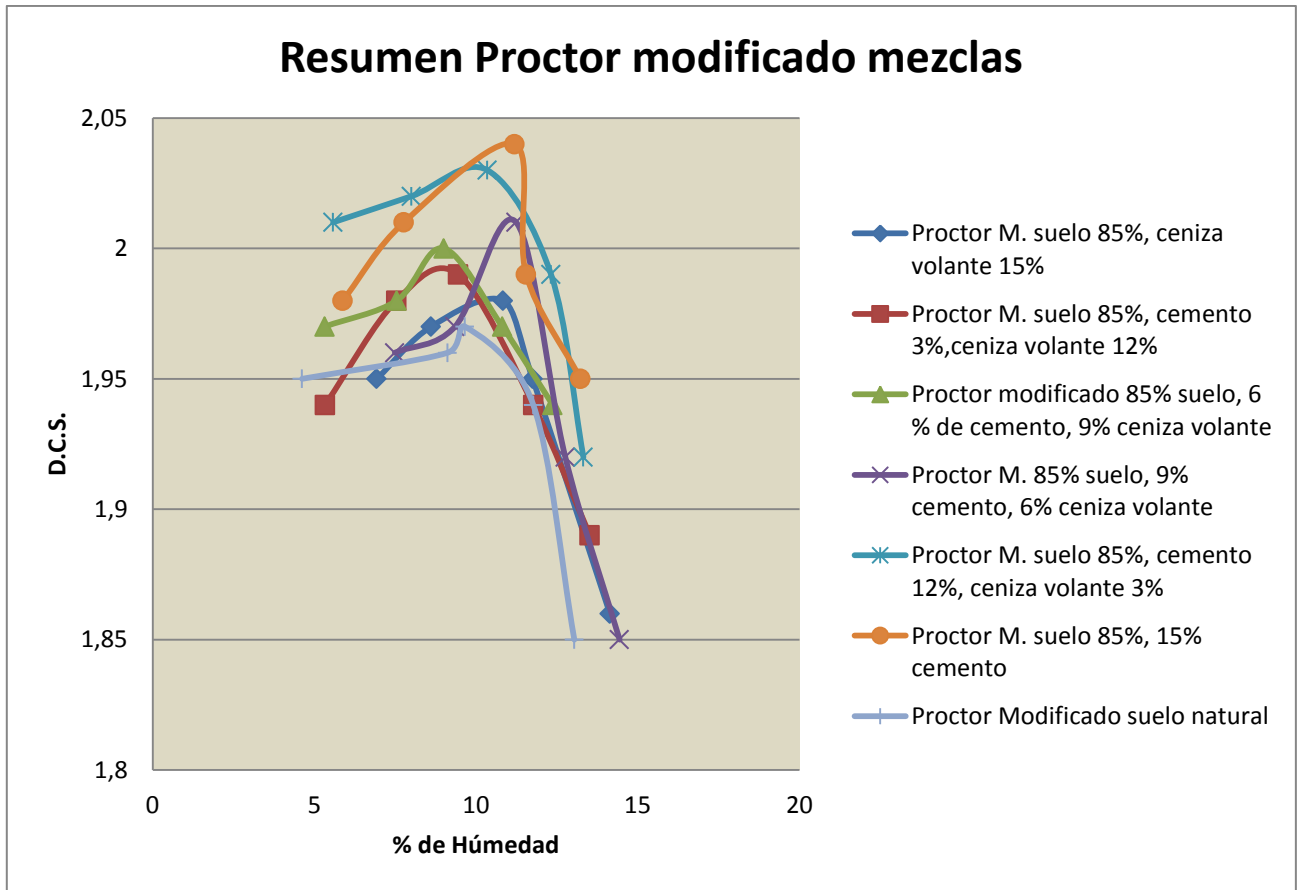


Figura 4.12: Gráfico resumen Proctor modificado mezclas. (Fuente: Elaboración propia)

4.3.8 Análisis de resultados Proctor modificado de mezclas:

Como se puede ver todas las curvas de relación humedad/densidad se encuentran bien definidas. Además la cantidad de porcentaje que pasa por el tamiz N° 200 (partículas de 0,08 mm) es superior al 12% en las tres muestras, esto nos dice que son datos fidedignos y no es necesario calcular la densidad máxima según NCH 1726 OF.80.

Como se puede ver el que alcanza la mayor D.C.S. es la mezcla patrón con 85% de suelo y 15% de cemento. Y en forma secuencial a medida que va aumentando el porcentaje de ceniza volante va disminuyendo la D.C.S. de las mezclas.. Además la mezcla de suelo natural es la que alcanza un menor resultado con 1,97 (grs/cm³), lo cual es lógico pensar ya que no tiene ningún tipo de estabilizante u aglomerante, como es en nuestro caso la ceniza volante en conjunto con el cemento o partículas de arcillas propiamente tal.

Estos valores se utilizarán como un patrón de comparación con la densidad aparente promedio obtenida en las probetas de 6 ladrillos en sus distintas dosificaciones que se realizarán en los ensayos de compresión y absorción, para conocer qué porcentaje del 100% de la D.M.C.S. se logra alcanzar a través del sistema de presión logrado con la máquina prensadora Cinva Ram.

4.4 Ensayo de ladrillos

4.4.1 Ensayo de compresión de ladrillos de suelo-cemento-ceniza volante

Este ensayo se realizó según la Nch 167 Of. 2001, el cual estipula una velocidad de carga para el ensayo, no mayor a 20 Mpa /min. Además se debe cumplir con la condición de refrentar las bases de carga del ladrillo, para que estas queden paralelas entre si y sin poros, que es característico del ladrillo cerámico artesanal, esto según la Nch 2123 Of. 1997.

4.4.1.1 Ensayo Resistencia a compresión a la edad de 7 días.

Muestra Patrón, 11,19 % Humedad, 15 % Cemento						
Nº Probeta	P (Kgf)	M (grs)	V (cm3)	Da (Gr/cm3)	S (cm2)	Rc (Kgf/cm2)
Probeta 1	46.500	5683	2.830,00	2	406,55	114,37
Probeta 2	46.000	5004	1.776,84	2,81	402,77	114,2
Probeta 3	45.000	4988	2.442,60	2,04	409,42	109,21
Probeta 4	45.500	5343	2.303,42	2,31	404,66	112,44
Probeta 5	44.500	5165	2.373,01	2,24	407,04	109,32
Probeta 6	46.500	5775	2.074,92	2,78	405,85	114,57
Promedio	45.667	5326	2.300,00	2,36	406,04	112,35

Tabla 4.20. Resultados Resistencia a Compresión a los 7 días para mezcla con 85% de suelo y 15% de cemento.

Dónde:

P: Carga de compresión aplicada a la probeta (kgf)

M: masa de la probeta (grs)

V: volumen de la probeta (cm3)

Da: densidad aparente de la probeta (grs/cm3)

S: superficie de carga de la probeta (cm2)

Rc: resistencia a compresión de la probeta (Kg/cm2)

Muestra con 10,35 % Humedad, 12% cemento, 3% ceniza volante						
Nº Probeta	P (Kgf)	M (grs)	V (cm3)	Da (Gr/cm3)	S (cm2)	Rc (Kgf/cm2)
Probeta 1	37.000	4734	2.424,90	1,95	403,45	91,7
Probeta 2	35.500	4700	2.460,30	1,91	410,83	86,41
Probeta 3	36.500	4845	2.460,30	1,96	409,35	89,16
Probeta 4	38.000	4772	2.442,60	1,95	410,09	92,66
Probeta 5	37.000	4753	2.433,75	1,95	406,77	90,96
Probeta 6	37.500	4799	2.438,17	1,96	408,43	91,81
Promedio	36.917	4676	2.443,34	1,94	408,15	90,45

Tabla 4.21. Resultados Resistencia a Compresión a los 7 días para mezcla con 85% de suelo , 12% de cemento y 3% ceniza volante.

Muestra con 11,24 % Humedad, 9% cemento, 6% ceniza volante						
Nº Probeta	P (Kgf)	M (grs)	V (cm3)	Da (Gr/cm3)	S (cm2)	Rc (Kgf/cm2)
Probeta 1	29.500	4608	2.460,30	1,97	403,45	73,11
Probeta 2	29.000	4628	2.434,32	1,9	410,83	70,58
Probeta 3	34.500	4579	2.395,05	1,91	409,35	84,27
Probeta 4	29.250	4593	2.447,31	1,87	410,09	71,32
Probeta 5	31.750	4610	2.440,81	1,88	406,77	78,05
Probeta 6	30.375	4609	2.444,06	1,88	408,43	74,37
Promedio	30.729	4605	2.436,98	1,89	408,15	75,28

Tabla 4.22: Resultados Resistencia a Compresión a los 7 días para mezcla con 85% de suelo , 9% de cemento y 6% ceniza volante.

Muestra con 9 % Humedad, 6% cemento, 9% ceniza volante						
Nº Probeta	P (Kgf)	M (grs)	V (cm3)	Da (Gr/cm3)	S (cm2)	Rc (Kgf/cm2)
Probeta 1	26.000	4603	2.419,45	1,9	401,41	64,77
Probeta 2	25.000	4553	2.407,87	1,89	401,5	62,26
Probeta 3	20.000	4514	2.438,41	1,85	402,26	49,71
Probeta 4	23.000	4524	2.428,93	1,86	401,82	57,23
Probeta 5	23.500	4534	2.424,19	1,87	402,63	58,36
Probeta 6	24.500	4587	2.416,03	1,89	405,99	60,34
Promedio	23.667	4552	2.422,48	1,87	402,6	58,77

Tabla 4.23: Resultados Resistencia a Compresión a los 7 días para mezcla con 85% de suelo , 6% de cemento y 9% ceniza volante.

Muestra con 9,45 % Humedad, 3% cemento, 12% ceniza volante						
Nº Probeta	P (Kgf)	M (grs)	V (cm3)	Da (Gr/cm3)	S (cm2)	Rc (Kgf/cm2)
Probeta 1	24.000	4349	2.353,17	1,84	403,65	59,45
Probeta 2	27.000	4438	2.426,04	1,82	402,96	67
Probeta 3	25.000	4331	2.426,04	1,78	402,25	62,15
Probeta 4	24.500	4340	2.398,56	1,8	403,12	60,77
Probeta 5	24.250	4389	2.375,86	1,84	402,99	60,15
Probeta 6	24.750	4395	2.370,12	1,85	403,01	61,41
Promedio	24.917	4373	2.391,63	1,82	402,99	61,82

Tabla 4.24: Resultados Resistencia a Compresión a los 7 días para mezcla con 85% de suelo, 3% de cemento y 12% ceniza volante.

Muestra con 10,83 % Humedad, 15% ceniza volante						
Nº Probeta	P (Kgf)	M (grs)	V (cm3)	Da (Gr/cm3)	S (cm2)	Rc (Kgf/cm2)
Probeta 1	17.500	4443	2.390,88	1,85	399,34	43,82
Probeta 2	14.000	4135	2.461,20	1,68	403,72	34,67
Probeta 3	12.500	4408	2.365,20	1,86	397,92	31,41
Probeta 4	15.000	4237	2.412,02	1,75	400,82	37,42
Probeta 5	14.500	4312	2.474,33	1,74	402,27	36,04
Probeta 6	16.000	4398	2.422,22	1,81	400,8	39,92
Promedio	14.917	4322	2.420,98	1,78	400,81	37,21

Tabla 4.25: Resultados Resistencia a Compresión a los 7 días para mezcla con 85% de suelo , 15% ceniza volante

Resistencia a la compresión a los 7 días para las distintas mezclas						
% mezclas	P (Kgf)	M (grs)	V (cm3)	Da (Gr/cm3)	S (cm2)	Rc (Kgf/cm2)
15% C	45.667	5326	2.300,00	2,36	406,04	112,35
12% C,3%C.V.	36.917	4676	2.443,34	1,94	408,15	90,45
9% C, 6% C.V.	30.729	4605	2.436,98	1,89	408,15	75,28
6% C, 9%C.V	23.667	4552	2.422,48	1,87	402,6	58,77
3% C, 12% C.V.	24.917	4373	2.391,63	1,82	402,99	61,82
15% C.V.	14.917	4322	2.420,98	1,78	400,81	37,21

Tabla 4.26: Resultados Resistencia a Compresión a los 7 días para las distintas mezclas (Fuente: Elaboración propia).

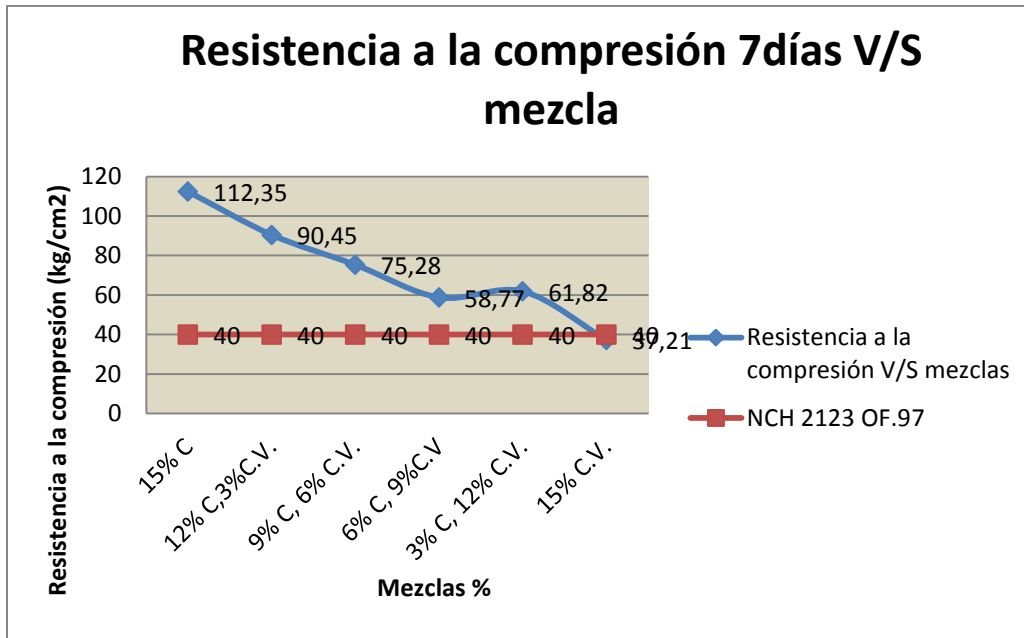


Figura 4.13: Gráfico resistencia a la compresión 7 días (Kg/cm²) V/S mezclas suelo-ceniza volante-cemento (%). (Fuente: Elaboración propia)

4.4.1.1.1 Análisis de resultados resistencia a la compresión a los 7 días v/s mezclas.

De acuerdo a los datos obtenidos, se puede observar en el gráfico, que la resistencia a la compresión que alcanzan las probetas a los 7 días, se encuentran todas por sobre lo que exige la norma para los ladrillos arcillosos macizos fabricados a mano (Anexo B) de la norma Nch 2123 Of. 97 (Tabla 3.2.) que estipula una resistencia a compresión mínima de 40 (kgf/cm²) (4,0 Mpa), a excepción de la probeta con 15% de ceniza volante la cual alcanza 37,21 (kg/cm²), la cual está por debajo en 2,79 (kg/cm²) alcanzando 93,025%.

Se puede entonces visualizar que a mayor porcentaje de ceniza volante menor es la resistencia que tiene. Y en forma contraria a mayor porcentaje de cemento mayor es su resistencia a la compresión.

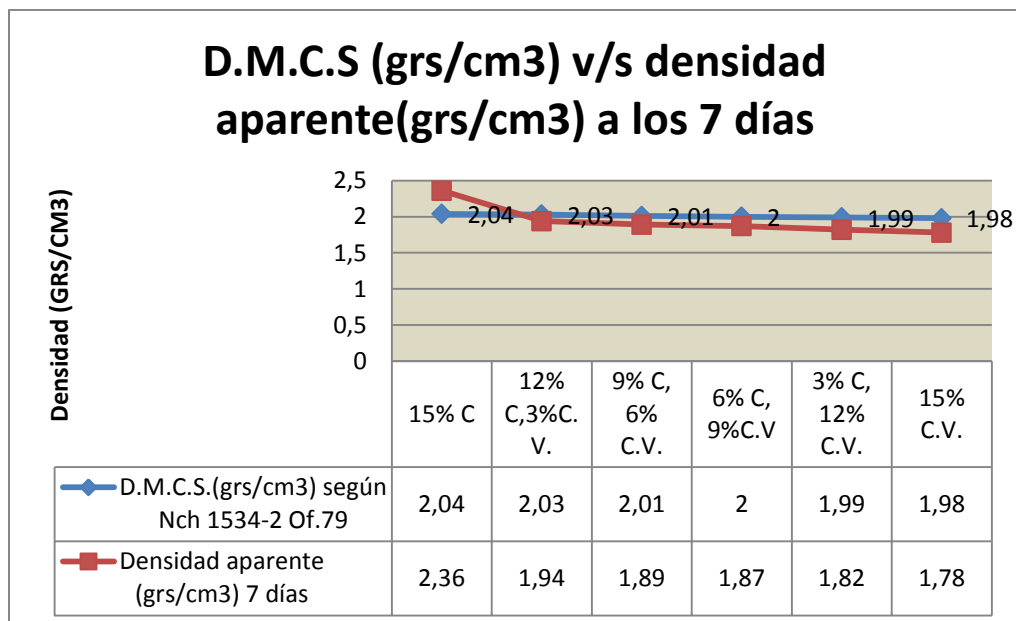


Figura 4.14.: Grafico Densidad máxima compactada seca v/s Densidad Aparente a los 7 días (Fuente: Elaboración propia).

4.4.1.1.2 Análisis de resultados D.M.C.S. (grs/cm³) v/s densidad aparente a los 7 días.

Como se puede observar en el grafico anterior, la única mezcla que sobrepasa la máxima densidad por proctor modificado es la muestra patrón con 15 % de cemento, superándola en un 15,68% equivalente a 0,32 (grs/cm³). La mezcla con 12% de cemento y 3% de ceniza alcanza un 95,56% de la densidad máxima. La mezcla con 9 % de cemento y 6% de ceniza alcanza un 94,02% de la densidad máxima. La mezcla con 6% de cemento y 9% de ceniza alcanza un 93,5% de la densidad máxima. La mezcla con 3% de cemento y 12% de ceniza alcanza un 91,45% de la densidad máxima y finalmente la mezcla con 15% de ceniza volante obtiene un 89,89% de la densidad máxima.

Se puede apreciar que el porcentaje de compactación alcanzado por las distintas mezclas va disminuyendo a medida que el porcentaje de cemento disminuye y en forma contraria la ceniza volante aumenta. También podemos ver que la D.M.C.S. en las distintas mezclas también disminuye, esto pasa por que el peso específico del cemento es de 3 (grs/cm³) y la ceniza volante es de 2,2 (grs/cm³). Visualizando esto es lógico pensar que las mayores resistencias son adquiridas en nuestro caso por la muestra patrón con 15% de cemento y las menores por las que tienen más cantidad de ceniza.

4.4.1.2 Ensayo Resistencia a compresión a la edad de 28 días.

Muestra Patrón, 11,19 % Humedad, 15 % Cemento						
Nº Probeta	P (Kgf)	M (grs)	V (cm3)	Da (Gr/cm3)	S (cm2)	Rc (Kgf/cm2)
Probeta 1	46.000	5268	2.387,05	2,2	403,715	113,94
Probeta 2	54.000	5267	2.074,93	2,53	405,11	133,29
Probeta 3	51.500	5304	2.373,01	2,23	406,06	126,82
Probeta 4	48.750	5321	2.230,99	2,38	404,8875	120,4
Probeta 5	52.750	5623	2.223,97	2,52	404,4125	130,46
Probeta 6	50.750	5472	2227,47	2,45	404,65	125,41
Promedio	50.625	5.536	2.253	2,39	405	125,05

Tabla 4.27: Resultados Resistencia a Compresión a los 28 días para mezcla con 85% de suelo y 15% de cemento.

Muestra con 10,35 % Humedad, 12% cemento, 3% ceniza volante						
Nº Probeta	P (Kgf)	M (grs)	V (cm3)	Da (Gr/cm3)	S (cm2)	Rc (Kgf/cm2)
Probeta 1	40.500	4706	2.431,54	1,93	407,97	99,27
Probeta 2	46.500	4726	2.447,03	1,93	407,14	114,21
Probeta 3	40.500	4637	2.451,45	1,89	405,94	99,76
Probeta 4	43.500	4667	2.439,28	1,91	407,555	106,73
Probeta 5	42.000	4687	2.327,75	2,01	406,955	103,2
Probeta 6	43.500	4674	2.277,61	2,05	407,4625	106,75
Promedio	42.750	4.683	2.396	1,96	407	104,98

Tabla 4.28: Resultados Resistencia a Compresión a los 28 días para mezcla con 85% de suelo , 12% de cemento y 3% ceniza volante.

Muestra con 11,24 % Humedad, 9% cemento, 6% ceniza volante						
Nº Probeta	P (Kgf)	M (grs)	V (cm3)	Da (Gr/cm3)	S (cm2)	Rc (Kgf/cm2)
Probeta 1	34.000	4667	2.452,18	1,9	405,94	83,75
Probeta 2	29.500	4565	2.437,57	1,87	408,8	72,16
Probeta 3	30.000	4694	2.421,18	1,92	409,72	73,22
Probeta 4	33.500	4598	2.357,59	1,95	407,37	82,23
Probeta 5	33.000	4630	2.389,38	1,92	407,83	80,91
Probeta 6	32.500	4598	2.333,50	1,96	408,315	79,59
Promedio	32.083	4.625	2.399	1,92	407	78,64

Tabla 4.29: Resultados Resistencia a Compresión a los 28 días para mezcla con 85% de suelo , 9% de cemento y 6% ceniza volante.

Muestra con 9 % Humedad, 6% cemento, 9% ceniza volante						
Nº Probeta	P (Kgf)	M (grs)	V (cm3)	Da (Gr/cm3)	S (cm2)	Rc (Kgf/cm2)
Probeta 1	27.000	4685	2.433,06	1,92	403,7	66,88
Probeta 2	24.000	4534	2.377,34	1,9	402,065	59,69
Probeta 3	27.500	4534	2.440,19	1,85	402,04	68,4
Probeta 4	27.000	4610	2.436,63	1,89	402,8825	67,01
Probeta 5	28.500	4572	2.438,41	1,87	402,87	70,74
Probeta 6	25.750	4553	2.405,83	1,89	402,87625	63,91
Promedio	26.625	4.581	2.422	1,88	403	66,11

Tabla 4.30: Resultados Resistencia a Compresión a los 28 días para mezcla con 85% de suelo, 6% de cemento y 9% ceniza volante.

Muestra con 9,45 % Humedad, 3% cemento, 12% ceniza volante						
Nº Probeta	P (Kgf)	M (grs)	V (cm3)	Da (Gr/cm3)	S (cm2)	Rc (Kgf/cm2)
Probeta 1	25.000	4412	2.405,18	1,83	403,33	61,98
Probeta 2	24.500	4287	2.403,22	1,78	402,975	60,79
Probeta 3	28.000	4447	2.407,13	1,84	402,685	69,53
Probeta 4	26.500	4430	2.391,50	1,85	403,1525	65,73
Probeta 5	25.000	4498	2.378,19	1,89	403,0075	62,03
Probeta 6	27.000	4429	2.371,96	1,86	403,08	66,98
Promedio	26.000	4.417	2.393	1,84	403	64,51

Tabla 4.31: Resultados Resistencia a Compresión a los 28 días para mezcla con 85% de suelo, 3% de cemento y 12% ceniza volante.

Muestra con 10,83 % Humedad, 15% ceniza volante						
Nº Probeta	P (Kgf)	M (grs)	V (cm3)	Da (Gr/cm3)	S (cm2)	Rc (Kgf/cm2)
Probeta 1	16.000	4392	2.406,55	1,82	400,07	39,99
Probeta 2	15.000	4303	2.467,77	1,74	402,995	37,22
Probeta 3	19.000	4370	2.388,61	1,82	399,37	47,57
Probeta 4	17.000	4381	2.397,58	1,82	401,5325	42,33
Probeta 5	17.000	4387	2.393,10	1,83	399,72	42,52
Probeta 6	18.500	4376	2.430,43	1,8	399,895	46,26
Promedio	17.083	4387	2.414,01	1,8	401	42,65

Tabla 4.32: Resultados Resistencia a Compresión a los 28 días para mezcla con 85% de suelo, 15% ceniza volante

Resistencia a la compresión a los 28 días para las distintas mezclas						
% mezclas	P (Kgf)	M (grs)	V (cm3)	Da (Gr/cm3)	S (cm2)	Rc (Kgf/cm2)
15% C	50.625	5.536	2.253	2,39	405	125,05
12% C,3%C.V.	42.750	4.683	2.396	1,96	407	104,98
9% C, 6% C.V.	32.083	4.625	2.399	1,92	407	78,64
6% C, 9%C.V	26.625	4.581	2.422	1,88	403	66,11
3% C, 12% C.V.	26.000	4.417	2.393	1,84	403	64,51
15% C.V.	17.083	4387	2.414,01	1,8	401	42,65

Tabla 4.33: Resultados Resistencia a Compresión a los 28 días para las distintas mezclas (Fuente: Elaboración propia).

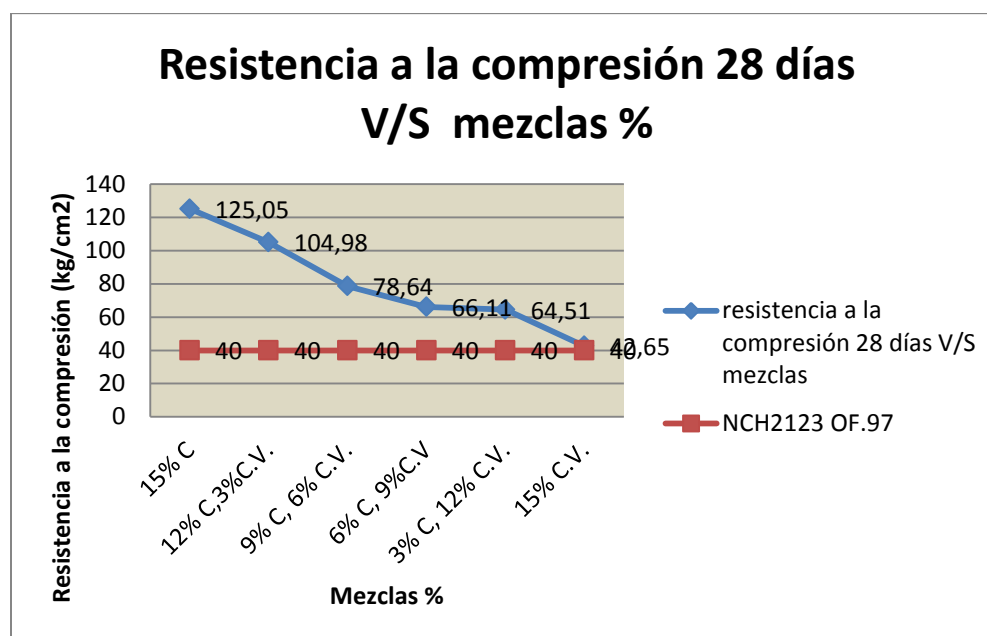


Figura 4.15: Gráfico resistencia a la compresión 28 días (Kg/cm2) V/S mezclas suelo-ceniza volante-cemento (%). (Fuente: Elaboración propia)

4.4.1.2.1 Análisis de resultados resistencia a la compresión 28 días v/s mezclas %.

De acuerdo a los datos obtenidos, se puede observar en el gráfico, que la resistencia a la compresión que alcanzan las probetas a los 28 días, se encuentran todas por sobre lo que exige la norma para los ladrillos arcillosos macizos fabricados a mano (Anexo B) de la norma Nch 2123 Of. 97 (Tabla 3.2.) que estipula una resistencia a compresión mínima de 40 (kgf/cm²) (4,0 Mpa). La máxima resistencia la obtiene la muestra patrón con 125,05 (kg/cm²) el cual representa un 212,62% superior a la norma. Y en forma consecutiva a medida que va aumentando la cantidad de ceniza volante disminuye su resistencia obteniéndose la menor con la mezcla con 15% de ceniza volante igual a 42,65 (kg/cm²) equivalente a un 6,62% mayor respecto a lo exigente en la norma.

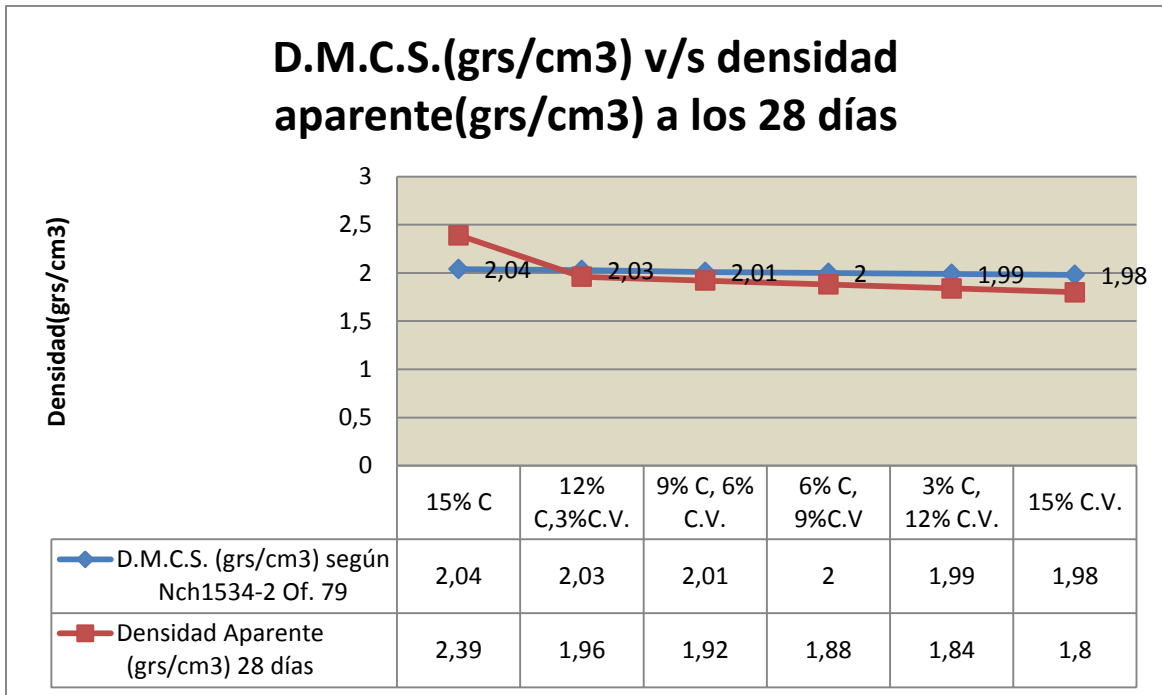


Figura 4.16.: Grafico Densidad máxima compactada seca v/s Densidad Aparente a los 28 días
(Fuente: Elaboración propia).

4.4.1.2.2 Análisis de resultados D.M.C.S. (grs/cm³) v/s densidad aparente (grs/cm³) a los 28 días.

Como muestra el grafico anterior la única mezcla que supera a la densidad máxima por proctor modificado según NCH 1434-2 Of.79 es la muestra patrón con 15% de cemento, la cual supera en un 17,15% a la D.M.C.S. La mezcla con 12% de cemento y 3% de ceniza alcanza un 96,55% de la densidad máxima. La mezcla con 9% de cemento y 6 % de ceniza alcanza un 95,52% de la densidad máxima. La mezcla con 6% de cemento y 9% de ceniza alcanza un 94% de la densidad máxima. La mezcla con 3% de cemento y 12% de ceniza volante alcanza un 92,46% de la densidad máxima y finalmente la mezcla con 15% de ceniza volante alcanza un 90,9% de su densidad máxima.

En consecuencia podemos entender que los valores bajos obtenidos en la resistencia a la compresión con mayores porcentajes de ceniza, es porque obtenemos también bajos porcentajes de compactación respectivamente.

Además se puede visualizar una pérdida en la D.M.C.S. a medida que va aumentando el porcentaje de ceniza volante y disminuyendo el de cemento, lo que ocurre debido a que el peso específico de la ceniza es de 2,2 (grs/cm³) y el de cemento es de 3 (grs/cm³). No así en la disminución de la densidad aparente que influye el bajo porcentaje de compactación alcanzado en las unidad con mayor porcentaje de ceniza.



Figura 4.17.: Probeta ladrillo 85% suelo, 12% cemento y 3 % ceniza volante.

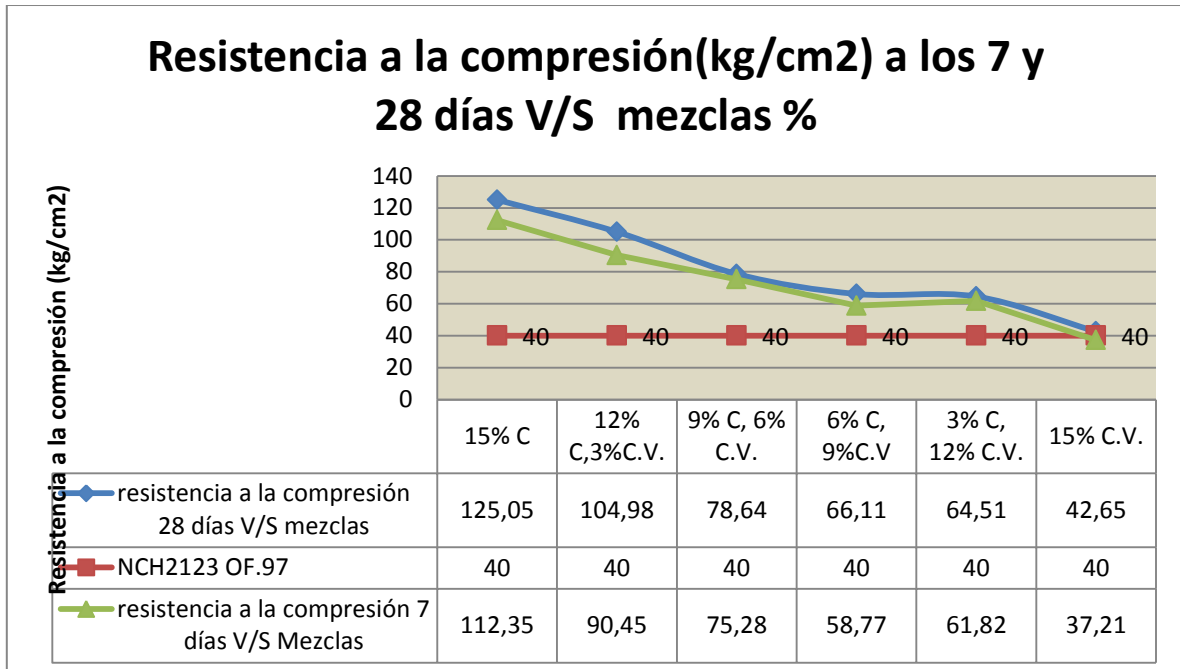


Figura 4.18: Gráfico resistencia a la compresión 7 y 28 días (Kg/cm²) V/S mezclas suelo-ceniza volante-cemento (%). (Fuente: Elaboración propia)

4.4.1.2.3 Análisis de resultados resistencia a la compresión (kg/cm²) a los 7 y 28 días V/S mezclas %.

De acuerdo a los datos obtenidos, se puede observar en el gráfico, que la resistencia a la compresión que alcanzan las probetas a los 7 y 28 días, se encuentran todas por sobre lo que exige la norma para los ladrillos arcillosos macizos fabricados a mano (Anexo B) de la norma Nch 2123 Of. 97 (Tabla 3.2.) que estipula una resistencia a compresión mínima de 40 (kgf/cm²) (4,0 Mpa), a excepción de la muestra con 15% de ceniza volante a la edad de 7 días.

La muestra patrón con 15% de cemento alcanza la máxima resistencia a los 28 días con 125,05 (kg/cm²), aumentando en 12,7 (kg/cm²) desde la edad de los 7 días. Y Como se ha reiterado anteriormente a medida que aumenta la cantidad de ceniza volante disminuye su resistencia obteniéndose la menor con la muestra con 15% de ceniza volante dada por 42,65 (kg/cm²) la cual a la edad de los 7 días se encontraba por debajo de los 40(kg/cm²) donde se había obtenido 37,21(kg/cm²), esta última aumento en un 5,44 (kg/cm²) su resistencia. La mezcla con 12% de cemento y 3% de ceniza aumenta de 90,45 (kg/cm²) a 104,98 (kg/cm²), obteniéndose un aumento de 14,53 (kg/cm²) equivalente al 16,06%. La mezcla con 9% de cemento y 6% de ceniza aumenta de 75,28 (kg/cm²) a 78,64 (kg/cm²), obteniéndose un aumento de 3,39 (kg/cm²) equivalente al 4,46%. La mezcla con 6% de cemento y 9% de ceniza volante aumenta de 58,77 (kg/cm²) a 66,11 (kg/cm²), el cual representa un aumento de 7,34 (kg/cm²) equivalente al 12,48%. La mezcla con 3% de cemento y 12% de ceniza volante aumenta su resistencia de 61,82(kg/cm²) a 64,51(kg/cm²), el cual representa un aumento de 2,69 (kg/cm²) equivalente a un 4,35%.

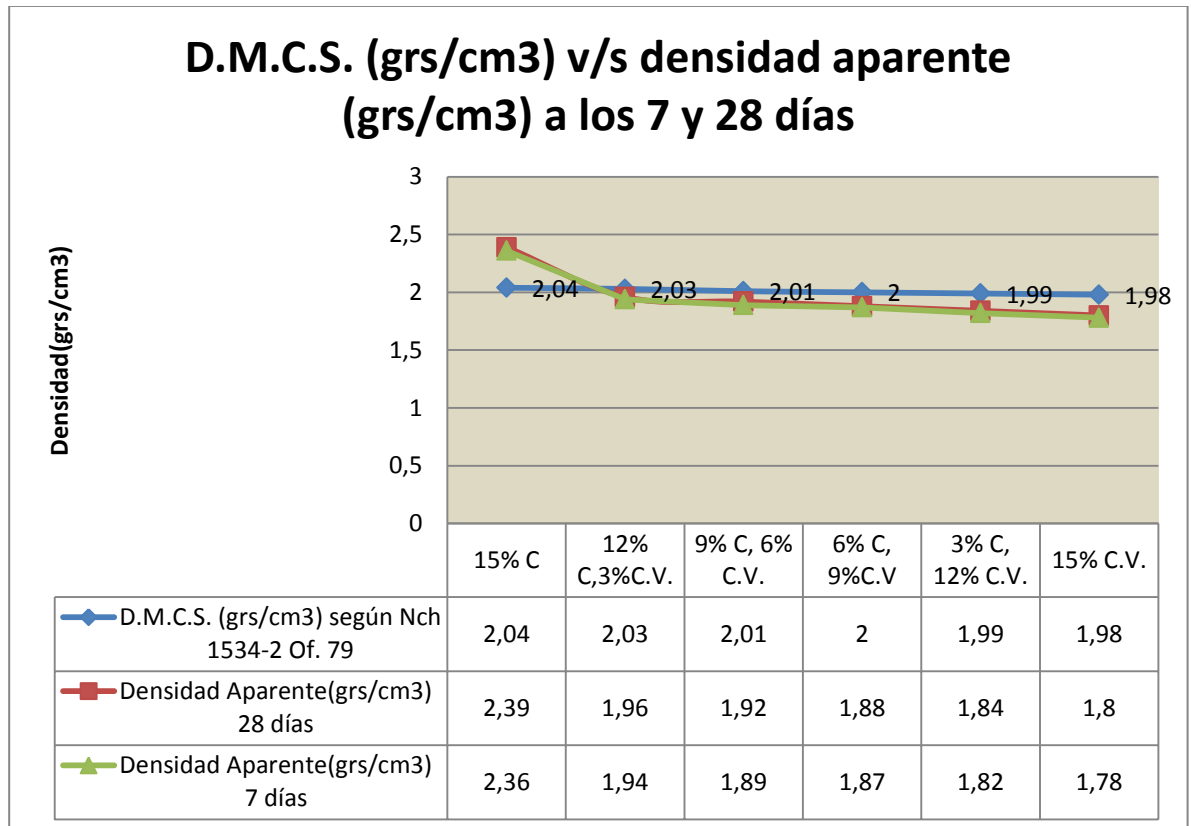


Figura 4.19.: Grafico Densidad máxima compactada seca v/s Densidad Aparente a los 7 y 28 días
(Fuente: Elaboración propia).

4.4.1.2.4 Análisis de resultados D.M.C.S. (grs/cm³) V/S densidad aparente (grs/cm³) a los 7 y 28 días.

Como se puede ver en la figura 4.15 la mezcla patrón con 15% de cemento es la única que supera la edad de los 7 y 28 días la densidad aparente respecto a la D.M.C.S. equivalente a 2,04 (grs/cm³). Además se ve un leve aumento de su densidad de 2,36 (grs/cm³) a 2,39 (grs/cm³), con una diferencia de 0,03 (grs/cm³) equivalente a un aumento de 1,27%.

La mezcla con 12% de cemento y 3% de ceniza alcanza una densidad aparente a la edad de 28 días igual a 1,96 (grs/cm³) alcanzando un 96,55 % respecto a la D.M.C.S. igual a 2,03 (grs/cm³). Además hay un leve aumento a la edad de 7 a 28 días de 1,94 (grs/cm³) a 1,96 (grs/cm³) obteniendo una diferencia de 0,02 (grs/cm³) equivalente a 1,03 %.

La mezcla con 9% de cemento y 6% de ceniza alcanza una densidad aparente a la edad de 28 días igual a 1,92 (grs/cm³) alcanzando un 95,52% respecto a la D.M.C.S. igual a 2,01 (grs/cm³). Además hay un leve aumento a la edad de 7 a 28 días de 1,89 (grs/cm³) a 1,92 (grs/cm³) obteniendo una diferencia de 0,03 (grs/cm³) equivalente a 1,58 %.

La mezcla con 6% de cemento y 9% de ceniza alcanza una densidad aparente a la edad de 28 días igual a 1,88 (grs/cm³) alcanzando un 94% respecto a la D.M.C.S. igual a 2 (grs/cm³). Además hay un leve aumento a la edad de 7 a 28 días de 1,87 (grs/cm³) a 1,88 (grs/cm³) obteniendo una diferencia de 0,01 (grs/cm³) equivalente a 0,5 %.

La mezcla con 3% de cemento y 12% de ceniza alcanza una densidad aparente a la edad de 28 días igual a 1,84 (grs/cm³) alcanzando un 92,46% respecto a la D.M.C.S. igual a 1,99 (grs/cm³). Además hay un leve aumento a la edad de 7 a 28 días de 1,82 (grs/cm³) a 1,84 (grs/cm³) obteniendo una diferencia de 0,02 (grs/cm³) equivalente a 1,09 %.

La mezcla con 15% de ceniza alcanza una densidad aparente a la edad de 28 días igual a 1,8 (grs/cm³) alcanzando un 90,90% respecto a la D.M.C.S. igual a 1,98 (grs/cm³). Además hay un leve aumento a la edad de 7 a 28 días de 1,78 (grs/cm³) a 1,8 (grs/cm³) obteniendo una diferencia de 0,02 (grs/cm³) equivalente a 1,12 %. Esta es la mezcla que alcanza la menor densidad aparente. Este ladrillo supera finalmente a la edad de 28 días la resistencia a la compresión, lo cual también se ve reflejado en un aumento del porcentaje de compactación de la edad de 89,89% a 90,90% a la edad de 7 y 28 días respectivamente.

Importante volver a mencionar que el peso específico del cemento fluctúa entre 2,9 (grs/cm³) y 3.12 (grs/cm³) siendo mayor al peso específico de la ceniza volante equivalente a 2,2 (grs/cm³). Esta propiedad física influye directamente en el peso y a su vez en la pérdida gradual de las D.M.C.S. Además se entiende que a los 28 días los resultados mejoran también por el aumento de la resistencia del cemento por el nivel de fraguado o endurecimiento de sus partículas.

Con los resultados dados podemos afirmar que el método aplicado con la máquina Cinva Ram es eficiente hasta un reemplazo con 6% de ceniza volante dado que alcanza a la edad de 28 días un porcentaje de compactación de 95% respecto a la máxima densidad obtenida por el Proctor Modificado. Cabe mencionar que un factor que influye en esta diferencia es el método usado, ya que el Proctor Modificado trabaja en forma de compactación y la máquina Cinva Ram a presión. Otra diferencia es que el Proctor modificado trabaja con 25 golpes cada 5 capas a diferencia de la máquina que se coloca solo en una capa.

4.4.2 Ensayo de Absorción de Agua

4.4.2.1 Ensayo Absorción de Agua a la edad de 7 días.

Muestra Patrón, %11,19 humedad, 85% suelo, 15 % cemento					
Nº Probeta	Masa Seca (Kg)	Masa Húmeda (gr)	Absorción de Agua (%)	volumen (cm3)	Da (Gr/cm3)
Probeta 1	5030	5204	3,46	2.389,50	2,1
Probeta 2	5356	5504	2,76	2.508,97	2,13
Probeta 3	5215	5357	2,72	2.588,62	2,01
Probeta 4	5130	5293	3,17	2.423,36	2,12
Probeta 5	5297	5449	2,87	2489,06	2,13
Probeta 6	5119	5267	2,89	2.466,17	2,08
Promedio	5191	5346	2,98	2.477,61	2,095

Tabla 4.34: Resultados Absorción de Agua a los 7 días muestra patrón 85% suelo y 15% cemento (Fuente: Elaboración propia)

Muestra con %10,35 humedad, 85% suelo, 12 % cemento, 3% ceniza volante					
Nº Probeta	Masa Seca (Kg)	Masa Húmeda (grs)	Absorción de Agua (%)	volumen (cm3)	Da (Gr/cm3)
Probeta 1	4618	4832	4,63	2.309,85	1,99
Probeta 2	4789	4984	4,07	2.442,60	1,96
Probeta 3	4691	4878	3,98	2.401,20	1,95
Probeta 4	4654	4841	4,01	2.376,23	1,95
Probeta 5	4636	4850	4,61	2388,71	1,94
Probeta 6	4703	4898	4,14	2.355,53	1,99
Promedio	4681	4154	4,24	2.379,02	1,96

Tabla 4.35: Resultados Absorción de Agua a los 7 días muestra 85% suelo, 12% cemento y 3% ceniza volante (Fuente: Elaboración propia)

Muestra con % 11,24 humedad, 85% suelo, 9 % cemento, 6% ceniza volante					
Nº Probeta	Masa Seca (Kg)	Masa Húmeda (grs)	Absorción de Agua (%)	volumen (cm3)	Da (Gr/cm3)
Probeta 1	4478	4655	3,95	2.381,40	1,88
Probeta 2	4470	4628	3,53	2.349,67	1,9
Probeta 3	4704	4857	3,25	2.333,74	2,01
Probeta 4	4591	4768	3,85	2.365,54	1,94
Probeta 5	4647,5	4800,5	3,29	2357,57	1,97
Probeta 6	4587	4745	3,44	2.353,62	1,95
Promedio	4580	4742	3,55	2.356,92	1,94

Tabla 4.36: Resultados Absorción de Agua a los 7 días muestra 85% suelo, 9% cemento y 6% ceniza volante (Fuente: Elaboración propia).

Muestra con % 9 humedad, 85% suelo, 6 % cemento, 9% ceniza volante					
Nº Probeta	Masa Seca (Kg)	Masa Húmeda (grs)	Absorción de Agua (%)	volumen (cm3)	Da (Gr/cm3)
Probeta 1	4363	4597	5,36	2.395,40	1,82
Probeta 2	4452	4704	5,66	2.302,02	1,93
Probeta 3	4356	4595	5,48	2.345,17	1,85
Probeta 4	4407	4659	5,71	2.348,71	1,87
Probeta 5	4404	4638	5,31	2370,28	1,85
Probeta 6	4428	4680	5,69	2.372,06	1,86
Promedio	4402	4646	5,53	2.355,61	1,86

Tabla 4.37: Resultados Absorción de Agua a los 7 días muestra 85% suelo, 6% cemento y 9% ceniza volante (Fuente: Elaboración propia).

Muestra con % 9,45 humedad, 85% suelo, 3 % cemento, 12% ceniza volante					
Nº Probeta	Masa Seca (Kg)	Masa Húmeda (grs)	Absorción de Agua (%)	volumen (cm3)	Da (Gr/cm3)
Probeta 1	4652	4785	2,85	2.383,80	1,95
Probeta 2	4778	5002	4,68	2.390,88	1,99
Probeta 3	4676	4844	3,59	2.349,00	1,99
Probeta 4	4664	4888	4,8	2.387,34	1,95
Probeta 5	4715	4848	2,82	2385,57	1,97
Probeta 6	4683	4851	3,58	2.369,94	1,97
Promedio	4694,66	4869,66	3,72	2.377,76	1,97

Tabla 4.38: Resultados Absorción de Agua a los 7 días muestra 85% suelo, 3% cemento y 12% ceniza volante (Fuente: Elaboración propia).

Muestra con % 10,83 humedad, 85% suelo y 15% ceniza volante					
Nº Probeta	Masa Seca (Kg)	Masa Húmeda (grs)	Absorción de Agua (%)	volumen (cm3)	Da (Gr/cm3)
Probeta 1	4470	Indefinido	no aplica	2.366,40	1,88
Probeta 2	4386	Indefinido	no aplica	2.401,20	1,82
Probeta 3	4187	Indefinido	no aplica	2.137,30	1,95
Probeta 4	4328	Indefinido	no aplica	2.251,85	1,92
Probeta 5	4357	Indefinido	no aplica	2326,52	1,87
Probeta 6	4428	Indefinido	no aplica	2.346,46	1,88
Promedio	4359	indefinido	no aplica	2.304,96	1,89

Tabla 4.39: Resultados Absorción de Agua a los 7 días muestra 85% suelo y 15% ceniza volante (Fuente: Elaboración propia).

Resumen ensayos absorción de agua a los 7 días					
Mezclas (%)	Masa Seca (Kg)	Masa Húmeda (grs)	Absorción de Agua (%)	volumen (cm3)	Da (Gr/cm3)
15% C	5191	5346	2,98	2.477,61	2,095
12% C, 3% C.V.	4681	4154	4,24	2.379,02	1,96
9% C, 6% C.V.	4580	4742	3,55	2.356,92	1,94
6% C, 9% C.V	4402	4646	5,53	2.355,61	1,86
3% C, 12% C.V.	4694,66	4869,66	3,72	2.377,76	1,97
15% C.V.	4228	indefinido	no aplica	2.332,39	1,81

Tabla 4.40: Resumen Resultados Absorción de agua a los 7 días (Fuente: Elaboración propia).



Figura 4.20.: Absorción indefinida e infinita de ladrillo con 85% suelo y 15% ceniza volante.

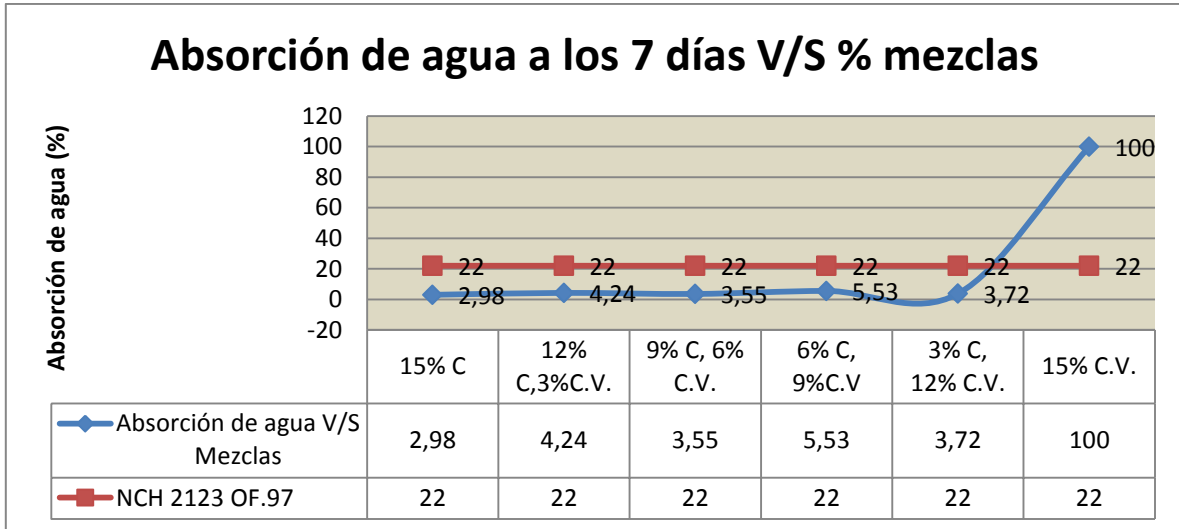


Figura 4.21.: Grafico absorción de agua (%) V/S mezclas (% respecto al peso) a los 7 días (Fuente: elaboración propia)

4.4.2.1.1 Análisis de resultados absorción de agua a los 7 días v/s % mezclas.

De acuerdo a los datos obtenidos, se puede observar en el gráfico de la figura 4.21, que la absorción de agua que alcanzan los ladrillos a los 7 días, se encuentran todas bajo el parámetro máximo que exige la norma para los ladrillos arcillosos macizos fabricados a mano (Anexo B) de la norma Nch 2123 Of. 97 (Tabla 3.2.) que estipula una absorción de agua máxima del 22%, a excepción de la mezcla con 85% de suelo y 15% de ceniza volante. Este efecto se produce dado que la ceniza volante clase F reacciona al entrar en contacto con un agente alcalino como la cal, lo que en nuestro caso se visualiza dado que se deforma 100% al estar sumergido por 24 horas bajo el agua. Esto nos dice que la ceniza volante no puede estabilizar la mezcla sin presencia de cemento, de cal o de cualquier agente alcalino u hidróxido de calcio, ya que no produce el efecto de fraguar y endurecer.

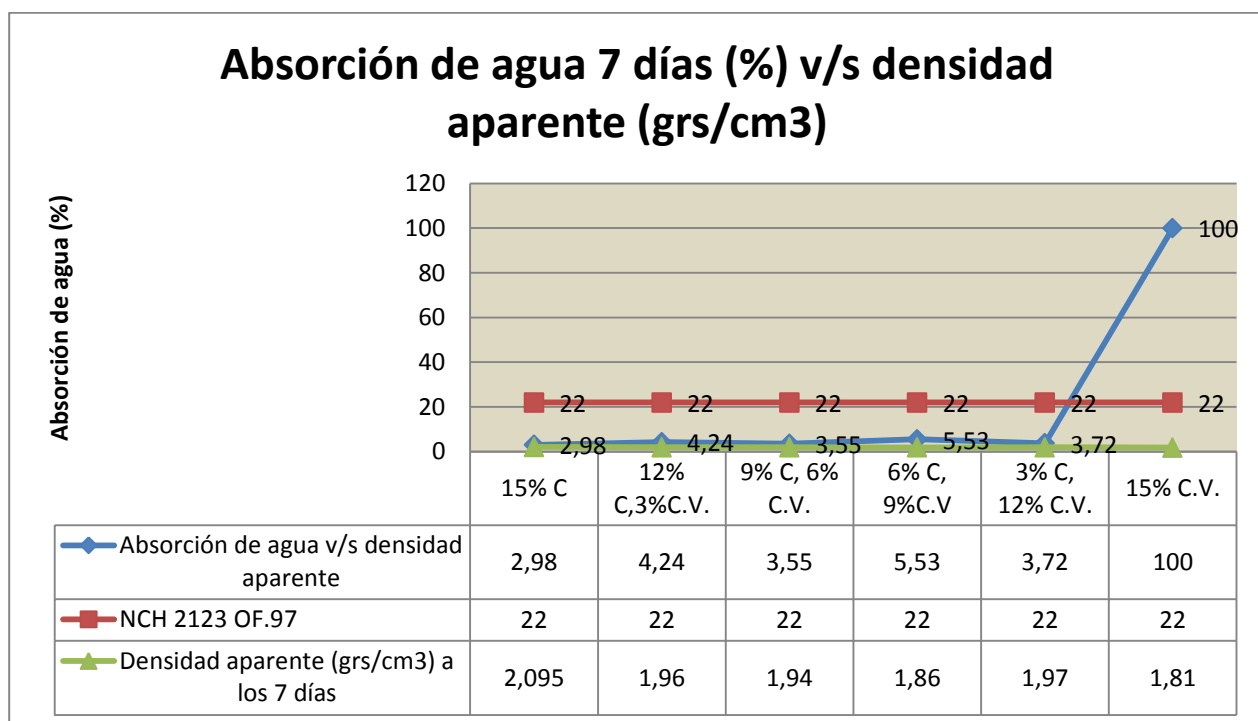


Figura 4.22.: Grafico absorción de agua V/S densidad aparente a los 7 días (Fuente: elaboración propia).

4.4.2.1.2 Análisis de resultados absorción de agua 7 días v/s densidad aparente (grs/cm³).

Como se puede ver en la figura 4.22 a medida que el porcentaje de ceniza volante va aumentando la densidad aparente tiende a disminuir, y a su vez la absorción de agua tiende a subir. Por lo que se puede decir que la absorción es directamente proporcional a la C.V. pero inversamente proporcional a la densidad aparente.

Finalmente podemos ver que la muestra patrón se comporta mejor respecto a la absorción y a la densidad aparente a diferencia de la muestra con 15% de ceniza volante.

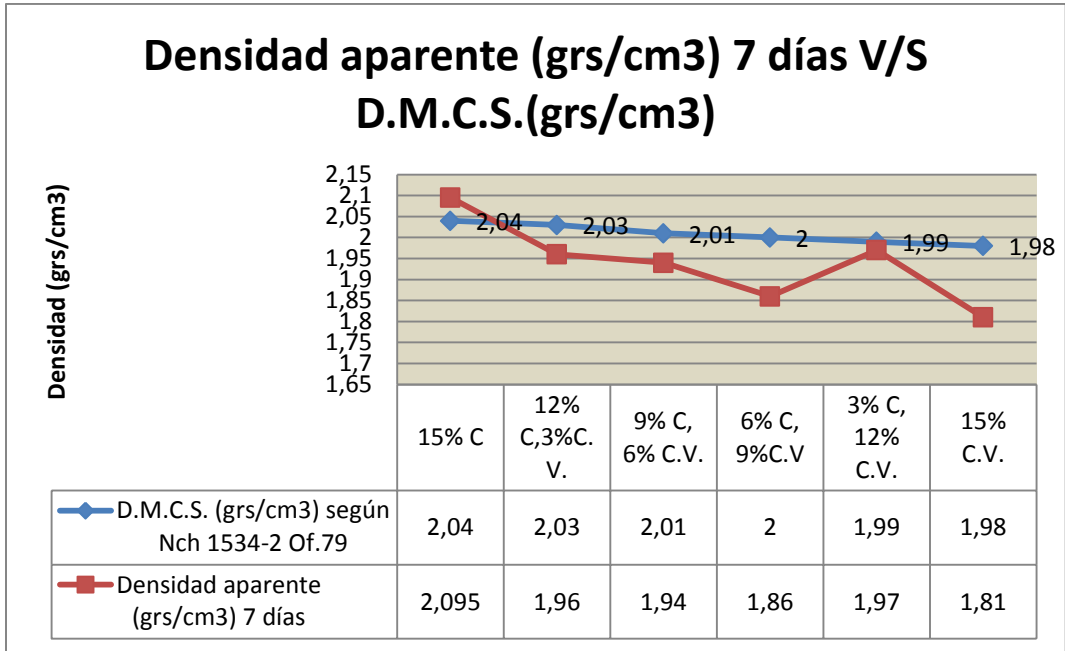


Figura 4.23.: Gráfico densidad aparente (grs/cm³) v/s D.M.C.S. (grs/cm³) a los 7 días (Fuente: elaboración propia)

4.4.2.1.3 Análisis de resultados densidad aparente (grs/cm³) 7 días v/s D.M.C.S. (grs/cm³).

Como se puede ver en la figura 4.23 la muestra patrón con 15% de cemento es la única que supera con un 2,095 (grs/cm³) a la D.M.C.S. equivalente a 2,04 (grs/cm³). La mezcla con 12% de cemento y 3% de ceniza nos da una densidad aparente de 1,96 (g/cm³) alcanzando un 96,55% respecto a la D.M.C.S. equivalente a 2,03 (grs/cm³). La mezcla con 9% de cemento y 6 % de ceniza volante nos da una densidad aparente igual a 1,94 (g/cm³) alcanzando un 96,51% respecto a la D.M.C.S. igual a 2,01 (g/cm³). La mezcla con 6% de cemento y 9% de ceniza alcanza nos da una densidad aparente equivalente a 1,86 (g/cm³) alcanzando un 93% respecto a la D.M.C.S. igual a 2 (g/cm³). La mezcla con 3% de cemento y 12% de ceniza volante nos da una densidad aparente igual a 1,97(g/cm³) alcanzando un 98,99% respecto a la D.M.C.S. equivalente a 1,99 (g/cm³). Y finalmente la mezcla con 15% de ceniza volante nos da una densidad aparente de 1,81(g/cm³) alcanzando un 91,41 % respecto a la D.M.C.S. equivalente a 1,98 (g/cm³).

Los porcentajes de compactación como se puede ver, disminuyen a medida que aumenta la ceniza o disminuye el cemento, lo que también influye en una mayor absorción dado que deja un mayor porcentaje de vacíos entre sus partículas por las bajas compactaciones alcanzadas. Además, también se logra apreciar una baja gradual en las D.M.C.S., dado que el peso específico de la ceniza volante es de 2,2 (grs/cm³) y la del cemento es de 3 (grs/cm³).

Importante volver a mencionar la gran diferencia que existe entre ambos métodos, dado que la maquina Cinva Ram trabaja a presión y el método de Proctor Modificado trabaja a compactación de 25 golpes cada 5 capas.

Sin embargo la muestra con 3% de cemento y 12% de ceniza volante muestra una dispersión en cuanto al porcentaje de compactación alcanzada lo que también se refleja en la figura 4.22 donde también baja en forma gradual su absorción.

4.4.2.2 Ensayo Absorción de Agua a la edad de 28 días.

Muestra Patrón, %11,19 humedad, 85% suelo, 15 % cemento					
Nº Probeta	Masa Seca (grs)	Masa Húmeda (grs)	Absorción de Agua (%)	volumen (cm3)	Da (Gr/cm3)
Probeta 1	5267	5593	6,18	2.427,83	2,3
Probeta 2	5162	5360	3,83	2.499,02	2,14
Probeta 3	4637	4890	5,45	2.505,99	1,95
Probeta 4	5215	5477	5,02	2.466,91	2,22
Probeta 5	4952	5242	5,85	2482,96	2,11
Probeta 6	5110	5418	6,02	2.455,40	2,2
Promedio	5057	5330	5,39	2.473,02	2,15

Tabla 4.41: Resultados Absorción de Agua a los 28 días muestra patrón 85% suelo y 15% cemento (Fuente: Elaboración propia)

Muestra con %10,35 humedad, 85% suelo, 12 % cemento, 3% ceniza volante					
Nº Probeta	Masa Seca (grs)	Masa Húmeda (grs)	Absorción de Agua (%)	volumen (cm3)	Da (Gr/cm3)
Probeta 1	4567	4924	7,81	2.332,69	2,11
Probeta 2	4607	4976	8	2.415,66	2,05
Probeta 3	4503	4623	2,66	2.388,71	1,93
Probeta 4	4587	4950	7,91	2.360,70	2,09
Probeta 5	4577	4937	7,86	2374,17	2,07
Probeta 6	4592	4957	7,94	2.353,43	2,1
Promedio	4572	4894	7,03	2.370,89	2,05

Tabla 4.42: Resultados Absorción de Agua a los 28 días muestra 85% suelo, 12% cemento y 3% ceniza volante (Fuente: Elaboración propia)

Muestra con % 11,24 humedad, 85% suelo, 9 % cemento, 6% ceniza volante					
Nº Probeta	Masa Seca (grs)	Masa Húmeda (grs)	Absorción de Agua (%)	volumen (cm3)	Da (Gr/cm3)
Probeta 1	4635	4920	6,14	2.367,51	1,95
Probeta 2	4730	5001	5,72	2.353,62	2,01
Probeta 3	4408	4735	7,41	2.349,64	1,87
Probeta 4	4522	4828	6,76	2.360,57	1,92
Probeta 5	4683	4961	5,93	2364,03	1,98
Probeta 6	4659	4940	6,03	2.365,77	1,97
Promedio	5606	4898	6,33	2.360,19	1,95

Tabla 4.43: Resultados Absorción de Agua a los 28 días muestra 85% suelo, 9% cemento y 6% ceniza volante (Fuente: Elaboración propia).

Muestra con % 9 humedad, 85% suelo, 6 % cemento, 9% ceniza volante					
Nº Probeta	Masa Seca (grs)	Masa Húmeda (grs)	Absorción de Agua (%)	volumen (cm3)	Da (Gr/cm3)
Probeta 1	4613	4906	6,35	2.383,73	1,93
Probeta 2	4671	4988	6,78	2.336,15	1,99
Probeta 3	4387	4698	7,08	2.346,94	1,54
Probeta 4	4642	4947	6,57	2.359,94	1,96
Probeta 5	4627,5	4926,5	6,46	2371,83	1,95
Probeta 6	4649	4957	6,62	2.348,04	1,97
Promedio	4598	4903	6,64	2.441,11	1,89

Tabla 4.44: Resultados Absorción de Agua a los 28 días muestra 85% suelo, 6% cemento y 9% ceniza volante (Fuente: Elaboración propia).

Muestra con % 9,45 humedad, 85% suelo, 3 % cemento, 12% ceniza volante					
Nº Probeta	Masa Seca (grs)	Masa Húmeda (grs)	Absorción de Agua (%)	volumen (cm3)	Da (Gr/cm3)
Probeta 1	4734	5066	7,01	2.376,87	1,99
Probeta 2	4049	4376	8,07	2.388,23	1,7
Probeta 3	5027	5388	7,18	2.368,17	2,12
Probeta 4	4392	4721	7,49	2.372,52	1,85
Probeta 5	4881	5227	7,08	2374,69	2,06
Probeta 6	4808	5147	7,05	2.375,78	2,02
Promedio	4649	4988	7,31	2.376,04	1,96

Tabla 4.45: Resultados Absorción de Agua a los 28 días muestra 85% suelo, 3% cemento y 12% ceniza volante (Fuente: Elaboración propia).

Muestra con % 10,83 humedad, 85% suelo y 15% ceniza volante					
Nº Probeta	Masa Seca (grs)	Masa Húmeda (grs)	Absorción de Agua (%)	volumen (cm3)	Da (Gr/cm3)
Probeta 1	4267	Indefinido	no aplica	2.356,43	1,81
Probeta 2	4260	Indefinido	no aplica	2.363,86	1,8
Probeta 3	4121	Indefinido	no aplica	2.194,58	1,87
Probeta 4	4263	Indefinido	no aplica	2.360,15	1,8
Probeta 5	4265	Indefinido	no aplica	2358,28	1,8
Probeta 6	4193	Indefinido	no aplica	2.361,07	1,77
Promedio	4228	indefinido	no aplica	2.332,39	1,81

Tabla 4.46: Resultados Absorción de Agua a los 28 días muestra 85% suelo y 15% ceniza volante (Fuente: Elaboración propia).

Resumen ensayos absorción de agua a los 28 días					
Mezclas (%)	Masa Seca (grs)	Masa Húmeda (grs)	Absorción de Agua (%)	volumen (cm3)	Da (Gr/cm3)
15% C	5057	5330	5,39	2.473,02	2,15
12% C, 3% C.V.	4572	4894	7,03	2.370,89	2,05
9% C, 6% C.V.	5606	4898	6,33	2.360,19	1,95
6% C, 9% C.V	4598	4903	6,64	2.441,11	1,89
3% C, 12% C.V.	4649	4988	7,31	2.376,04	1,96
15% C.V.	4359	indefinido	no aplica	2.304,96	1,89

Tabla 4.47: Resumen Resultados Absorción de agua a los 28 días (Fuente: Elaboración propia).

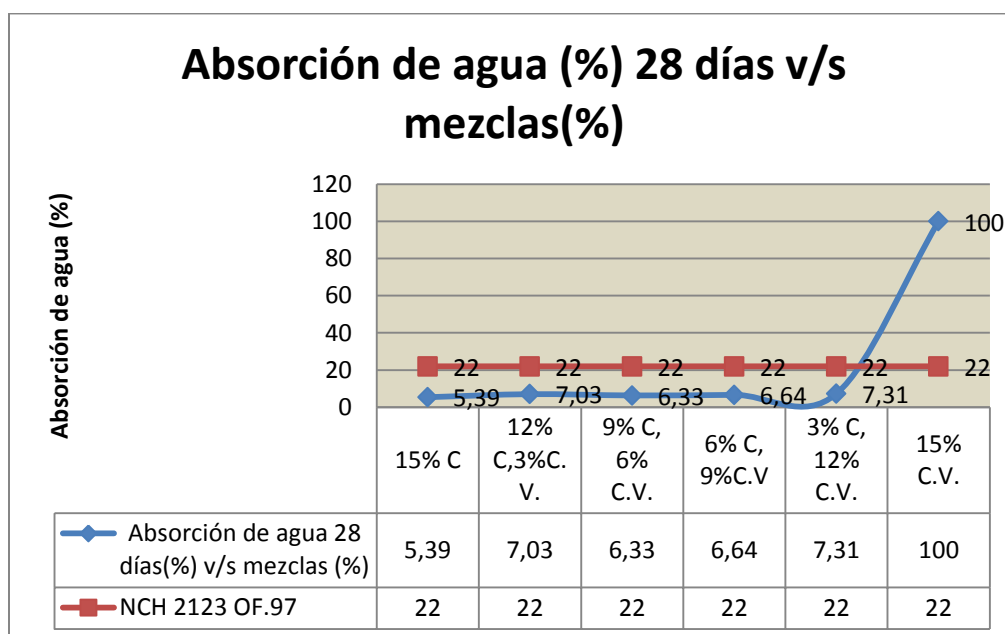


Figura 4.24.: Gráfico absorción de agua (%) V/S mezclas (%) respecto al peso) a los 28 días (Fuente: elaboración propia)

4.4.2.2.1 Análisis de resultados absorción de agua (%) 28 días v/s % mezclas.

De acuerdo a los datos obtenidos, se puede observar en el gráfico de la figura 4.24, que la absorción de agua que alcanzan los ladrillos a los 28 días, se encuentran todas bajo el parámetro máximo que exige la norma para los ladrillos arcillosos macizos fabricados a mano (Anexo B) de la Nch 2123 Of. 97 (Tabla 3.2.) que estipula una absorción de agua máxima del 22%, a excepción de la mezcla con 85% de suelo y 15% de ceniza volante. Este efecto se produce dado que la ceniza volante clase F reacciona al entrar en contacto con un agente alcalino como la cal, lo que en nuestro caso se visualiza dado que se deforma 100% al estar sumergido por 24 horas como

muestra la figura 4.20 (pag.78) bajo el agua. Esto nos dice que la ceniza volante no puede estabilizar la mezcla sin presencia de cemento, de cal o de cualquier agente alcalino u hidróxido de calcio, ya que no produce el efecto de fraguar y endurecer.

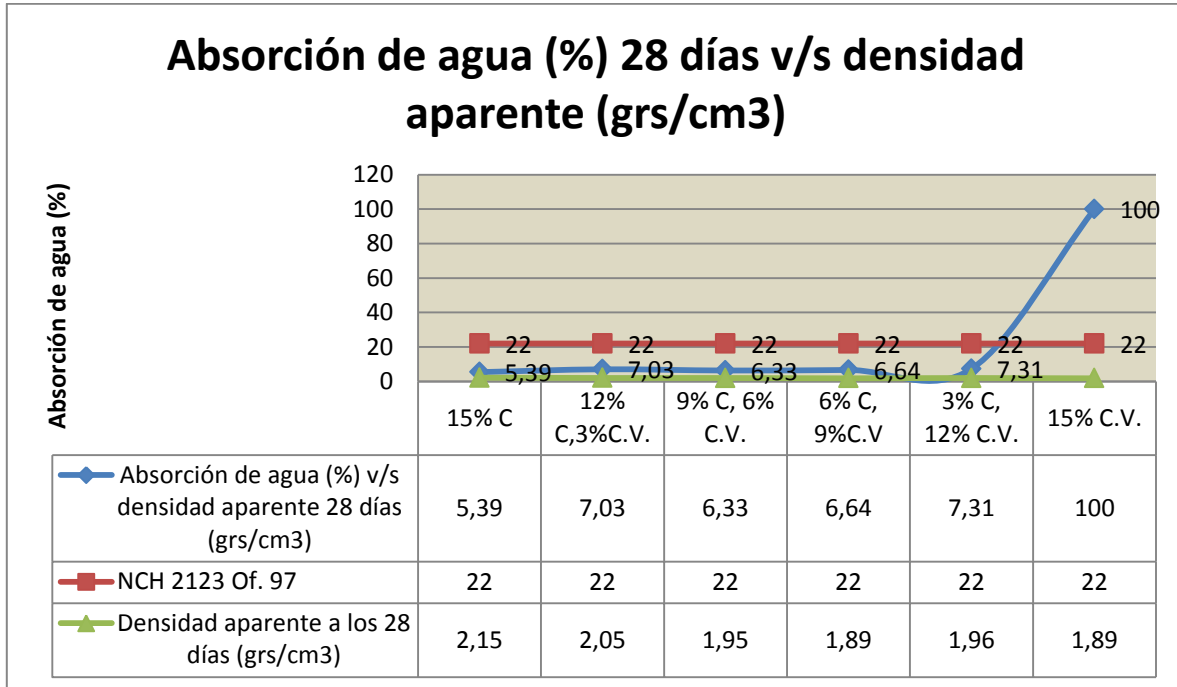


Figura 4.25.: Grafico absorción de agua (%) V/S densidad aparente (grs/cm3) a los 28 días
(Fuente: elaboración propia)

4.4.2.2.2 Análisis de resultados absorción de agua (%) 28 días v/s densidad aparente (grs/cm3).

Como se puede ver en la figura 4.25 a medida que el porcentaje de ceniza volante va aumentando la densidad aparente tiende a disminuir, y a su vez la absorción de agua tiende a subir. Por lo que se puede decir que la absorción es directamente proporcional a la C.V. pero inversamente proporcional a la densidad aparente.

La menor absorción alcanzada es por la muestra patrón con 15% de cemento con 5,39% estado por debajo de la norma en 16,61% y obteniendo la mayor densidad con 2,15 (g/cm3). Y la mayor absorción la obtiene la muestra con 15% de ceniza volante dado que no se encuentra con un agente alcalino obteniendo una absorción de un 100% en su masa y obteniendo la menor densidad con 1,89 (g/cm3) lo que en estricto rigor no aplica respecto a la norma.

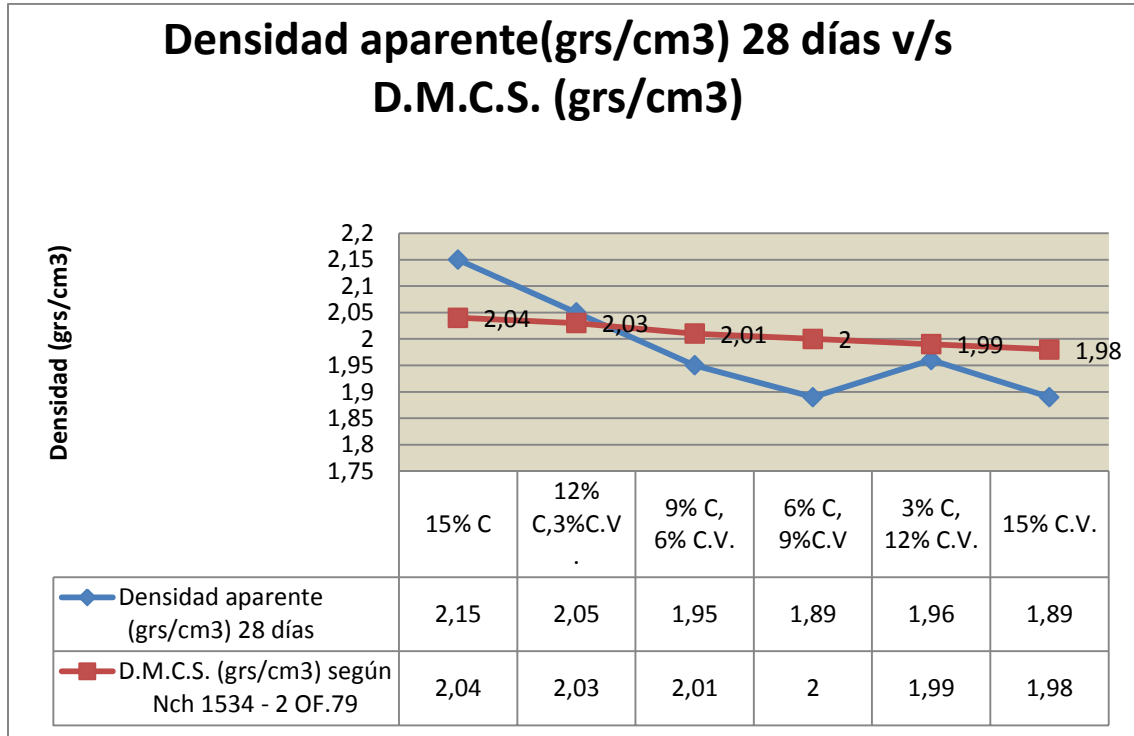


Figura 4.26.: Gráfico densidad aparente (grs/cm3) v/s D.M.C.S. (grs/cm3) a los 28 días (Fuente: elaboración propia)

4.4.2.2.3 Análisis de resultados densidad aparente (grs/cm3) 28 días v/s D.M.C.S. (grs/cm3).

Como se puede ver en la figura 4.26 la muestra patrón con 15% de cemento nos da una densidad aparente de 2,15 (g/cm3) superando a la D.M.C.S. igual a 2,04 (g/cm3) superándola en un 5,39%. La muestra con 12% de cemento y 3% de ceniza nos da una densidad de 2,05 (g/cm3) también superando a la D.M.C.S. igual a 2,03 (grs/cm3) en un 0,9 %. La mezcla con 9% de cemento y 6% de ceniza nos da una densidad aparente de 1,95 (g/cm3) alcanzando un 97,01 % de la D.M.C.S. igual a 2,01 (g/cm3). La mezcla con 6% de cemento y 9% de ceniza volante nos da una densidad aparente de 1,89 (g/cm3) alcanzando un 94,5 % de la D.M.C.S. igual 2 (g/cm3). La mezcla con 3% de cemento y 12% de ceniza nos da una densidad de 1,96 (g/cm3) alcanzando un 98,49% respecto a la D.M.C.S. equivalente a 1,99 (g/cm3). Y finalmente la mezcla con 15% de ceniza volante nos da una densidad aparente de 1,89 (g/cm3) alcanzando un 95,45% respecto a la D.M.C.S. equivalente a 1,98 (g/cm3).

Los porcentajes de compactación como se puede ver, disminuyen a medida que aumenta la ceniza o disminuye el cemento, lo que también influye en una mayor absorción dado que queda un mayor porcentaje de vacíos dentro de la mezcla.

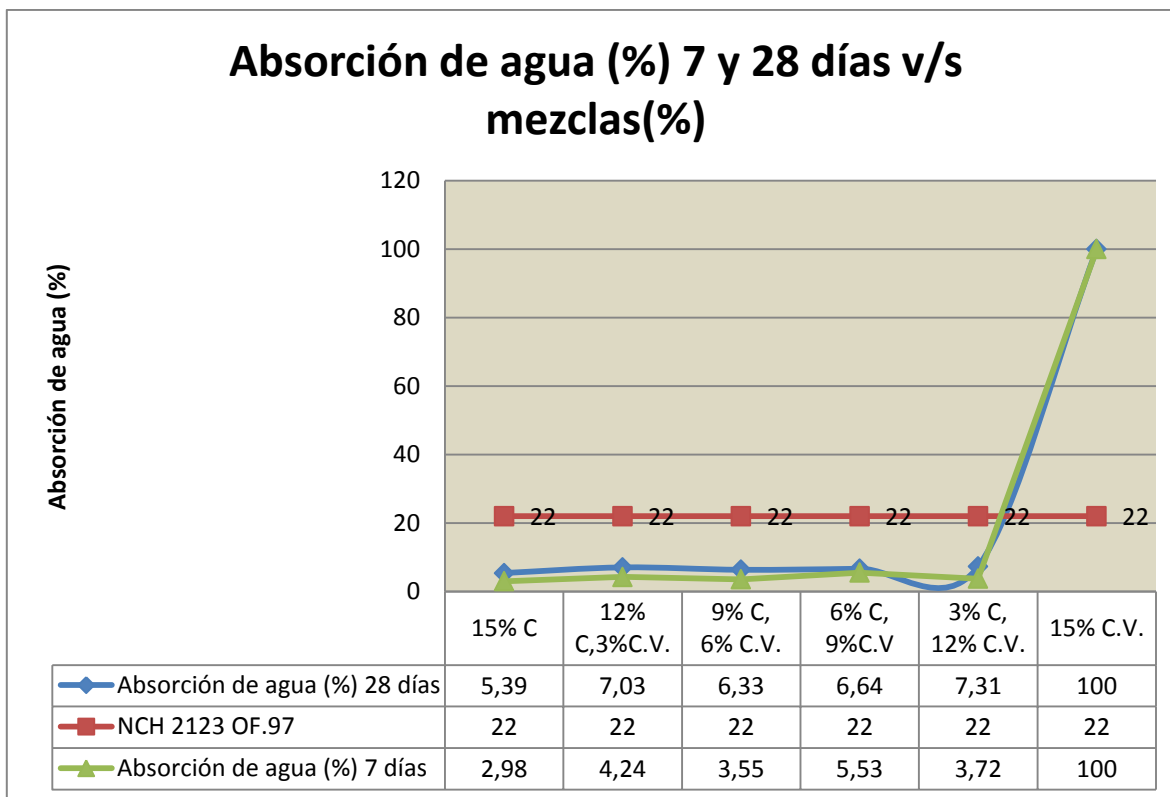


Figura 4.27.: Grafico absorción de agua (%) V/S mezclas (%) respecto al peso) a los 7 y 28 días
(Fuente: elaboración propia)

4.4.2.2.4 Análisis de resultados absorción de agua (%) 7 y 28 días v/s mezclas (%).

Como se puede visualizar en la figura 4.27 hay un aumento de la absorción de agua a la edad de 7 a 28 días. Esto dado que a la edad de 7 días los ladrillos todavía se encuentran saturados superficialmente secos a diferencia de la edad de 28 días

La muestra patrón es la que tiene la menor absorción de agua, aumentando a la edad de 7 a 28 días de 2,98 % a 2,39% respectivamente, obteniendo una diferencia de 2,41 %. La muestra con 12% de cemento y 3% de ceniza volante aumenta a la edad de 7 a 28 días en 4,24% a 7,03% respectivamente, obteniendo una diferencia de 2,79%. La mezcla con 9% de cemento y 6% de ceniza volante aumenta a la edad de 7 a 28 días en 3,55% a 6,33% respectivamente, obteniendo una diferencia de 2,78% respectivamente. La mezcla con 6% de cemento y 9% de ceniza aumenta a la edad de 7 a 28 días en 5,53 % a 6,64% respectivamente, obteniendo una diferencia de 1,11 %. Y finalmente la mezcla con 3% de cemento y 12% de ceniza volante aumenta su absorción a la edad de 7 a 28 días en 3,72% a 7,31% respectivamente, obteniendo una diferencia de 3,59%.

Nuevamente la muestra patrón es la que mejor se comporta respecto a las otras mezclas.

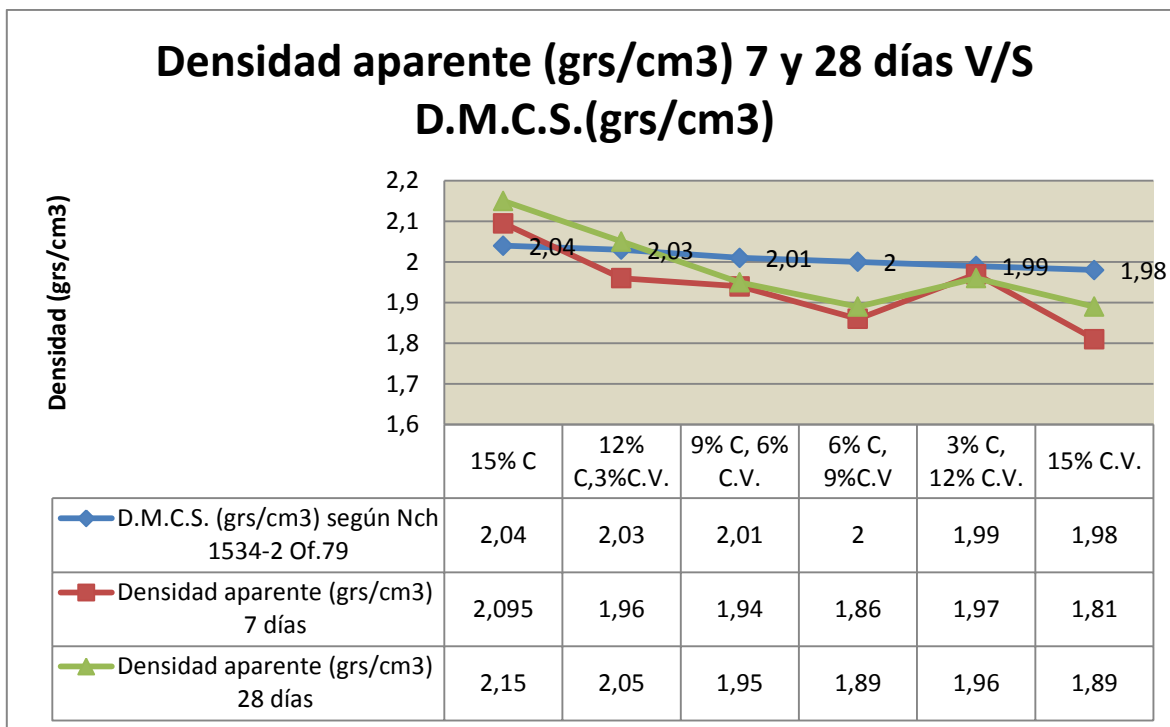


Figura 4.28.: Gráfico densidad aparente (grs/cm³) v/s D.M.C.S. (grs/cm³) a los 7 y 28 días
(Fuente: elaboración propia).

4.4.2.2.5 Análisis de resultados densidad aparente (grs/cm³) 7 y 28 días v/s mezclas D.M.C.S. (grs/cm³).

Como se puede ver en la figura 4.28 la mezcla patrón con 15% de cemento supera la edad de los 7 y 28 días la densidad aparente respecto a la D.M.C.S. equivalente a 2,04 (grs/cm³). Además se ve un leve aumento de su densidad de 2,095 (grs/cm³) a 2,15 (grs/cm³), con una diferencia de 0,055 (grs/cm³) equivalente a un aumento de 2,6%.

La mezcla con 12% de cemento y 3% de ceniza alcanza a la edad de 7 días nos da una densidad aparente de 1,96 (g/cm³) alcanzando un 96,55% respecto a la D.M.C.S. igual a 2,03 (g/cm³). Sin embargo a la edad de 28 días alcanza una densidad aparente de 2,05 (grs/cm³) superando la D.M.C.S. en 0,02 (g/cm³) equivalente a un 0,9% superior.

La mezcla con 9% de cemento y 6% de ceniza alcanza una densidad aparente a la edad de 28 días igual a 1,95 (grs/cm³) alcanzando un 97,01% respecto a la D.M.C.S. igual a 2,01 (grs/cm³). Además hay un leve aumento a la edad de 7 a 28 días de 1,94 (grs/cm³) a 1,95 (grs/cm³) obteniendo una diferencia de 0,01 (grs/cm³) equivalente a 0,5 %.

La mezcla con 6% de cemento y 9% de ceniza alcanza una densidad aparente a la edad de 28 días igual a 1,89 (grs/cm³) alcanzando un 94,5% respecto a la D.M.C.S. igual a 2 (grs/cm³). Además hay un leve aumento a la edad de 7 a 28 días de 1,86 (grs/cm³) a 1,89 (grs/cm³) obteniendo una diferencia de 0,03 (grs/cm³) equivalente a 1,61 %.

La mezcla con 3% de cemento y 12% de ceniza alcanza una densidad aparente a la edad de 28 días igual a 1,96 (grs/cm³) alcanzando un 98,49% respecto a la D.M.C.S. igual a 1,99

(grs/cm³). Sin embargo a la edad de 7 días se obtiene una densidad mayor de 1,97(g/cm³), obteniendo una diferencia de 0,01 (g/cm³) respecto a la muestra a la edad de 28 días. Esta muestra dispersa la tendencia de la curva a diferencia de los ensayos realizados a compresión donde la tendencia era descender a medida que aumenta la ceniza volante.

La mezcla con 15% de ceniza alcanza una densidad aparente a la edad de 28 días igual a 1,89 (grs/cm³) alcanzando un 95,45 % respecto a la D.M.C.S. igual a 1,98(grs/cm³). Además hay un leve aumento a la edad de 7 a 28 días de 1,81 (grs/cm³) a 1,89 (grs/cm³) obteniendo una diferencia de 0,08 (grs/cm³) equivalente a 4,41 %. Esta es la mezcla que alcanza la menor densidad aparente y menor porcentaje de compactación, sin embargo, aun así no logra mantener su forma bajo el agua dado a la falta de un estabilizante complementario a la cal.

Los porcentajes de compactación alcanzados son satisfactorios dado que alcanzan sobre un 95% de la D.M.C.S. a excepción de la muestra con 6% de cemento y 9% de ceniza volante.

Importante volver a mencionar que el peso específico del cemento es fluctúa entre 2,9 (grs/cm³) y 3.12(grs/cm³) siendo mayor al peso específico de la ceniza volante equivalente a 2,2 (grs/cm³). Esta propiedad física influye directamente en el peso y a su vez en la D.M.C.S. obtenida en las distintas mezclas dando lógicamente las menores densidades con mayores porcentajes de ceniza volante, dejando siempre constante el volumen que no varía.

4.4.3 Ensayo de Adherencia a Cizalle

4.4.3.1 Ensayo Adherencia a Cizalle a la edad de 7 días

Muestra Patrón, 11,19 % Humedad, 15 % Cemento				
Nº Probeta	P (Kgf)	S (cm2)	Adherencia (Kgf/cm2)	Adherencia (MPa)
Probeta 1	2.650	802,91	3,3	0,33
Probeta 2	2.250	815,82	2,75	0,27
Probeta 3	2.300	820,18	2,8	0,28
Probeta 4	2.450	811,54	3,01	0,301
Probeta 5	2.400	807,22	2,97	0,297
Probeta 6	2.600	805,06	3,22	0,322
Promedio	2.442	810,45	3	0,3

Tabla 4.48: Resultados adherencia a cizalle a los 7 días muestra 85% suelo y 15% cemento (Fuente: Elaboración propia).

Dónde:

Muestra %10,35 humedad, 85% suelo, 12 % cemento, 3% ceniza v.				
Nº Probeta	P (Kgf)	S (cm2)	Adherencia (Kgf/cm2)	Adherencia (MPa)
Probeta 1	1.900	805,97	2,35	0,235
Probeta 2	1.850	800,17	2,31	0,231
Probeta 3	1.700	810,27	2,09	0,209
Probeta 4	1.600	815,75	1,96	0,196
Probeta 5	1.750	808,12	2,16	0,216
Probeta 6	1.800	804,145	2,23	0,223
Promedio	1.767	807,4	2,18	0,218

Tabla 4.49: Resultados adherencia a cizalle a los 7 días muestra 85% suelo, 12% cemento y 3 % ceniza volante (Fuente: Elaboración propia).

Muestra % 11,24 humedad, 85% suelo, 9 % cemento, 6% ceniza v.				
Nº Probeta	P (Kgf)	S (cm2)	Adherencia (Kgf/cm2)	Adherencia (MPa)
Probeta 1	1600	803,78	1,99	0,199
Probeta 2	1.550	804,14	1,92	0,192
Probeta 3	1.550	809,16	1,91	0,191
Probeta 4	1600	807,56	1,98	0,198
Probeta 5	1500	808,91	1,85	0,185
Probeta 6	1.550	809,76	1,91	0,191
Promedio	1558,33	807,21	1,92	0,192

Tabla 4.50: Resultados adherencia a cizalle a los 7 días muestra 85% suelo,9% cemento y 6 % ceniza volante
(Fuente: Elaboración propia).

Muestra % 9 humedad, 85% suelo, 6 % cemento, 9% ceniza v.				
Nº Probeta	P (Kgf)	S (cm2)	Adherencia (Kgf/cm2)	Adherencia (MPa)
Probeta 1	1.500	807,84	1,85	0,185
Probeta 2	1.500	809,05	1,85	0,185
Probeta 3	1.300	809,71	1,6	0,16
Probeta 4	1.450	807,86	1,79	0,179
Probeta 5	1400	808,46	1,73	0,173
Probeta 6	1.350	807,3	1,67	0,167
Promedio	1.417	808,37	1,74	0,174

Tabla 4.51: Resultados adherencia a cizalle a los 7 días muestra 85% suelo,6% cemento y 9 % ceniza volante
(Fuente: Elaboración propia).

Muestra % 9,45 humedad, 85% suelo, 3 % cemento, 12% ceniza v.				
Nº Probeta	P (Kgf)	S (cm2)	Adherencia (Kgf/cm2)	Adherencia (MPa)
Probeta 1	800	804,68	0,99	0,099
Probeta 2	850	807,53	1,05	0,105
Probeta 3	900	805,4	1,11	0,111
Probeta 4	700	806,62	0,86	0,086
Probeta 5	750	803,87	0,93	0,093
Probeta 6	800	804,22	0,99	0,099
Promedio	800	805,4	0,98	0,098

Tabla 4.52: Resultados adherencia a cizalle a los 7 días muestra 85% suelo,3% cemento y 12% ceniza volante(Fuente: Elaboración propia).

Muestra con % 10,83 humedad, 85% suelo y 15% ceniza volante				
Nº Probeta	P (Kgf)	S (cm2)	Adherencia (Kgf/cm2)	Adherencia (MPa)
Probeta 1	200	807,51	0,25	0,025
Probeta 2	350	806,29	0,43	0,043
Probeta 3	450	805,45	0,55	0,055
Probeta 4	350	807,34	0,43	0,043
Probeta 5	250	807,89	0,31	0,031
Probeta 6	400	805,98	0,5	0,05
Promedio	333	806,74	0,41	0,041

Tabla 4.53: Resultados adherencia a cizalle a los 7 días muestra 85% suelo, 15% ceniza volante (Fuente: Elaboración propia).

Mezclas(%)	P (Kgf)	S (cm2)	Adherencia (Kgf/cm2)	Adherencia (MPa)
C 15%	2.442	810,45	3	0,3
C 12%/CV 3%	1.767	807,4	2,18	0,218
C 9%/CV 6%	1558,33	807,21	1,92	0,192
C 6%/CV 9%	1.417	808,37	1,74	0,174
C 3% /CV 12%	800	805,4	0,98	0,098
CV 15%	333	806,74	0,41	0,041

Tabla 4.54: Resumen resultados adherencia a cizalle a los 7 días (Fuente: Elaboración propia).

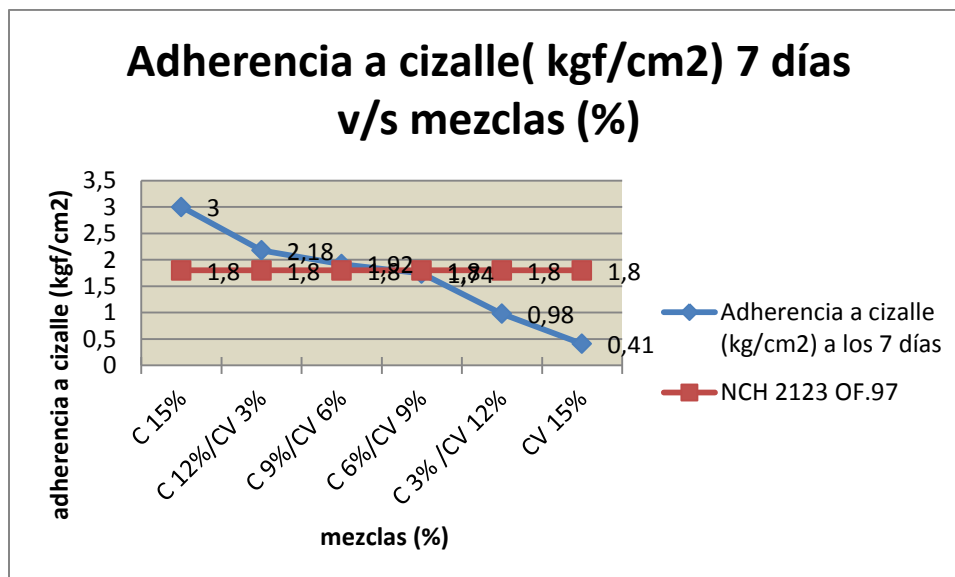


Figura 4.29.: Gráfico adherencia a cizalle v/s % mezclas a los 7 días (Fuente: elaboración propia)

4.4.3.1.1 Análisis de resultados adherencia a cizalle (kgf/cm²) 7 días v/s mezclas (%).

De acuerdo a los datos obtenidos y lo establecido en la NCh 2123 Of.97, se observa en la figura 4.29 que la adherencia a cizalle a los 7 días, solo superan las tres primeras mezclas los requerimientos de la norma que exige 1,8(kgf/cm²). La de 15% de cemento supera en un 66,6%, la de 12% de cemento y 3% de ceniza volante supera en un 21,1%, y finalmente la mezcla con 9% de cemento y 6% de ceniza supera en un 6,6%. Las últimas tres mezclas ya pierden adherencia y no logran alcanzar los 1,8 (kgf/cm²). La mezcla con 6% de cemento y 9 % de ceniza obtiene 1,74 (kgf/cm²) alcanzando un 96,6%, la mezcla con 3% de cemento y 12% de ceniza obtiene 0,98 (kgf/cm²) alcanzando un 54,44% y finalmente la mezcla con 15% de ceniza obtiene 0,41 (Kgf/cm²) alcanzando un 22,77% siendo este el valor más bajo obtenido.

Un factor a considerar es la terminación de la superficie de los ladrillos, los de suelo cemento son más porosos y rugosos en comparación a los ladrillos de suelo-cemento-ceniza volante y suelo-ceniza volante.

Con lo descrito anteriormente podemos pensar que la ceniza volante aporta en una disminución de su resistencia, pero mejora la terminación debido a que sirve como un reemplazo del árido fino, además le da un color gris al ladrillo, en cambio el ladrillo de suelo-cemento aflora el color del maisillo.



Figura 4.30: Ladrillo con 85% suelo, 6% cemento y 9 % de ceniza volante (Fuente: elaboración propia)



Figura 4.31: Ladrillo con 85% suelo y 15% de cemento (Fuente: elaboración propia)

4.4.3.2 Ensayo Adherencia a Cizalle a la edad de 28 días

Muestra Patrón, 11,19 % Humedad, 15 % Cemento				
Nº Probeta	P (Kgf)	S (cm2)	Adherencia (Kgf/cm2)	Adherencia (MPa)
Probeta 1	2.700	803,98	3,36	0,336
Probeta 2	2.750	811,52	3,39	0,339
Probeta 3	2.800	815,86	3,43	0,343
Probeta 4	2.750	809,92	3,4	0,34
Probeta 5	2.775	806,95	3,44	0,344
Probeta 6	2.788	811,4	3,44	0,344
Promedio	2.760	809,93	3,41	0,341

Tabla 4.55: Resultados adherencia a cizalle a los 28 días muestra 85% suelo y 15% cemento (Fuente: Elaboración propia).

Muestra %10,35 humedad, 85% suelo, 12 % cemento, 3% ceniza v.				
Nº Probeta	P (Kgf)	S (cm2)	Adherencia (Kgf/cm2)	Adherencia (MPa)
Probeta 1	2.125	805,05	2,64	0,264
Probeta 2	2.050	804,14	2,55	0,255
Probeta 3	2.100	813,01	2,58	0,258
Probeta 4	2.113	809,03	2,61	0,261
Probeta 5	2.119	806,58	2,63	0,263
Probeta 6	2.122	809,79	2,62	0,262
Promedio	2.105	807,93	2,61	0,261

Tabla 4.56: Resultados adherencia a cizalle a los 28 días muestra 85% suelo, 12% cemento y 3 % ceniza volante (Fuente: Elaboración propia).

Muestra % 11,24 humedad, 85% suelo, 9 % cemento, 6% ceniza v.				
Nº Probeta	P (Kgf)	S (cm2)	Adherencia (Kgf/cm2)	Adherencia (MPa)
Probeta 1	1750	806,77	2,17	0,217
Probeta 2	1.800	806,52	2,23	0,223
Probeta 3	1.850	808,36	2,29	0,229
Probeta 4	1800	807,56	2,23	0,223
Probeta 5	1825	807,96	2,26	0,226
Probeta 6	1.813	807,36	2,24	0,224
Promedio	1806,25	807,42	2,24	0,224

Tabla 4.57: Resultados adherencia a cizalle a los 28 días muestra 85% suelo, 9% cemento y 6 % ceniza volante (Fuente: Elaboración propia).

Muestra % 9 humedad, 85% suelo, 6 % cemento, 9% ceniza v.				
Nº Probeta	P (Kgf)	S (cm2)	Adherencia (Kgf/cm2)	Adherencia (MPa)
Probeta 1	1.550	807,57	1,92	0,192
Probeta 2	1.600	808,75	1,98	0,198
Probeta 3	1.500	808,78	1,85	0,185
Probeta 4	1.525	808,17	1,89	0,189
Probeta 5	1538	807,87	1,9	0,19
Probeta 6	1.575	807,72	1,95	0,195
Promedio	1.548	808,14	1,915	0,1915

Tabla 4.58: Resultados adherencia a cizalle a los 28 días muestra 85% suelo, 6% cemento y 9 % ceniza volante (Fuente: Elaboración propia).

Muestra % 9,45 humedad, 85% suelo, 3 % cemento, 12% ceniza v.				
Nº Probeta	P (Kgf)	S (cm2)	Adherencia (Kgf/cm2)	Adherencia (MPa)
Probeta 1	1.150	804,45	1,43	0,143
Probeta 2	1.250	805,7	1,55	0,155
Probeta 3	1.300	806,01	1,61	0,161
Probeta 4	1.200	805,23	1,49	0,149
Probeta 5	1275	805,85	1,58	0,158
Probeta 6	1.288	805,15	1,6	0,16
Promedio	1.244	805,39	1,54	0,154

Tabla 4.59: Resultados adherencia a cizalle a los 28 días muestra 85% suelo, 3% cemento y 12% ceniza volante (Fuente: Elaboración propia).

Muestra con % 10,83 humedad, 85% suelo y 15% ceniza volante				
Nº Probeta	P (Kgf)	S (cm2)	Adherencia (Kgf/cm2)	Adherencia (MPa)
Probeta 1	700	806,74	0,87	0,087
Probeta 2	600	807,09	0,74	0,074
Probeta 3	500	806,39	0,62	0,062
Probeta 4	600	806,56	0,74	0,074
Probeta 5	650	806,65	0,81	0,081
Probeta 6	675	806,65	0,84	0,084
Promedio	621	806,68	0,77	0,077

Tabla 4.60: Resultados adherencia a cizalle a los 28 días muestra 85% suelo, 15% ceniza volante (Fuente: Elaboración propia).

Mezclas (%)	P (Kgf)	S (cm2)	Adherencia (Kgf/cm2)	Adherencia (MPa)
C 15%	2.760	809,93	3,41	0,341
C 12%/CV 3%	2.105	807,93	2,61	0,261
C 9%/CV 6%	1806,25	807,42	2,24	0,224
C 6%/CV 9%	1.548	808,14	1,915	0,1915
C 3% /CV 12%	1.244	805,39	1,54	0,154
CV 15%	621	806,68	0,77	0,077

Tabla 4.61: Resumen resultados adherencia a cizalle a los 28 días (Fuente: Elaboración propia).

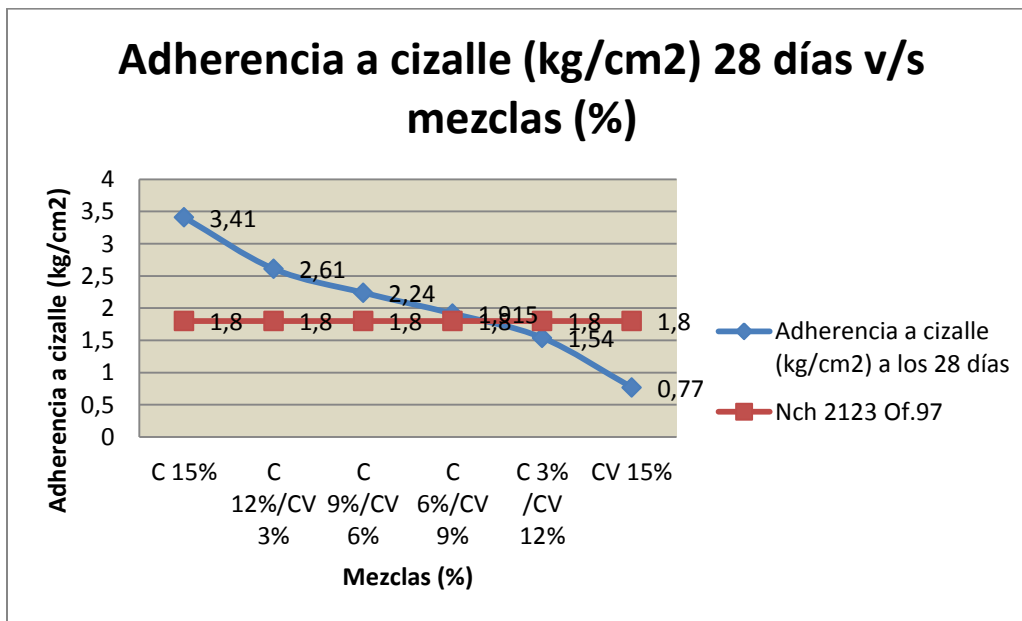


Figura 4.32.: Gráfico adherencia a cizalle v/s % mezclas a los 28 días (Fuente: elaboración propia)

4.4.3.2.1 Análisis de resultados adherencia a cizalle (kgf/cm2) 28 días v/s mezclas (%).

De acuerdo a los datos obtenidos y lo establecido en la NCh 2123 Of.97, se observa en la figura 4.32 que la adherencia a cizalle a los 28 días, solo superan las cuatro primeras mezclas los requerimientos de la norma que exige 1,8 (kgf/cm2). La de 15% de cemento supera en un 89,4%, la de 12% de cemento y 3% de ceniza volante supera en un 45%, y la mezcla con 9% de cemento y 6% de ceniza supera en un 24,44% y finalmente la mezcla con 6% de cemento y 9 % de ceniza volante supera en un 6,38%. Las últimas tres mezclas ya pierden adherencia y no logran alcanzar los 1,8 (kgf/cm2). La mezcla con 3% de cemento y 12% de ceniza alcanza un 85,55% y la mezcla con 15% de ceniza volante alcanza 42,77% siendo este el valor más bajo de las muestras.

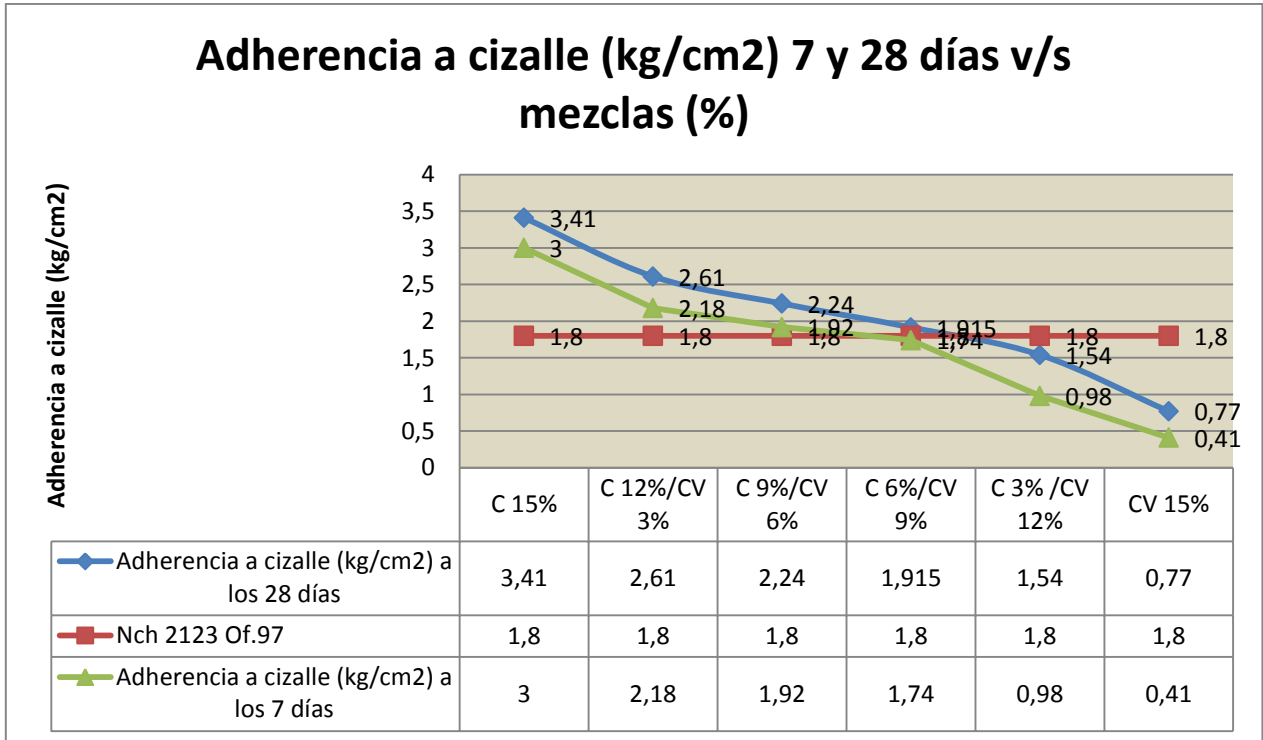


Figura 4.33.: Gráfico adherencia a cizalle v/s % mezclas a los 7 y 28 días (Fuente: elaboración propia)

4.4.3.2.2 Análisis de los resultados adherencia a cizalle (kg/cm²) 7 y 28 días v/s mezclas (%).

De acuerdo a los datos obtenidos y lo establecido en la NCh 2123 Of.97, se observa que a la edad de 28 días las primeras cuatro mezclas sobrepasan los 1,8 (kg/cm²) exigidos por la norma. La muestra patrón a la edad de 28 días alcanza un valor de 3,41 (kgf/cm²) superando a la norma en 1,61 (kgf/cm²) equivalente a un 89,44% superior. Además de la edad de 7 a 28 días aumenta su resistencia al corte de 3 a 3,41(kgf/cm²) respectivamente, obteniendo una diferencia de 0,41 (kgf/cm²) equivalente a un 13,66% superior. Este valor es el más alto obtenido en el ensaye.

La muestra con 12% de cemento y 3% de ceniza volante también supera la norma obteniendo un valor a la edad de 28 días igual a 2,61 (kgf/cm²) superando los 1,8 (kgf/cm²) en 0,81 (kgf/cm²) equivalente a un 45% superior. También se puede ver una evolución en su resistencia al corte de la edad de 7 a 8 días de 2,18 (kgf/cm²) a 2,61(kgf/cm²) respectivamente, dando una diferencia de 0,43 (kgf/cm²) equivalente a un 19,72% superior.

La muestra con 9% de cemento y 6% de ceniza volante también supera la norma obteniendo un valor a la edad de 28 días igual a 2,24 (kgf/cm²) superando los 1,8 (kgf/cm²) en 0,44 (kgf/cm²) equivalente a un 24,44% superior. También se puede ver una evolución en su resistencia al corte de la edad de 7 a 8 días de 1,92 (kgf/cm²) a 2,21(kgf/cm²) respectivamente, dando una diferencia de 0,32 (kgf/cm²) equivalente a un 16,66% superior.

La muestra con 6% de cemento y 9% de ceniza volante también supera la norma obteniendo un valor a la edad de 28 días igual a 1,915 (kgf/cm²) superando los 1,8 (kgf/cm²) en 0,115 (kgf/cm²) equivalente a un 6,3% superior. También se puede ver una evolución en su resistencia al corte de la edad de 7 a 28 días de 1,74 (kgf/cm²) a 1,915 (kgf/cm²) respectivamente, dando una diferencia de 0,175 (kgf/cm²) equivalente a un 10,05 % superior. Sin embargo, a la edad de 7 días no supera los 1,8 (kgf/cm²) alcanzando un 96,66%.

La muestra con 3% de cemento y 12% de ceniza volante se encuentra por debajo de los 1,8 (kgf/cm²) a la edad de 28 días alcanzando un 85,55% con un valor de 1,54 (kgf/cm²). Sin embargo, de la edad de 7 a 28 días se ve un leve aumento de 0,98 (kgf/cm²) a 1,54 (kgf/cm²) respectivamente, cuya diferencia es de 0,56 (kgf/cm²) equivalente a un 57,14% superior.

Finalmente La muestra con 15% de ceniza volante se encuentra por debajo de los 1,8 (kgf/cm²) a la edad de 28 días alcanzando un 42,77% con un valor de 0,77 (kgf/cm²). Sin embargo, de la edad de 7 a 28 días se ve un leve aumento de 0,41 (kgf/cm²) a 0,77 (kgf/cm²) respectivamente, cuya diferencia es de 0,36 (kgf/cm²) equivalente a un 87,80% superior siendo este el valor más bajo obtenido de las muestras de ensaye.

4.5 Análisis de costos de producción

Para llevar a cabo el análisis económico se consideran los factores más importantes que influyen en el costo de los ladrillos, ya sea en el caso de los artesanales, como los de suelo cemento.

Para el caso de los ladrillos cerámicos artesanales se considera el valor comercial unitario más el transporte, cuyos valores referenciales corresponderán a los ladrillos vendidos en Sodimac Construcción.

Tipo Ladrillo	Costo Unitario (\$)	Costo total por ladrillo (\$)
Artesanal	170	170
Despacho estándar sin pioneta camión $\frac{3}{4}$ (capacidad max.4000 kg)	30000	
Costo despacho por ladrillo al mes (1600 uni.)(4 pales)	19	19
	total	189

Tabla 4.62: Valor referencial ladrillo artesanal (Fuente: elaboración propia).

Las variables a considerar para la producción de ladrillos de suelo-cemento-ceniza volante es la materia prima, la mano obra, máquina y herramientas, equipos menores, costos fijos, costos variables (gastos generales). Cabe mencionar que al ser un material de autoconstrucción se puede eliminar la variable de mano de obra. Además se deberá realizar una evaluación de proyecto para ver si es viable el negocio en las circunstancias en que se trabajó pensando en los costos mensuales y analizando los flujos de caja. Consideraremos la depreciación lineal teórica de la máquina. Y calcularemos el valor actual neto (VAN) para ver si finalmente el negocio es viable.

Respecto del costo de la ceniza volante es un residuo para las empresas termoeléctricas. Por ello, debería ser un incentivo para ellas no cobrar y que otros la retiren y le den valor. Este costo pasa a un tema logístico donde entra el costo de carga/descarga y transporte. Tomando lo anteriormente dicho el valor de la ceniza volante será de cero pesos como material asumiendo solo el costo de transporte-descarga.

Además es importante recordar que uno de los objetivos que se busca en este trabajo de investigación es poder utilizar o demandar el mayor porcentaje de ceniza para así disminuir el porcentaje de cemento, logrando un menor impacto ambiental y disminuyendo los costos. Tomando lo anteriormente dicho es necesario saber el ladrillo que cumpla todos los requisitos técnicos y a su vez ocupe el mayor porcentaje de ceniza.

Cuadro 1: Costos de inversiones infraestructura, máquinas y herramientas				
Descripción:	Unidad	Cantidad	Costo unitario(\$/uni)	Costo total (\$)
Terreno de 8 mx 14 m de infraestructura de servicio	m2	112	8400	940800
Taller de confección:				
estructura tabique 3 x 14 m (pino 2x2")	ml	142	375	53250
Pl. zincalum 89,5x250 cms	m2	158	2268	358344
cerchas pino dimensionado 2x2"	ml	79	375	29625
estructura cielo 8x14 m (pino 2x2")	ml	96	375	36000
Máquinas y herramientas:				
Máquina cinva ram	Uni.	1	600000	600000
Carretilla	Uni.	2	21990	43980
Pala	Uni.	2	10990	21980
Implementos de seguridad:				
Mascarilla	Uni.	2	1990	3980
Guantes de poliuretano	Uni.	2	1490	2980
Zapatos de seguridad	Uni.	2	50000	100000
casco de seguridad	Uni.	2	2500	5000
antiparras	uni.	2	1990	3980
implementos básicos:				
Baño químico	uni.	1	181.475	181475
cocina eléctrica	uni	1	84.990	84990
			total	2626304

Tabla 4.63: Costo máquinas y herramientas (Fuente: Elaboración propia).

Los implementos de seguridad según la ordenanza de urbanismo y construcción, son necesarios renovarlos cada 6 meses. Por ende es necesario considerar esto a la hora de realizar la evaluación u horizonte del proyecto.

Cuadro 2: Costos fijo de mano de obra por día(Rendimiento por día = 45 ladrillos)					
Descripción	Unidad	cantidad	Costo unitario (\$/uni.)	Leyes sociales (29%)	Total
1)Ayudante	H/D	1	12500	3625	16125
2) Maestro	H/D	1	15000	4350	19350
				Total	35475

Tabla 4.64: Costo de mano de obra (Fuente: Elaboración propia).

Finalmente el costo de remuneración por mes en recurso humano considerando que se trabajara de lunes a viernes, será de \$709500 por los 20 días trabajados.

Costo Unitario Ladrillo 85% Suelo, 15% Cemento				
Densidad aparente Promedio (Gr/cm ³)				2,39
Volumen promedio (cm ³)				2253
Masa Ladrillo (gr)				5326
Para un Ladrillo	Unidad	Cantidad	Costo Unitario(\$/uni)	Costo Total
Suelo (m ³)	m ³	0,00384	11000	42,24
Cemento (kg)	kg	0,8142	105,88	86,207496
Agua (m ³)	m ³	0,000532	843,58	0,44878456
Costo Total (\$)				129

Tabla 4.65: Costo unitario Ladrillo 85% suelo, 15% cemento (muestra patrón) (Fuente: Elaboración Propia)

Muestra con 8,61 % Humedad, 12% cemento, 3% ceniza volante				
Densidad aparente Promedio (Gr/cm ³)				1,96
Volumen promedio (cm ³)				2396
Masa Ladrillo (gr)				4767,16
Para un Ladrillo	Unidad	Cantidad	Costo Unitario(\$/uni)	Costo Total
Suelo (m ³)	m ³	0,00366	11000	40,26
Cemento (kg)	kg	0,5688	105,88	60,224544
Agua (m ³)	m ³	0,000381	843,58	0,32140398
Costo Total (\$)				101

Tabla 4.66: Costo unitario Ladrillo 85% suelo, 12% cemento y 3% ceniza volante (Fuente: Elaboración Propia).

Muestra con 9,45% humedad, 9% cemento, 6% ceniza volante				
Densidad aparente Promedio (Gr/cm ³)				1,92
Volumen promedio (cm ³)				2399
Masa Ladrillo (gr)				4604,5
Para un Ladrillo	Unidad	Cantidad	Costo Unitario(\$/uni)	Costo Total
Suelo (m ³)	m ³	0,00335	11000	36,85
Cemento (kg)	kg	0,4266	105,88	45,168408
Agua (m ³)	m ³	0,000276	843,58	0,23282808
Costo Total (\$)				82

Tabla 4.67: Costo unitario Ladrillo 85% suelo, 9% cemento y 6% ceniza volante (Fuente: Elaboración Propia)

Muestra con 9,66 % Humedad, 6% cemento, 9% ceniza volante				
Densidad aparente Promedio (Gr/cm3)				1,88
Volumen promedio (cm3)				2422
Masa Ladrillo (gr)				4554,83
Para un Ladrillo	Unidad	Cantidad	Costo Unitario(\$/uni)	Costo Total
Suelo (m3)	m3	0,00321	11000	35,31
Cemento (kg)	kg	0,2721	105,88	28,809948
Agua (m3)	m3	0,000273	843,58	0,23029734
Costo Total (\$)				64

Tabla 4.68: Costo unitario Ladrillo 85% suelo, 6% cemento y 9% ceniza volante (Fuente: Elaboración Propia)

Muestra con 5,58 % Humedad, 3% cemento, 12% ceniza volante				
Densidad aparente Promedio (Gr/cm3)				1,84
Volumen promedio (cm3)				2393
Masa Ladrillo (gr)				4656,66
Para un Ladrillo	Unidad	Cantidad	Costo Unitario(\$/uni)	Costo Total
Suelo (m3)	m3	0,00328	11000	36,08
Cemento (kg)	kg	0,1391	105,88	14,727908
Agua (m3)	m3	0,000093	843,58	0,07845294
Costo Total (\$)				51

Tabla 4.69: Costo unitario Ladrillo 85% suelo, 3% cemento y 12% ceniza volante (Fuente: Elaboración Propia)

Muestra con 9 % Humedad, 15% ceniza volante				
Densidad aparente Promedio (Gr/cm3)				1,8
Volumen promedio (cm3)				2414
Masa Ladrillo (gr)				4322,16
Para un Ladrillo	Unidad	Cantidad	Costo Unitario(\$/uni)	Costo Total
Suelo (m3)	m3	0,003052	11000	33,572
Agua (m3)	m3	0,000259	843,58	0,21848722
Costo Total (\$)				34

Tabla 4.70: Costo unitario Ladrillo 85% suelo y 15% ceniza volante (Fuente: Elaboración Propia)

Mezclas (%)	costo unitario
15% C	129
12% C, 3% C.V.	101
9% C, 6% C.V.	82
6% C, 9% C.V.	64
3% C, 12% C.V.	51
15% C.V.	34

Tabla 4.71: resumen Costo unitario Ladrillos (Fuente: Elaboración Propia)

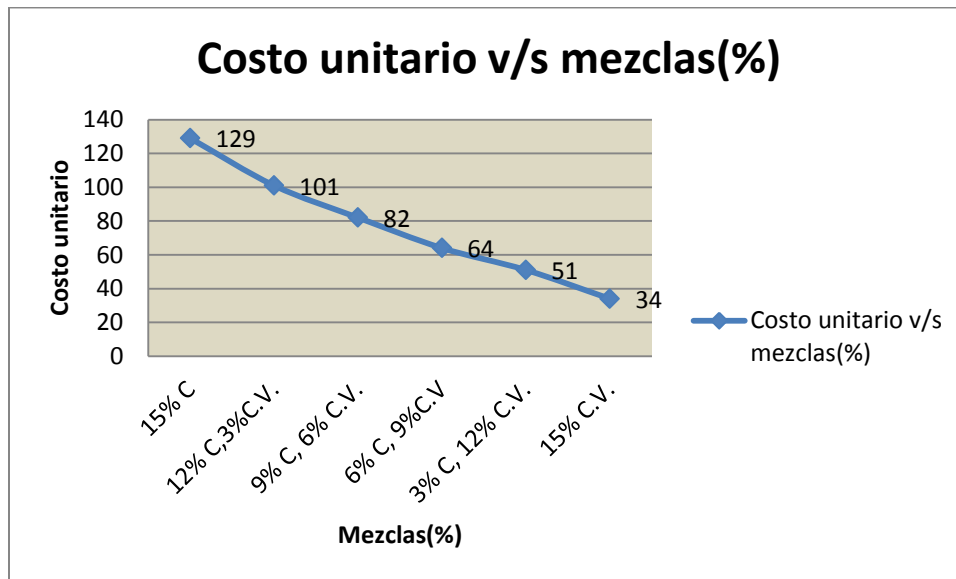


Figura 4.34.: Gráfico costo unitario v/s mezclas (%)(Fuente: elaboración propia)

4.5.1 Análisis de resultados costo unitario v/s mezclas (%).

Como se puede ver en el grafico 4.48 la dispersión de datos se comporta en forma exponencial decreciente. A mayor cantidad de cemento mayor es el costo por unidad de ladrillo, dado por \$129 /unidad en la mezcla con un 15% de cemento. Por ende el costo es directamente proporcional al porcentaje de cemento. En forma contraria se comporta con mayor cantidad de ceniza volante, para lo cual la mezcla con un 15% de ceniza volante da el valor más bajo dado por 45\$/unidad. Esto nos dice que el costo es inversamente proporcional al % de ceniza volante lo que es lógico pensar ya que tomamos la ceniza volante con un costo de cero pesos al ser un residuo.

Cuadro 3: Depreciaciones en valores de uso				
Descripciones	Vida útil estimada	% depreciación	costo	depreciación
Taller de confección	40 años	2% anual	5322240	80% a los 40 años
Prensadora de ladrillos	120000 ladrillos	0,8%/mil ladrillos	600000	100% a los 120000 ladrillos
Pala	100000 ladrillos	0,9%/mil ladrillos	10990	100% a los 100000 ladrillos

Tabla 4.72: depreciación de máquina y herramientas (Fuente: Elaboración propia)

Cuadro 4: Costos variables por mes				
Nivel de producción al mes: 900 unidades	unidad	cantidad	costo unitario(\$/uni)	costo total (\$)
gas (15 kg)	uni.	2	13900	27800
agua	m3	17	843,58	14340,86
luz	KWH	300	107,03	32109
			total	74250

Tabla 4.73: Costos variables de producción (Fuente: Elaboración propia).

Para calcular el valor total del ladrillo es necesario conocer la cantidad de ceniza volante que se ocupara al mes y el costo por flete. Se toma el valor referencial del ladrillo con 9% de ceniza ya que este es el que cumple todas las exigencias técnicas y se ocupa el mayor porcentaje de ceniza respectivamente.

Cuadro 5: Cantidad de ceniza en ladrillo con 6% de cemento/9% ceniza volante		
Descripción	unidad	cantidad
ceniza volante/ 1 ladrillo	grs	409
producción al mes 900 ladrillos		
ceniza volante/900 ladrillos	kg	368

Tabla 4.74: Cantidad de ceniza volante en producción de 900 ladrillos (Fuente: Elaboración propia)

Además no hay que olvidar que la ceniza volante al ser un residuo para las termoeléctricas, da pie para dejar el costo de la ceniza volante solo en transporte y descarga siendo un tema logístico. Se tomara el valor referencial de un camión de ¾ incluido un pioneta para la obtención, traslado y descarga de la ceniza.

Cuadro 6: Costo transporte y descarga ceniza volante	
Nivel de producción al mes: 900 unidades	
costo flete con pioneta camión 3/4	\$ 80.000
cantidad de ceniza/camión	6.2 m3
cantidad de ceniza/camión	13640 kg

Tabla 4.75: Costo transporte y descarga ceniza volante (Fuente: Elaboración propia).

Como podemos ver en la tabla anterior por viaje obtendríamos un total de 13640 kg. aproximadamente. Además sabemos que por mes necesitamos para la producción de 900 ladrillos un total de 368 kg, con esto valores podemos calcular que la ceniza debería durar un total de 37 meses equivalente a 3 años en los cuales deberíamos tener una producción total de 32400 unidades de ladrillos. Finalmente con estos datos podemos calcular el valor unitario de transporte y descarga por ladrillo dividiendo los 80000 pesos por flete respecto a las 32400 unidades realizadas a los 3 años, lo que nos da un valor unitario de 2,4 pesos por ladrillo en transporte y descarga. Con esto podemos pensar que el costo de flete se puede dejar como costo de inversión inicial.

cuadro 8: Costo total ladrillo 6% cemento/9% ceniza volante			
tipo de ladrillo	Costo unitario(\$)	Costo unitario transporte y descarga (\$)	total
6% cemento/9% ceniza volante	64	2,4	66,4

Tabla 4.76: Costo total ladrillo 6% cemento/9% ceniza volante (Fuente: Elaboración propia).

Evaluaremos el negocio a través del VAN dándole un periodo de un semestre, es decir, 6 meses ($n = 6$). La tasa de riesgo será de un 25% para asegurar imprevistos y no conocer al detalle el mercado en la práctica. La tasa de riesgo podemos disminuirla a medida que vallamos tapando imprevistos y que se vaya avanzando en el negocio.

El precio de venta a considerar será el precio referencial de Homecenter equivalente a \$189. El costo del ladrillo con 6% de cemento y 9% de ceniza volante es de \$66. Esto nos da un costo fijo mensual considerando la producción de 900 ladrillos por mes de \$59400. Los costos fijos de mano de obra serán de \$709500 por mes, considerada en el cuadro 2 (tabla 4.64). Y finalmente no hay que olvidar el costo de los implementos de seguridad equivalente \$115940 cada 6 meses.

El ingreso mensualmente será la cantidad vendida o producida igual a 900 ladrillos por el precio de venta referencial del mercado igual a \$189, dando uno valor de \$170100. Con estos valores podemos calcular los flujos de caja para traerlos al valor presente y comparar dicho valor con la inversión inicial equivalente a \$2626304 detallada en el cuadro 1 (tabla 4.63). Dentro de la inversión también es necesario adicionar el costo de carga/descarga-transporte de la ceniza volante que son los \$80000 dados por el valor del flete.

Entonces en resumen de costos tenemos:

- Costos de inversión($n=0$) = \$80000 + \$2626304 = 2706304
- Costos variables por mes = \$74250
- Costo mano de obra por mes= \$709500
- Costo material ladrillo por mes=\$ 59400
- Costo implemento de seguridad cada 6 meses= \$115940

En resumen de ingresos por mes tenemos:

- Ingreso = $PXQ = 189 \times 900 = \$ 170100$

Entonces tenemos que el VAN es:

$$VAN = - I_0 + \sum \text{Flujos de caja} / (1 + i)^n$$

Donde:

VAN= Valor actual neto.

I_0 = inversión inicial= \$ 2626304 + 80000

i = tasa de riesgo= 25%

n = periodo del proyecto = 6 meses

Expresaremos el ejercicio con un horizonte del proyecto igual a 6 meses, donde se puede visualizar hacia abajo los costos fijos, variables y de implementación de seguridad, hacia arriba los ingresos y los flujos de caja respectivamente.

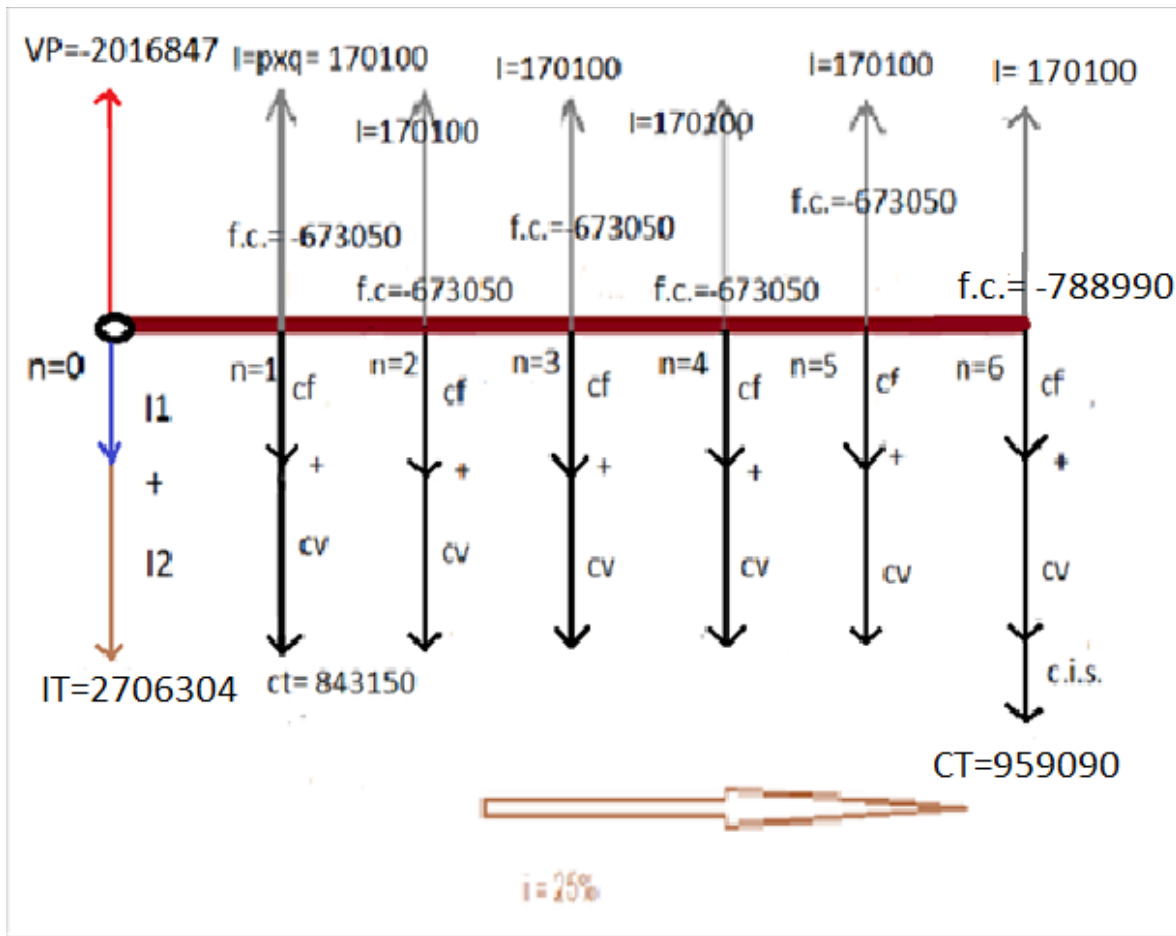


Figura 4.35.: Evaluación del horizonte del proyecto (Fuente: elaboración propia).

La segunda parte de la ecuación representa el valor presente del dinero en los periodos "n" el cual se compara con la inversión inicial en el periodo $n=0$. Esta se debe calcular en los 6 meses. La sumatoria total es el valor a comparar con la inversión inicial.

- 1) $Vp_1 = -673050 / (1+0,25)^1 = - 538440$
- 2) $Vp_2 = -673050 / (1+0,25)^2 = -430752$
- 3) $Vp_3 = -673050 / (1+0,25)^3 = - 344601$
- 4) $Vp_4 = -673050 / (1+0,25)^4 = - 275681$
- 5) $Vp_5 = -673050 / (1+0,25)^5 = - 220545$
- 6) $Vp_6 = -788990 / (1+0,25)^6 = - 206828$

Valor presente total = - 2016847

Finalmente el valor del VAN es igual a:

$$VAN = - 2706304 - 2016847 = - 4723151$$

Al tener un VAN menor a 0 o negativo, nos dice que en las condiciones en que se trabajó no es viable llevar el negocio, es decir, hay que tomar otras medidas o decisiones como disminuir la tasa de riesgo, invertir en una máquina más para aumentar la producción con 2 ayudantes más por ejemplo. También sería factible cotizar en una maestranza la producción en molde doble por máquina para doblar la producción.

Es necesario también saber el punto de equilibrio para saber la cantidad de producción en la cual el negocio puede cubrir todos los costos fijos. El punto de equilibrio está dado por la siguiente relación.

.P.E. = Costos fijos/ (precio de venta por unidad de producto – costos variables por unidad de producto)

Por lo tanto, se supone un costo fijo mensual de \$ 768900, el costo variable de producción por unidad de ladrillo son \$74250 (costo variable por mes) dividido por los 900 ladrillos que se producirán al mes, lo que da un valor de 82,5. Y finalmente el precio de venta por unidad de ladrillo son los \$189 que se tomó de referencia del Homecenter.

$$P.e.: \frac{768900}{189-82,5} = 7220$$

Esto quiere decir que a la producción de 7220 unidades de ladrillos el negocio puede cubrir todos los costos fijos estimados. Como sabemos que son 900 ladrillos por mes, esto debería cumplirse al principio del octavo mes.

CAPÍTULO 5: Conclusiones y proposición de nuevas investigaciones

5.1 Conclusiones

Las características del suelo escogido cumplían los requisitos de granulometría y plasticidad entregados por los autores en el punto 2.9.9.1. el cual podía ser arena limosa, arena arcillosa, arena limosa arcillosa y arena arcillosa limosa.

En cuanto a los resultados entregados por el proctor modificado según NCh 1534-2 Of.79 las mayores densidades se obtenían en un menor reemplazo de ceniza volante o mayor cantidad de cemento. Esto dado por que el peso específico de la cal es menor en 0,8 (grs/cm³) respecto a la del cemento cuyo valor es igual a 3 (grs/cm³). En cuanto a los porcentajes de compactación alcanzados en las unidades ocupadas a compresión fueron satisfactorios hasta un reemplazo de 6% de ceniza alcanzando un 96,52%, superior a estos se encontraban bajo el 95% de la D.M.C.S. Esto influencio en una disminución gradual en sus resistencias respectivamente.

Mezclas con distintas concentraciones de cemento y ceniza volante (%) (0 -15%)						
Ensayo	15% C	12% C, 3%CV	9% C,6%CV	6%C,9%CV	3%C,12%CV	15% CV
Compresión (%)	125,05	104,98	78,64	66,11	64,51	42,65
Absorción de agua (%)	5,39	7,03	6,33	6,64	7,31	100
Adherencia a cizalle (%)	3,41	2,61	2,24	1,915	1,54	0,77

Tabla 4.77: resumen ensayos según NCH167 Of. 2001 a los 28 días (Fuente: Elaboración Propia)

Como se puede ver los mejores resultados son dados por la muestra patrón en los 3 tipos de ensayos. Esto nos reafirma que el cemento es un mejor estabilizante para el suelo. En cuanto a la resistencia a la compresión todas las mezclas superan los (40 kg/cm²) exigidos en la NCH2123 OF.97. Ahora la absorción de agua en la mezcla con 15% de ceniza volante se deforma al absorber el 100% de agua, por lo que no es un material apto para ser usado como albañilería en lugares donde pudiesen existir grandes concentraciones de humedad ó zonas de alta intensidad de lluvias. Finalmente la adherencia a cizalle supera los 1,8 (kg/cm²) hasta la cuarta mezcla en un reemplazo de 6% de cemento y 9% de ceniza volante.

En cuanto a la proyección como negocio es necesario tomar otras medidas para obtener mejores opciones de inversión ya que el parámetro VAN tomo un valor negativo en las circunstancias en que se trabajó. Es cuanto a una nueva toma de decisiones por sobre todo se debe aumentar la producción de ladrillos por mes para obtener un mayor flujo de caja y recuperar a menor plazo la inversión inicial. Esto se puede lograr con la creación de un molde de llenado triple o doble, con el fin de aumentar la producción. Además al principio del octavo mes se logra cubrir los costos fijos por mes calculado en función al punto de equilibrio.

En conclusión podemos deducir que las propiedades físicas y químicas de los ladrillos de suelo-cemento-ceniza volante no supera los resultados obtenidos de la muestra patrón, por lo que la hipótesis se refuta. Sin embargo puede usarse en un reemplazo a lo más un 9% de ceniza volante clase F, ya que es la muestra límite que cumple los requerimientos de los 3 de ensayos estipulados por la NCH167 OF.2001. La ceniza volante es un material muy fino y contaminante que

si bien no mejora las propiedades podría funcionar como un reemplazo del árido fino más que un estabilizante y darle una utilidad a este material de residuo que en Chile recién está emergiendo y poder contribuir con un menor impacto del medio ambiente.

5.2 Comentarios

Cuando hablamos de la compactación de una masa de suelo se entiende que es un procedimiento generalmente mecánico el cual consta de aplicar una energía específica al suelo suelto para eliminar el espacio de vacíos, aumentando así su densidad y en consecuencia, su capacidad de soporte, disminución de asentamientos, reducción de la permeabilidad, reducción de esponjamiento y contracciones, entre otras propiedades.

El método empleado para lograr la máxima compactación depende del tipo de suelo dentro de los cuales se habla de suelos finos o cohesivos y suelos granulares. Ambos se comportan en forma distinta en cuanto a su absorción de humedad y asentamiento de sus partículas. El método empleado en terreno o en situ para suelos finos es a través de impacto y amasado, y los suelos granulares a través de vibración. En laboratorio para los suelos finos se emplea el ensayo Proctor, y los suelos granulares la densidad relativa. Dado esto es importante obtener parámetros de correlación en terreno que guíen lo logrado en laboratorio. En esta tesis, el método en terreno ocupado fue la máquina Cinva Ram la cual trabaja a presión mecánica. El parámetro de correlación usado fue la densidad aparente por unidad de ladrillo que es la relación entre la masa y su volumen. Esta densidad es el parámetro de guía o de correlación que se usó para ver finalmente cuanto porcentaje se logró alcanzar de la máxima densidad compactada seca (D.M.C.S.) obtenida en laboratorio alcanzada por el método de Proctor Modificado, el cual se denomina "índice de compactación". Sin embargo, en los ensayos de compresión y de absorción, en los cuales se midió la densidad aparente por unidades, se vieron discrepancias en cuanto a los índices de compactación obtenidas. En los ensayos de compresión la tendencia de las mezclas era que a mayor contenido de ceniza volante menor porcentaje de compactación, en cambio en el ensayo de absorción se dio en forma intercalada, es decir, subió y bajó cuando se iba aumentando el porcentaje de ceniza.

Con lo anterior cabe señalar, que al ser un trabajo y proceso más artesanal, se dio que la homogeneidad entre las unidades de ladrillos no fue tajante por lo menos en estos dos ensayos. Ya que en terreno a la hora de hacer los ladrillos no se ocupó ninguna prueba de medición como lo pudiese haber sido un manómetro para poder medir o cuantificar la capacidad de presión que se aplicó con la máquina a la mezcla.

Finalmente es preciso a la hora de construir el ladrillo a través de esta máquina, controlar la masa dejándolo siempre constante. Así nos aseguramos que la densidad aparente tienda a ser la misma y así obtener un promedio más certero de la realidad considerando el porcentaje de compactación obtenido. A su vez, con esta forma nos ahorraríamos los implementos indicados como manómetros, y en consecuencia disminuiríamos factores como errores accidentales o humanos propiamente tal del desgaste muscular.

5.3 Proposición de futuras investigaciones

Se propone estudiar la estabilización de suelo con cemento, ceniza volante y cal para ver como influenciaría en sus propiedades físicas y químicas.

Además estudiar el reemplazo de ceniza volante al árido fino haciendo mezclas con arenas, arcillas y cenizas volantes por separado en los rangos entregados en el punto 2.9.1.1.

Analizar químicamente el efecto del agua en mezclas de suelo-ceniza volante.

Estudiar la capacidad de soporte por CBR en mezclas de suelo – cemento – ceniza volante enfocándolo para obras civiles según MC VOL. 8 anexo 8.102.11.

ANEXOS

1 Peso específico de la ceniza volante clase F con LOI= 8% según MC VOL. 8 anexo 2.102.10.

- 1) Alcance y campo de aplicación: Este método establece el procedimiento para determinar, mediante un picnómetro, la densidad de partículas sólidas de suelos compuestos por partículas menores que 5 mm.
- 2) Terminología: Los símbolos, unidades y definiciones son los que figuran en NCH 179.
- 3) Aparatos:
 - 3.1) Picnómetro: Frasco volumétrico con una capacidad igual o mayor que 100 ml. o botella con tapón con una capacidad igual o mayor que 50 ml; el tapón debe ser el mismo material que la botella, de forma y tamaño adecuados para insertarse fácilmente a una profundidad marcada en el cuello de la botella y tener una perforación central que permita la eliminación de aire y agua sobrante.

Note 1: El uso del frasco o la botella es optativo pero, en general, debe usarse el frasco para suelos cuyo tamaño máximo de partículas requiera muestras mayores. El uso de un matraz de 500 ml es también aceptado si la muestra de suelo así lo requiere.
 - 3.2) Balanza: Con resolución de 0,01 g, si se emplea el frasco o con resolución de 0,001 g, si se emplea la botella.
 - 3.3) Reductor de presión: Aspirador o bomba de vacío y sus accesorios.
 - 3.4) Herramientas y accesorios: Recipientes para las muestras, brochas, poruña, embudo, termómetro, horno, secador, etc.
- 4) Materiales: Agua destilada o desmineralizada desairada, kerosene, solución disolvente de grasas, etc.
- 5) Calibración de picnómetro
 - 5.1) Limpie, seque, pese y registre la masa de picnómetro vacío (MF).

Nota 2: Por ejemplo, la limpieza del picnómetro se puede efectuar con amoníaco o algún disolvente de grasa; en seguida se enjuaga con agua destilada y se deja escurrir colocándolo boca abajo. Posteriormente se lava con alcohol, dejándolo escurrir, finalmente se lava con éter, eliminando así los vapores al dejar el picnómetro boca abajo durante 15 min.
 - 5.2) Llene con agua destilada a temperatura ambiente hasta que la parte inferior del menisco coincida con la marca de calibración. Seque al interior del cuello del picnómetro y también el exterior. Pese y registre la masa del picnómetro más el agua (Ma).
 - 5.3) Inserte un termómetro en el agua hasta el centro del picnómetro. Determine y registre la temperatura de calibración (ti) aproximando a 1°C.

Nota 3: El kerosene es mejor agente humedecedor que el agua para la mayoría de los suelos y puede usarse en lugar del agua destilada en muestras secadas al horno.
 - 5.4) De la masa del picnómetro más el agua a la temperatura de calibración (Mat_i) de debe preparar una tabla de valores Ma para la serie de temperaturas que probablemente prevalezcan durante el ensayo.
 - 5.5) Calcule los valores de Ma a distintas temperaturas de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$Ma_{tx} = qw_{tx} / qw_{ti} \times (MA_{ti} - Mf) + Mf$$

Dónde:

Ma_{tx} : Masa del picnómetro más el agua a una temperatura x dada (g).

qw_{tx} : Densidad del agua a una temperature x dada (g/cm3 o kg/l).

qw_{ti} : Densidad del agua a la temperature de calibración (grs/cm3 o kg/l)(ver tabla 8.102.10 A.).

MA_{ti} : Masa del picnómetro más el agua a la temperatura de calibración (g).

Mf : Masa del picnómetro vacío.

Nota 4: Este procedimiento es muy conveniente para laboratorios que hacen muchas determinaciones con el mismo picnómetro; también es aplicable a una sola determinación. Llevar el picnómetro y su contenido a una temperatura determinada, requiere un tiempo considerable, por lo que resulta mucho más conveniente trabajar con la tabla de valores Ma . Es importante que los valores del picnómetro más el agua, como Ma y Mm (definido en 10), se basen en la misma temperatura.

Tabla 8.102.10 A
Densidad del agua en función de la temperatura

Temperatura °C)	Densidad* (Grs/cm3) o (kg/l)	K (Adimensional)
16	0,99909	1,0009
18	0,99859	1,0004
20	0,9982	1
23	0,99754	0,9993
26	0,99678	0,9986
29	0,99594	0,9977

*Estos mismos valores, tomados en su forma adimensional, corresponden a la densidad relativa del agua.

6) Muestra: Las muestras de suelo se deben obtener de acuerdo con lo indicado en las especificaciones técnicas correspondientes, en el caso de controles de obra o lo indicado o lo indicado por el profesional responsable, en el caso de una prospección.

7) Tamaño de la muestra: la muestra de ensaye compuestas por partículas menores a 5 mm. debe tener un tamaño mínimo de, referido a su masa seca, de 60 g cuando se usa el frasco y de 10 g cuando se usa la botella con tapón. Para la matraz de 500 ml la masa mínimo de usar debe estar entre 60 g a 100 g. dependiendo del tipo de suelo.

8) Acondicionamiento: La muestra de ensaye puede estar con su humedad natural o seca al horno.

8.1) Muestra de ensaye con su humedad natural: Determine y registre la masa seca (ms) al final del ensaye, evaporando el agua en horno a 110 +/- 5 °C. Las muestras de suelo arcilloso con su humedad natural deben dispersarse antes de colocarlas en el frasco.

Nota 5: El volumen mínimo que puede prepararse con el equipo dispersor es tal que necesita un frasco de 500 ml como picnómetro.

8.2) Muestra de ensaye seca al horno: Seque hasta masa constante en un horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$; enfríe en un secador, pese y registre la masa seca (m_s). A continuación sumerja la muestra con agua destilada por, a lo menos, 12 h.

Nota 6: El secado de ciertos suelos a 110°C puede extraer humedad de composición o hidratación. En tales casos el secado debe efectuarse con presión de aire reducida y a temperatura más baja (ver método 8.102.2).

Cuando se elimina cualquier porción de la muestra original de suelo al preparar la muestra, debe indicarse en el informe la porción sobre la cual se ha efectuado el ensaye.

9) Procedimiento de ensaye: Coloque la muestra en el picnómetro, cuidando de evitar pérdidas del material cuando ya se ha determinado su masa seca. Agregue agua destilada cuidadosamente, evitando la formación de burbujas, hasta alcanzar aproximadamente $\frac{3}{4}$ de la capacidad del frasco o la mitad de la capacidad de la botella.

Remueva el aire atrapado por uno de los siguientes procedimientos:

9.1) Someta el contenido a un vacío parcial (presión de aire igual o menor que 13.3 Kpa (≈ 100 mm Hg)). Para evitar un burbujeo excesivo aplique un vacío gradual que aumente lentamente hasta el máximo, el cual deberá mantenerse durante 15 min. por lo menos, para poder conseguir un desairado completo. El picnómetro debe agitarse suavemente para ayudar a la remoción del aire.

9.2) Ciente o hierva, por lo menos 10 min, haciendo girar ocasionalmente el picnómetro para ayudar a la remoción del aire. Posteriormente someta el contenido a presión de aire reducido.

9.3) Si no cuenta con sistema de vacío, puede colocar el picnómetro en un baño maría en glicerina. Por lo general, 10 min, de hervor son suficientes para expulsar el aire contenido en el material (ocasionalmente el picnómetro debe girarse para ayudar a la remoción del aire); en este caso debe esperar a que el picnómetro alcance nuevamente la temperatura ambiente para proseguir la prueba.

Tape el picnómetro con la muestra y, cuando corresponda, deje enfriar a temperatura ambiente.

Agregue agua destilada hasta llenar el picnómetro. Limpie y seque el exterior con un paño limpio y seco. Determine y registre la masa del picnómetro con la muestra y el agua (M_m). Determine y registre la temperatura de ensaye del contenido (T_x) aproximando a 1°C .

Nota 7: Es recomendable dos veces cada prueba con el fin de obtener una comprobación.

10) Expresión de resultados: Calcule la densidad de partículas sólidas de acuerdo con la formula siguiente:

$$q_s = m_s / (m_s + m_a) - m_m \times q_{w_{tx}}$$

Dónde:

Q_s : Densidad de partículas sólidas (grs/cm² o kg/l).

m_s : Masa seca de la muestra de ensaye (g).

m_a : Masa del picnómetro más el agua a la temperatura de ensaye (g) (este valor debe tomarse de la tabla de valores M_a , preparada de acuerdo con 5.5.

m_m : Masa del picnómetro más la muestra y el agua a la temperatura de ensaye (g).

QW_{tx} : Densidad del agua a una temperatura x dada (°C) según tabla 8.102.10 A.

Datos muestra 1°:

Datos	
peso picnómetro 500 cc (Mf)	159,6 g
Masa picnómetro + agua (Ma)	657 g
Masa picnómetro + agua + suelo(Mm)	691,8 g
peso masa seca (Ms)	62,5 g
Temperatura, °C (ti)	17°C
Peso plato evap.	417 g
Peso plato evap.+ suelo	479,5 g

- Método empleado para la remoción del aire fue realizado a través de baño maría descrito en el punto 9.3).

Calculo de la densidad del agua a 17 °C = QW_{t17} , según tabla 8.102.10 A. Como no tenemos la densidad en función de los 17°C, se deberá interpolar.

$$(18 - 16) / (0,99859 - 0,99909) = (18 - 17) / (0,99859 - x)$$

$$2 / (-0,0005) = 1 / (0,99859 - x)$$

$$2 \times (0,99859 - x) = -0,0005$$

$$-2x = -1,99768$$

$$X = qwt17 = 0,99884(\text{grs/cm}^3)$$

Finalmente nos queda:

$$q_s = (62,5 / (62,5 + 657) - 691,8) \times 0,99884$$

$$q_s = 2,2 \text{ (grs/cm}^3\text{)}$$

Referencias bibliográficas

- La influencia de las cenizas volantes como sustituto parcial del cemento Portland en la durabilidad del hormigón: propiedades físicas, difusión del ión cloruro y el dióxido de carbono, Vol 2. 2008. Autores, O. Molina, A. Moragues y J. Gálvez.
- Resistencia suelo- cemento postensado en construcciones de baja complejidad geométrica. L. Barros y f. Imhof , revista de la construcción de la Pontificia Universidad Católica de Chile,2010.
- Concretos dosificados con cemento Portland y ceniza volante, Miguel Corona.
- Análisis comparativo entre ladrillos artesanales cerámicos y ladrillos de suelo- cemento. Mario Godoy, 2010.
- Análisis comparativo entre ladrillos de suelo cemento tradicionales y ladrillos de suelo cemento baja densidad. Paula Miles, 2007.
- Anteproyecto de norma técnica para la fabricación de ladrillos de suelo – cemento. Verónica Ramírez, 2002.
- Factibilidad técnica del uso de suelo tratado con cemento, mejorado con microfibra de polipropileno, como revestimiento prefabricado interior. Ignacio López, 2013.
- Incorporación de microfibra de polipropileno en mezcla de suelo cemento. Rodrigo Canales, 2010.
- Estimación de la generación de cenizas centrales térmicas a carbón y su reuso en la industria del cemento y hormigón. Claudia Salazar, 2009.
- Cenizas volantes en el cemento, Mauricio Ossa y Héctor Jorquera, 2013.
- NCH 169 OF. 2001 - Ladrillos cerámicos – clasificación y requisitos.
- NCH 167 OF.2001- Ladrillos cerámicos –ensayos.
- NCH 160 OF. 2001- Ladrillos cerámicos- verificación dimensional y requisitos.
- NCH 2123 OF.97 Mod.2003 – Albañilería confinada: requisitos de diseño y cálculo.