

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil
y del Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE MEZCLA DE CONCRETO
LIGERO CON IGNIMBRITA Y EVALUACION DE MODELOS DE
SOSTENIBILIDAD PARA LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA EN LA
CANTERA DE AÑASHUAYCO EN LA CIUDAD DE AREQUIPA**

Tesis presentada por los Bachilleres:

Talavera Mendoza, Alejandra Victoria

Peña Blondet, Juan Diego

para optar el Título Profesional de

Ingeniero Civil

Asesor:

Mg. Ing. Díaz Galdos, Miguel Renato

Arequipa – Perú

2018

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS CIVIL Y DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

DICTAMEN DE BORRADOR DE TESIS

VISTO

El BORRADOR DE TESIS Titulado:

OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE MEZCLAS DE CONCRETO LIGERO
CON IGNERITA Y EVALUACIÓN DE MODELOS DE SOSTENIBILIDAD
PARA LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA EN LA COMUNA DE ANASHUAYCO.
EN LA CIUDAD DE AREQUIPA.
Presentado por el (la) (los) Bachiller (es):

Talavera Mendoza, Alejandro Victoria
Peña Blondet, Juan Diego

Nuestro DICTAMEN es:

APROBADO

OBSERVACIONES:

—

Arequipa, 23 de Noviembre del 2018

[Signature]
Cod. 1949

[Signature]
Cod. 2776

[Signature]
Cod. 1938

Dedicatoria

A mis padres Renzo y Eliana, por ser la fuente de mi inspiración, la razón de mi esfuerzo y dedicación en cada etapa de mi vida.

A mi abuelita Amparito, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través de los años.

A mi mejor amigo Juan Diego, por ser mi mano derecha y por haberme acompañado en esta travesía que ha traído consigo buenos y malos momentos; pero sobre todo por brindarme su sincera amistad y absoluto apoyo.

Alejandra Victoria Talavera Mendoza

A mis padres Jorge y Luisa, personas integras a las cuales intento siempre poder reflejar en mis actos.

A mi madrina †Luz, por haber sido una segunda madre para mí, por haber sido una luz siempre presente en mi vida.

A Alejandra, mi mejor amiga, quien no es nada menos que una hermana para mí, quien me ha acompañado a través de alegrías y penas y siempre me ha apoyado sin importar las circunstancias y cuya amistad es lo más valioso que me han dado mis 5 años de vida universitaria.

Juan Diego Peña Blondet

Agradecemos

A Dios, por habernos guiado a lo largo de nuestra vida.

A nuestros padres por la confianza depositada en nosotros y por el apoyo incondicional.

A nuestra Alma Máter, Universidad Católica de Santa María por los valores y conocimientos inculcados para el desarrollo de nuestra vida profesional.

A nuestros docentes, por brindarnos el conocimiento y las herramientas necesarias para nuestra formación profesional y moral.

A nuestro asesor, ingeniero Renato Díaz Galdos por su constante apoyo en la elaboración y revisión de esta investigación.

A la Asociación de Cortadores de Sillar Canteras de Arequipa, por su colaboración.

Al ingeniero Mauricio Javier León Tejada, por compartir sus conocimientos y experiencia en la materia ambiental.

Al señor Yuri Alcides Romero Ortiz, por asesorarnos técnicamente en el desarrollo de esta investigación

Al ingeniero Pedro Bohorquez Aliaga, por brindarnos su apoyo, motivación y ayuda desinteresada.

A nuestros familiares y amigos, por sus palabras de afecto y constante motivación.

RESUMEN

La Ignimbrita es un material muy abundante en la provincia de Arequipa, siendo considerada como uno de los símbolos de esta ciudad, por ello la presente tesis busca otorgarle valor adicional a esta roca, al analizar y optimizar diseños de mezcla de concreto que aprovechasen sus cualidades.

El concreto liviano, utilizando materiales naturales de la zona como la ignimbrita, es un material muy poco estudiado y mucho menos aplicado de forma tecnificada. Pese a ello, contar con un diseño de mezcla adecuado para la utilización de este material podría permitir concretos que reduzcan la carga muerta de una edificación, así como concretos con costos menores de producción por los materiales que demanda.

Con el fin de analizar las distintas posibilidades de diseños de mezcla se utilizó una metodología de diseño de tipo factorial, así como el diseño de mezclas de concretos livianos propuesto por Satish Chandra y Leif Berntsson, llegando a producir mezclas de concreto que desarrollaron resistencias a la compresión de hasta 28 MPa. Posteriormente se utilizó los datos obtenidos de los ensayos realizados para poder analizar las combinaciones de materiales a través de un software de aprendizaje profundo.

En forma paralela se realizó un análisis de sostenibilidad ambiental a través de distintos modelos planteados por la Universidad de Melbourne presentadas a través del “*Center for SDIs and Land Administration*” por los cuales se evaluó una actividad extractiva inicial de Ignimbrita de las Canteras de Añashuayco.

Los resultados de los ensayos mostraron que se produce un ahorro considerable en comparación a otros concretos livianos, tanto por el costo de los insumos que lo conforman como también por la menor densidad que este material presenta.

Palabras Clave: Concreto Ligero, Ignimbrita, Sillar, Añashuayco

ABSTRACT

The Ignimbrite is a very abundant material in the province of Arequipa, being considered as one of the symbols of this city, so this thesis seeks to give additional value to this rock, by analyzing and optimizing concrete mix designs that take advantage of their qualities.

Lightweight concrete, using natural materials from the area such as ignimbrite, is a material that has been little studied and much less technically applied. Despite this, having a suitable mix design for the use of this material could allow concrete to reduce the dead load of a building, as well as concrete with lower production costs for the materials that it demands.

In order to analyze the different possibilities of mixing designs, a factorial design methodology was used, as well as the design of light concrete mixtures proposed by Satish Chandra and Leif Berntsson, producing concrete mixtures that developed compression resistance of up to 28 MPa. Subsequently, the data obtained from the tests carried out was used to analyze the combinations of materials through a deep learning software.

In parallel, an environmental sustainability analysis was carried out through different models proposed by the University of Melbourne presented through the "Center for SDIs and Land Administration" for which an initial extractive activity of Ignimbrite from Añashuayco quarry was evaluated.

The results of the tests showed that there is a considerable saving compared to other lightweight concrete, both for the cost of the inputs that comprise it and also for the lower density that this material presents.

Keywords: Lightweight Concrete, Ignimbrite, Sillar, Añashuayco

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Arequipa es conocida como la “Ciudad Blanca” por los bloques de sillar que forman parte de las edificaciones de esta imponente ciudad. Desde épocas coloniales la utilización de esta piedra volcánica ha sido primordial para el desarrollo tanto de viviendas, iglesias e inclusive puentes para conectar la ciudad.

Este material aún es trabajado al día de hoy para la obtención de bloques de “sillar”, los cuales son muy utilizados para el cerramiento de predios mediante muros perimetrales. Debido a sus grandes dimensiones es una elección económica bastante atractiva. Este a su vez se comercializa en forma de láminas de ignimbrita las que son colocadas como recubrimiento en muchas edificaciones para mejorar la estética de las fachadas.

Toda esta actividad ha generado que se busquen formas constantemente de mejorar su desempeño en las construcciones tanto antiguas como nuevas, sin embargo, su comportamiento como agregado en el concreto es un tema con bastante ámbito por investigar.

Estudios previos han aplicado metodologías de diseño tradicionales al concreto con agregado de ignimbrita. Es posible que existan formas de optimizar las cantidades de material que conforman la mezcla de concreto para obtener un producto de características mecánicas aceptables por un valor mínimo económico.

La aplicación de este material permitiría la utilización del material de residuo proveniente de la actividad extractiva de la ignimbrita, la cual se ha acumulado por cerca de 500 años en algunos lugares y que actualmente carece de valor, inclusive para los canteros que dedican sus días a la obtención de este material, pudiendo beneficiar económicamente a estas personas con un ingreso adicional a su labor tradicional y facilitando un concreto más accesible e innovador propio de la ciudad de Arequipa.

Bajo este concepto se debe realizar estudios de sostenibilidad para asegurar que los procesos necesarios en esta actividad puedan ser mantenidos a lo largo del tiempo sin afectar de manera agresiva el medio en el cual se encuentran ni a las personas que radican o laboran en las inmediaciones.

TABLA DE CONTENIDO

<i>Dedicatoria</i>	ii
<i>Agradecemos</i>	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO TEÓRICO – OPERACIONAL.....	1
1.1 TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.2 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.2.1 ENUNCIADO DEL PROBLEMA.....	1
1.2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	1
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.4 OBJETIVOS	2
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	2
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.5 HIPÓTESIS	2
1.6 VARIABLES.....	2
1.6.1 VARIABLE DEPENDIENTE.....	2
1.6.2 VARIABLES INDEPENDIENTES.....	2
1.7 LIMITANTES	2
1.8 TIPO DE INVESTIGACIÓN	5
1.9 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	5
1.10 MÉTODO	6
1.11 CAMPO DE VERIFICACIÓN.....	6
1.11.1 UBICACIÓN ESPACIAL.....	6
1.11.2 UBICACIÓN TEMPORAL	6
1.11.3 UNIDADES DE ESTUDIO	7
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 ANÁLISIS DE ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	8
2.2 CONCRETO.....	11
2.2.1 PROPIEDADES DEL CONCRETO.....	12
2.2.1.1 CONCRETO ESTRUCTURAL LIVIANO	13
2.2.2 COMPONENTES.....	14
2.2.2.1 CEMENTO	14

2.2.2.1.1	CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO TIPO IP	15
2.2.2.1.2	CEMENTO PORTLAND TIPO HE	16
2.2.2.2	AGREGADOS.....	16
2.2.2.2.1	IGNIMBRITA.....	16
2.2.2.2.2	ARENA GRUESA	18
2.2.2.3	AIRE 18	
2.2.2.4	AGUA.....	19
2.3	PRODUCCIÓN DEL CONCRETO	19
2.3.1	SELECCIÓN DE MATERIALES.....	19
2.3.2	DISEÑO DE MEZCLAS PARA CONCRETO LIVIANO.....	20
2.3.2.1	MÉTODO DE DISEÑO FACTORIAL.....	21
2.3.2.2	MÉTODO DE CHANDRA Y BERNTSSON.....	21
2.3.3	MEZCLADO	22
2.3.4	CURADO	23
2.4	LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN “PYTHON”	23
2.4.1	LIBRERÍA SCIKIT-LEARN	25
2.4.2	LIBRERÍA TENSORFLOW	25
2.5	EVALUACIÓN DE MODELOS DE SOSTENIBILIDAD	26
2.5.1	SISTEMAS DE INFRAESTRUCTURA	26
2.5.2	SOSTENIBILIDAD	26
2.5.3	POLÍTICAS PÚBLICAS.....	26
2.5.4	SISTEMA AMBIENTAL.....	26
CAPÍTULO 3.	METODOLOGÍA DE DISEÑO	28
3.1	INTRODUCCIÓN.....	28
3.2	MÉTODOS DE DISEÑO DE MEZCLA	28
3.2.1	MÉTODO DE DISEÑO FACTORIAL.....	28
3.2.1.1	SELECCIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO	29
3.2.1.2	SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL.....	30
3.2.1.3	SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO	32
3.2.1.4	SELECCIÓN DE VOLUMEN UNITARIO DE AGUA.....	32
3.2.1.5	SELECCIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE.....	33
3.2.1.6	SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO	34
3.2.1.7	SELECCIÓN DEL CONTENIDO DE CEMENTO.....	35
3.2.1.8	VOLUMEN DE AGREGADOS EN MEZCLA.....	35

3.2.1.9 SELECCIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADOS	36
3.2.2 MÉTODO DE CHANDRA Y BERNTSSON.....	36
3.2.2.1 PASOS BÁSICOS DEL DISEÑO DE MEZCLA.....	38
3.2.2.2 VALOR PROMEDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL AGREGADO LIVIANO	38
3.2.2.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL MORTERO	38
3.2.2.4 VOLUMEN DE LA PASTA DE CEMENTO	39
3.2.2.5 CONTENIDO DE CEMENTO	40
3.2.2.6 VOLUMEN DE LA ARENA.....	40
3.3 AJUSTES POR ABSORCIÓN Y HUMEDAD EN LOS AGREGADOS.....	40
3.4 PARÁMETROS BÁSICOS.....	41
3.4.1 TRABAJABILIDAD	41
3.4.2 RESISTENCIA.....	42
3.4.3 ECONOMÍA.....	42
CAPÍTULO 4. DISEÑOS DE MEZCLA	43
4.1 PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS	43
4.1.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.....	43
4.1.1.1 AGREGADO GRUESO	43
4.1.1.2 AGREGADO FINO.....	60
4.1.2 PESO UNITARIO	64
4.1.2.1 PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO	65
4.1.3 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN	68
4.1.3.1 AGREGADO GRUESO	68
4.1.3.2 AGREGADO FINO.....	72
4.1.4 RESISTENCIA A LA ABRASIÓN	74
4.1.5 CANTIDAD DE FINOS.....	77
4.1.5.1 AGREGADO GRUESO	78
4.1.5.2 AGREGADO FINO.....	80
4.1.6 HUMEDAD DE LOS AGREGADOS	81
4.1.6.1 AGREGADO GRUESO	81
4.1.6.2 AGREGADO FINO.....	84
4.2 DISEÑOS DE MEZCLA.....	85
4.2.1 MÉTODO DE DISEÑO FACTORIAL.....	85
4.2.1.1 DISEÑO DE MEZCLA CON MATERIAL DE PUNTO “ALPHA”	85

4.2.1.1.1 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA F'C ≈ 210	
KG/CM ²	85
4.2.1.1.1.1 DISEÑO DE MEZCLA 1	85
4.2.1.1.1.2 DISEÑO DE MEZCLA 2	89
4.2.1.1.1.3 DISEÑO DE MEZCLA 3	90
4.2.1.1.2 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA F'C ≈ 280	
KG/CM ²	91
4.2.1.1.2.1 DISEÑO DE MEZCLA 1	91
4.2.1.1.2.2 DISEÑO DE MEZCLA 2	92
4.2.1.1.2.3 DISEÑO DE MEZCLA 3	93
4.2.1.1.3 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA F'C ≈ 350	
KG/CM ²	94
4.2.1.1.3.1 DISEÑO DE MEZCLA 1	94
4.2.1.1.3.2 DISEÑO DE MEZCLA 2	95
4.2.1.1.3.3 DISEÑO DE MEZCLA 3	96
4.2.1.2 DISEÑO DE MEZCLA CON MATERIAL DE PUNTO “BRAVO”	97
4.2.1.2.1 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA F'C ≈ 210	
KG/CM ²	97
4.2.1.2.1.1 DISEÑO DE MEZCLA 1	97
4.2.1.2.1.2 DISEÑO DE MEZCLA 2	101
4.2.1.2.1.3 DISEÑO DE MEZCLA 3	102
4.2.1.2.2 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA F'C ≈ 280	
KG/CM ²	103
4.2.1.2.2.1 DISEÑO DE MEZCLA 1	103
4.2.1.2.2.2 DISEÑO DE MEZCLA 2	104
4.2.1.2.2.3 DISEÑO DE MEZCLA 3	105
4.2.1.2.3 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA F'C ≈ 350	
KG/CM ²	106
4.2.1.2.3.1 DISEÑO DE MEZCLA 1	106
4.2.1.2.3.2 DISEÑO DE MEZCLA 2	107
4.2.1.2.3.3 DISEÑO DE MEZCLA 3	108
4.2.1.3 DISEÑO DE MEZCLA CON MATERIAL DE PUNTO “CHARLIE”	109
4.2.1.3.1 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA F'C ≈ 210	
KG/CM ²	109

4.2.1.3.1.1 DISEÑO DE MEZCLA 1	109
4.2.1.3.1.2 DISEÑO DE MEZCLA 2	113
4.2.1.3.1.3 DISEÑO DE MEZCLA 3	114
4.2.1.3.2 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA F'C ≈ 280 KG/CM ²	115
4.2.1.3.2.1 DISEÑO DE MEZCLA 1	115
4.2.1.3.2.2 DISEÑO DE MEZCLA 2	116
4.2.1.3.2.3 DISEÑO DE MEZCLA 3	117
4.2.1.3.3 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA F'C ≈ 350 KG/CM ²	118
4.2.1.3.3.1 DISEÑO DE MEZCLA 1	118
4.2.1.3.3.2 DISEÑO DE MEZCLA 2	119
4.2.1.3.3.3 DISEÑO DE MEZCLA 3	120
4.2.1.4 DISEÑO DE MEZCLA CON MATERIAL DE PUNTO "DELTA"	121
4.2.1.4.1 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA F'C ≈ 210 KG/CM ²	121
4.2.1.4.1.1 DISEÑO DE MEZCLA 1	121
4.2.1.4.1.2 DISEÑO DE MEZCLA 2	125
4.2.1.4.1.3 DISEÑO DE MEZCLA 3	126
4.2.1.4.2 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA F'C ≈ 280 KG/CM ²	127
4.2.1.4.2.1 DISEÑO DE MEZCLA 1	127
4.2.1.4.2.2 DISEÑO DE MEZCLA 2	128
4.2.1.4.2.3 DISEÑO DE MEZCLA 3	129
4.2.1.4.3 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA F'C ≈ 350 KG/CM ²	130
4.2.1.4.3.1 DISEÑO DE MEZCLA 1	130
4.2.1.4.3.2 DISEÑO DE MEZCLA 2	131
4.2.1.4.3.3 DISEÑO DE MEZCLA 3	132
4.2.1.5 DISEÑO DE MEZCLA CON MATERIAL DE PUNTO "ECCO"	133
4.2.1.5.1 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA F'C ≈ 210 KG/CM ²	133
4.2.1.5.1.1 DISEÑO DE MEZCLA 1	133
4.2.1.5.1.2 DISEÑO DE MEZCLA 2	137

4.2.1.5.1.3 DISEÑO DE MEZCLA 3	138
4.2.1.5.2 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA $F'C \approx 280$ KG/CM ²	139
4.2.1.5.2.1 DISEÑO DE MEZCLA 1	139
4.2.1.5.2.2 DISEÑO DE MEZCLA 2	140
4.2.1.5.2.3 DISEÑO DE MEZCLA 3	141
4.2.1.5.3 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA $F'C \approx 350$ KG/CM ²	142
4.2.1.5.3.1 DISEÑO DE MEZCLA 1	142
4.2.1.5.3.2 DISEÑO DE MEZCLA 2	143
4.2.1.5.3.3 DISEÑO DE MEZCLA 3	144
4.2.2 MÉTODO DE CHANDRA Y BERNTSSON.....	145
4.2.2.1 DISEÑO DE MEZCLA CON MATERIAL DE PUNTO “DELTA”	145
4.2.2.1.1 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA $F'C = 210$ KG/CM ²	145
4.2.2.1.2 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA $F'C = 280$ KG/CM ²	149
4.2.2.1.3 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA $F'C = 350$ KG/CM ²	150
4.2.2.2 DISEÑO DE MEZCLA CON MATERIAL DE PUNTO “ECCO”.....	151
4.2.2.2.1 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA $F'C = 210$ KG/CM ²	151
4.2.2.2.2 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA $F'C = 280$ KG/CM ²	155
4.2.2.2.3 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA $F'C = 350$ KG/CM ²	156
4.3 TABLAS RESUMEN DE DISEÑOS DE MEZCLA.....	156
CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	163
5.1 CONCRETO FRESCO.....	163
5.1.1 PESO UNITARIO Y RENDIMIENTO.....	163
5.1.2 CONTENIDO DE AIRE	169
5.1.3 ASENTAMIENTO	172
5.2 CURADO DE MUESTRAS DE CONCRETO.....	174
5.3 CONCRETO ENDURECIDO	174

5.3.1	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	174
5.3.2	PESO UNITARIO	188
5.4	ANÁLISIS COMPARATIVO	190
5.4.1	ANÁLISIS DE LA RELACIÓN a/c VS RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	190
5.4.2	ANÁLISIS DE LA RELACIÓN AGREGADO FINO/AGREGADO TOTAL VS RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	201
5.4.3	COMPARACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO POR DISEÑO DE MÉTODO FACTORIAL Y DE CHANDRA Y BERNTSSON.....	214
5.5	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	219
5.6	ANÁLISIS MEDIANTE SOFTWARE DE LENGUAJE PYTHON.....	221
CAPÍTULO 6. APLICACIÓN DE MODELOS DE SOSTENIBILIDAD PARA LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA		230
6.1	SISTEMAS DE INFRAESTRUCTURA	230
6.1.1	SISTEMAS DE INFRAESTRUCTURA	230
6.1.2	MANEJO ADAPTATIVO	231
6.1.3	MANEJO DE RIESGOS	232
6.1.4	ANÁLISIS DE STAKEHOLDERS	233
6.1.5	ASOCIACIÓN PÚBLICA - PRIVADA	234
6.1.6	PROTECCIÓN DE INFRAESTRUCTURA.....	235
6.2	SOSTENIBILIDAD	235
6.2.1	RUEDA DE ECOESTRATEGIA.....	235
6.2.2	CAPITALISMO NATURAL	237
6.2.3	MODELO DE CUATRO CAPITAL.....	238
6.2.4	MODELO DE SEIS CAPITALES	239
6.3	POLÍTICA PÚBLICA.....	240
6.3.1	INSTRUMENTOS DE POLÍTICA PÚBLICA.....	240
6.3.2	TEORÍA DE LOS BIENES PÚBLICOS	241
6.3.3	FALLA DEL MERCADO.....	242
6.3.4	TRIANGULO ESTRATÉGICO DE MOORE.....	243
6.4	SISTEMA AMBIENTAL.....	243
6.4.1	PARADIGMA DEL MANEJO DEL SUELO	243
6.4.2	DIAGRAMA MARIPOSA.....	244
6.4.3	MANEJO DEL AGUA.....	245

6.4.4 MANEJO ESPACIAL DE LA INFORMACIÓN	245
CONCLUSIONES.....	246
RECOMENDACIONES	248
PROPUESTAS DE INVESTIGACIÓN.....	249
BIBLIOGRAFÍA	250
ANEXOS	256



INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resistencia a la comprensión, densidad y resistencia a la tracción.....	14
Tabla 2: Ficha técnica del cemento Portland Tipo IP.....	15
Tabla 3: Ficha técnica el cemento Portland Tipo HE.....	16
Tabla 4: Coordenadas de obtención de la ignimbrita	20
Tabla 5: Tiempos de mezclado mínimos recomendados.....	23
Tabla 6: Límites para f_c	30
Tabla 7: Grading Requirements for Lightweight Aggregate for Structural Concrete.....	31
Tabla 8: Asentamiento por Tipo de Construcción.....	32
Tabla 9: Volumen Unitario de Agua	33
Tabla 10: Contenido de Aire Atrapado.....	33
Tabla 11: Contenido de Aire Incorporado y Total	34
Tabla 12: Relación Agua-Cemento por Resistencia.....	35
Tabla 13: Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso o global.....	44
Tabla 14: Ensayo Granulométrico Grueso 1 (Alpha 1).....	45
Tabla 15: Análisis Granulométrico Grueso 2 (Alpha 2).....	46
Tabla 16: Análisis Granulométrico Grueso 3 (Alpha 3).....	47
Tabla 17: Análisis Granulométrico Grueso 4 (Bravo 1).....	48
Tabla 18: Análisis Granulométrico Grueso 5 (Bravo 2).....	49
Tabla 19: Análisis Granulométrico Grueso 6 (Bravo 3).....	50
Tabla 20: Análisis Granulométrico Grueso 7 (Charlie 1).....	51
Tabla 21: Análisis Granulométrico Grueso 8 (Charlie 2).....	52
Tabla 22: Análisis Granulométrico Grueso 9 (Charlie 3).....	53
Tabla 23: Análisis Granulométrico Grueso 10 (Delta 1).....	54
Tabla 24: Análisis Granulométrico Grueso 11 (Delta 2).....	55
Tabla 25: Análisis Granulométrico Grueso 12 (Delta 3).....	56
Tabla 26: Análisis Granulométrico Grueso 13 (Ecco 1).....	57
Tabla 27: Análisis Granulométrico Grueso 14 (Ecco 2).....	58
Tabla 28: Análisis Granulométrico Grueso 15 (Ecco 3).....	59
Tabla 29: Análisis granulométrico del agregado fino	60
Tabla 30: Análisis Granulométrico 1.....	61
Tabla 31: Análisis Granulométrico 2.....	62
Tabla 32: Análisis Granulométrico 3.....	63

Tabla 33: Resultados Módulo de Fineza Agregado Fino	64
Tabla 34: Dimensiones del Recipiente de PUC y PUS	65
Tabla 35: PUS Agregado Fino 1.....	66
Tabla 36: PUC Agregado Fino 1	66
Tabla 37: PUS Agregado Fino 2.....	67
Tabla 38: PUC Agregado Fino 2	67
Tabla 39: PUS Agregado Fino 3.....	67
Tabla 40: PUC Agregado Fino 3	67
Tabla 41: Peso Unitario Suelto y Compactado - Agregado Grueso	68
Tabla 42: Peso mínimo de la muestra de ensayo.....	69
Tabla 43: Ensayo de peso específico del agregado grueso.....	71
Tabla 44: Resultados del ensayo de peso específico del agregado grueso.....	71
Tabla 45: Datos iniciales de cálculo PE agregado fino	73
Tabla 46: Datos calculados PE agregado fino	74
Tabla 47: Carga para ensayo en máquina de Los Ángeles.....	74
Tabla 48: Gradación de las muestras de ensayo	75
Tabla 49: Resistencia a la abrasión (Alpha).....	75
Tabla 50: Resistencia a la abrasión (Bravo).....	76
Tabla 51: Resistencia a la abrasión (Charlie).....	76
Tabla 52: Resistencia a la abrasión (Delta).....	76
Tabla 53: Resistencia a la abrasión (Ecco).....	77
Tabla 54: Cantidad mínima de muestra para Cantidad de Finos.....	77
Tabla 55: Contenido de Finos A. Grueso (Alpha).....	78
Tabla 56: Contenido de Finos A. Grueso (Bravo).....	79
Tabla 57: Contenido de Finos A. Grueso (Charlie).....	79
Tabla 58: Contenido de Finos A. Grueso (Delta).....	79
Tabla 59: Contenido de Finos A. Grueso (Ecco).....	80
Tabla 60: Contenido de Finos A. Fino (Ensayo 1).....	80
Tabla 61: Contenido de Finos A. Fino (Ensayo 2).....	80
Tabla 62: Contenido de Finos A. Fino (Ensayo 3).....	81
Tabla 63: Contenido de Humedad (Alpha 1).....	81
Tabla 64: Contenido de Humedad (Alpha 2).....	81
Tabla 65: Contenido de Humedad (Bravo 1).....	82
Tabla 66: Contenido de Humedad (Bravo 2).....	82

Tabla 67: Contenido de Humedad (Charlie 1).....	82
Tabla 68: Contenido de Humedad (Charlie 2).....	83
Tabla 69: Contenido de Humedad (Delta 1).....	83
Tabla 70: Contenido de Humedad (Delta 2).....	83
Tabla 71: Contenido de Humedad (Ecco 1)	84
Tabla 72: Contenido de Humedad (Ecco 2)	84
Tabla 73: Contenido de Humedad (Arena Gruesa)	84
Tabla 74: Diseño de mezcla "Factorial"- Alpha 1	88
Tabla 75: Método de Diseño "Factorial" - Alpha 2	89
Tabla 76: Diseño de mezcla "Factorial"- Alpha 2	89
Tabla 77: Método de Diseño "Factorial" - Alpha 3	90
Tabla 78: Diseño de mezcla "Factorial"- Alpha 3	90
Tabla 79: Método de Diseño "Factorial" - Alpha 4	91
Tabla 80: Diseño de mezcla "Factorial"- Alpha 4	91
Tabla 81: Método de Diseño "Factorial" - Alpha 5	92
Tabla 82: Diseño de mezcla "Factorial"- Alpha 5	92
Tabla 83: Método de Diseño "Factorial" - Alpha 6	93
Tabla 84: Diseño de mezcla "Factorial"- Alpha 6	93
Tabla 85: Método de Diseño "Factorial" - Alpha 7	94
Tabla 86: Diseño de mezcla "Factorial"- Alpha 7	94
Tabla 87: Método de Diseño "Factorial" - Alpha 8	95
Tabla 88: Diseño de mezcla "Factorial"- Alpha 8	95
Tabla 89: Método de Diseño "Factorial" - Alpha 9	96
Tabla 90: Diseño de mezcla "Factorial"- Alpha 9	96
Tabla 91: Diseño de mezcla "Factorial"- Bravo 1	100
Tabla 92: Método de Diseño "Factorial" – Bravo 2	101
Tabla 93: Diseño de mezcla "Factorial"- Bravo 2	101
Tabla 94: Método de Diseño "Factorial" – Bravo 3	102
Tabla 95: Diseño de mezcla "Factorial"- Bravo 3	102
Tabla 96: Método de Diseño "Factorial" – Bravo 4	103
Tabla 97: Diseño de mezcla "Factorial"- Bravo 4	103
Tabla 98: Método de Diseño "Factorial" – Bravo 5	104
Tabla 99: Diseño de mezcla "Factorial"- Bravo 5	104
Tabla 100: Método de Diseño "Factorial" – Bravo 6	105

Tabla 101: Diseño de mezcla "Factorial"- Bravo 6	105
Tabla 102:Método de Diseño "Factorial" – Bravo 7	106
Tabla 103: Diseño de mezcla "Factorial"- Bravo 7	106
Tabla 104:Método de Diseño "Factorial" – Bravo 8	107
Tabla 105: Diseño de mezcla "Factorial"- Bravo 8	107
Tabla 106:Método de Diseño "Factorial" – Bravo 9	108
Tabla 107: Diseño de mezcla "Factorial"- Bravo 9	108
Tabla 108: Diseño de mezcla "Factorial"- Charlie 1	112
Tabla 109:Método de Diseño "Factorial" – Charlie 2	113
Tabla 110: Diseño de mezcla "Factorial"- Charlie 2	113
Tabla 111:Método de Diseño "Factorial" – Charlie 3	114
Tabla 112: Diseño de mezcla "Factorial"- Charlie 3	114
Tabla 113:Método de Diseño "Factorial" – Charlie 4	115
Tabla 114: Diseño de mezcla "Factorial"- Charlie 4	115
Tabla 115:Método de Diseño "Factorial" – Charlie 5	116
Tabla 116: Diseño de mezcla "Factorial"- Charlie 5	116
Tabla 117:Método de Diseño "Factorial" – Charlie 6	117
Tabla 118: Diseño de mezcla "Factorial"- Charlie 6	117
Tabla 119:Método de Diseño "Factorial" – Charlie 7	118
Tabla 120: Diseño de mezcla "Factorial"- Charlie 7	118
Tabla 121:Método de Diseño "Factorial" – Charlie 8	119
Tabla 122: Diseño de mezcla "Factorial"- Charlie 8	119
Tabla 123:Método de Diseño "Factorial" – Charlie 9	120
Tabla 124: Diseño de mezcla "Factorial"- Charlie 9	120
Tabla 125: Diseño de mezcla "Factorial" - Delta 1	124
Tabla 126:Método de Diseño "Factorial" – Delta 2	125
Tabla 127: Diseño de mezcla "Factorial" - Delta 2	125
Tabla 128:Método de Diseño "Factorial" – Delta 3	126
Tabla 129: Diseño de mezcla "Factorial" - Delta 3	126
Tabla 130:Método de Diseño "Factorial" – Delta 4	127
Tabla 131: Diseño de mezcla "Factorial" - Delta 4	127
Tabla 132:Método de Diseño "Factorial" – Delta 5	128
Tabla 133: Diseño de mezcla "Factorial" - Delta 5	128
Tabla 134:Método de Diseño "Factorial" – Delta 6	129

Tabla 135: Diseño de mezcla "Factorial" - Delta 6	129
Tabla 136:Método de Diseño "Factorial" – Delta 7	130
Tabla 137: Diseño de mezcla "Factorial" - Delta 7	130
Tabla 138:Método de Diseño "Factorial" – Delta 8	131
Tabla 139: Diseño de mezcla "Factorial" - Delta 8	131
Tabla 140:Método de Diseño "Factorial" – Delta 9	132
Tabla 141: Diseño de mezcla "Factorial" - Delta 9	132
Tabla 142: Diseño de mezcla "Factorial" - Ecco 1.....	136
Tabla 143:Método de Diseño "Factorial" – Ecco 2.....	137
Tabla 144: Diseño de mezcla "Factorial" - Ecco 2.....	137
Tabla 145:Método de Diseño "Factorial" – Ecco 3.....	138
Tabla 146: Diseño de mezcla "Factorial" - Ecco 3.....	138
Tabla 147:Método de Diseño "Factorial" – Ecco 4.....	139
Tabla 148: Diseño de mezcla "Factorial" - Ecco 4.....	139
Tabla 149:Método de Diseño "Factorial" – Ecco 5.....	140
Tabla 150: Diseño de mezcla "Factorial" - Ecco 5.....	140
Tabla 151:Método de Diseño "Factorial" – Ecco 6.....	141
Tabla 152: Diseño de mezcla "Factorial" - Ecco 6.....	141
Tabla 153:Método de Diseño "Factorial" – Ecco 7.....	142
Tabla 154: Diseño de mezcla "Factorial" - Ecco 7.....	142
Tabla 155:Método de Diseño "Factorial" – Ecco 8.....	143
Tabla 156: Diseño de mezcla "Factorial" - Ecco 8.....	143
Tabla 157:Método de Diseño "Factorial" – Ecco 9.....	144
Tabla 158: Diseño de mezcla "Factorial" - Ecco 9.....	144
Tabla 159: Diseño de mezcla "Chandra y Berntsson" - Delta 1	148
Tabla 160:Método de Diseño " Chandra y Berntsson "– Delta 2	149
Tabla 161: Diseño de mezcla "Chandra y Berntsson" - Delta 2.....	149
Tabla 162:Método de Diseño " Chandra y Berntsson "– Delta 3	150
Tabla 163: Diseño de mezcla "Chandra y Berntsson" - Delta 3.....	150
Tabla 164: Diseño de mezcla "Chandra y Berntsson" – Ecco 1	154
Tabla 165:Método de Diseño " Chandra y Berntsson "– Ecco 2.....	155
Tabla 166: Diseño de mezcla "Chandra y Berntsson" – Ecco 2.....	155
Tabla 167:Método de Diseño " Chandra y Berntsson "– Ecco 3.....	156
Tabla 168: Diseño de mezcla "Chandra y Berntsson" – Ecco 3.....	156

Tabla 169:Resumen Diseño de Mezcla " Factorial"- Alpha.....	157
Tabla 170:Resumen Diseño de Mezcla " Factorial"- Bravo.....	158
Tabla 171: Resumen Diseño de Mezcla " Factorial"- Charlie.....	159
Tabla 172:Resumen Diseño de Mezcla " Factorial"- Delta.....	160
Tabla 173: Resumen Diseño de Mezcla " Factorial"- Ecco	161
Tabla 174: Resumen Diseño de mezcla "Chandra y Berntsson" – Delta	162
Tabla 175: Resumen Diseño de mezcla "Chandra y Berntsson" – Ecco.....	162
Tabla 176: Capacidad de los recipientes de medición.....	163
Tabla 177: Peso Unitario y Rendimiento - Alpha	165
Tabla 178: Peso Unitario y Rendimiento - Bravo	165
Tabla 179:Peso Unitario y Rendimiento - Charlie	166
Tabla 180: Peso Unitario y Rendimiento - Delta	166
Tabla 181: Unitario y Rendimiento – Ecco.....	166
Tabla 182: Contenido de Aire – Alpha.....	170
Tabla 183: Contenido de Aire – Bravo.....	170
Tabla 184: Contenido de Aire – Charlie.....	170
Tabla 185: Contenido de Aire – Delta.....	171
Tabla 186: Contenido de Aire – Ecco	171
Tabla 187: Tabla de Asentamientos por Cono de Abrams.....	173
Tabla 188:Resistencia a la Compresión - Método "Factorial" 1	176
Tabla 189:Resistencia a la Compresión - Método "Factorial" 2	177
Tabla 190:Resistencia a la Compresión - Método "Factorial" 3	178
Tabla 191:Resistencia a la Compresión - Método "Factorial" 4	179
Tabla 192:Resistencia a la Compresión - Método "Factorial" 5	180
Tabla 193:Resistencia a la Compresión - Método "Factorial" 6	181
Tabla 194:Resistencia a la Compresión - Método "Factorial" 7	182
Tabla 195:Resistencia a la Compresión - Método "Factorial" 8	183
Tabla 196:Resistencia a la Compresión - Método "Factorial" 9	184
Tabla 197:Resistencia a la Compresión - Método "Chandra y Berntsson" 1	185
Tabla 198:Resistencia a la Compresión - Método "Chandra y Berntsson" 2	186
Tabla 199:Resistencia a la Compresión - Método "Chandra y Berntsson" 3	187
Tabla 200: Peso Unitario Promedio para Diseño por Método Factorial	188
Tabla 201: Peso Unitario Promedio para Diseño por Método de Chandra y Berntsson ...	188
Tabla 202: Relación a/c vs Resistencia a la compresión - Alpha	190

Tabla 203: Relación a/c vs Resistencia a la compresión - Bravo	193
Tabla 204: Relación a/c vs Resistencia a la compresión - Charlie.....	196
Tabla 205: Relación a/c vs Resistencia a la compresión – Delta/Ecco	199
Tabla 206: Resistencias a la Compresión para distintos Af/At - Factorial 1.....	202
Tabla 207: Resistencias a la Compresión para distintos Af/At - Factorial 2.....	205
Tabla 208: Resistencias a la Compresión para distintos Af/At - Factorial 3.....	208
Tabla 209: Resistencias a la Compresión para Af/At = 0.70 - Chandra y Berntsson 1.....	211
Tabla 210: Resistencias a la Compresión para Af/At = 0.70 - Chandra y Berntsson 2.....	212
Tabla 211: Resistencias a la Compresión para Af/At = 0.70 - Chandra y Berntsson 3.....	213
Tabla 212: Costos por m3 de Concreto Liviano Tradicional para $f_c = 21\text{MPa}$	219
Tabla 213: Costos por m3 de Concreto Liviano con Ignimbrita para $f_c = 21\text{MPa}$	219
Tabla 214: Costos por m3 de Concreto Liviano Tradicional para $f_c = 28\text{MPa}$	220
Tabla 215: Costos por m3 de Concreto Liviano con Ignimbrita para $f_c = 28\text{MPa}$	220
Tabla 216: Diseños de mezcla por Peso - software de lenguaje Python	226
Tabla 217: Diseños de mezcla por Precio - software de lenguaje Python.....	226
Tabla 218: Tabla de Roturas con Ignimbrita del Punto Alpha	256
Tabla 219: Tabla de Roturas con Ignimbrita del Punto Bravo	260
Tabla 220: Tabla de Roturas con Ignimbrita del Punto Charlie	265
Tabla 221: Tabla de Roturas con Ignimbrita del Punto Delta	269
Tabla 222: Tabla de Roturas con Ignimbrita del Punto Ecco.....	273

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Fotografía satelital de Cantera de Chiguata	18
Ilustración 2: Fotografía satelital de Canteras de Añashuayco - Arequipa	20
Ilustración 3: Curva Granulométrica Grueso 1 (Alpha 1)	45
Ilustración 4: Curva Granulométrica Grueso 2 (Alpha 2)	46
Ilustración 5: Curva Granulométrica Grueso 3 (Alpha 3)	47
Ilustración 6: Curva Granulométrica Grueso 4 (Bravo 1)	48
Ilustración 7: Curva Granulométrica Grueso 5 (Bravo 2)	49
Ilustración 8: Curva Granulométrica Grueso 6 (Bravo 3)	50
Ilustración 9: Curva Granulométrica 7 (Charlie 1).....	51
Ilustración 10: Curva Granulométrica Grueso 8 (Charlie 2).....	52
Ilustración 11: Curva Granulométrica Grueso 9 (Charlie 3).....	53
Ilustración 12: Curva Granulométrica Grueso 10 (Delta 1)	54
Ilustración 13: Curva Granulométrica Grueso (Delta 2)	55
Ilustración 14: Curva Granulométrica Grueso (Delta 3)	56
Ilustración 15: Curva Granulométrica Grueso (Ecco 1).....	57
Ilustración 16: Curva Granulométrica Grueso (Ecco 2).....	58
Ilustración 17: Curva Granulométrica Grueso (Ecco 3).....	59
Ilustración 18: Curva Granulométrica Fino 1	61
Ilustración 19: Curva Granulométrica Fino 2	62
Ilustración 20: Curva Granulométrica Fino 3	63
Ilustración 21: Comparación Pesos Unitarios para Diseños de Mezcla por Método Factorial	167
Ilustración 22: Comparación Pesos Unitarios para Diseños de Mezcla por Método de Chandra y Berntsson	168
Ilustración 23: : Comparación de Contenidos de Aire en Diseños por Método Factorial.	171
Ilustración 24: Comparación de Contenidos de Aire en Diseños por Método de Chandra y Berntsson.....	172
Ilustración 25: Comparación entre el Asentamiento y la Resistencia a la Compresión	173
Ilustración 26: Resistencia a la Compresión ($f'c \approx 21\text{MPa}$) vs Tiempo - Método Factorial 1	176
Ilustración 27: Resistencia a la Compresión ($f'c \approx 21\text{MPa}$) vs Tiempo - Método Factorial 2	177

Ilustración 28: Resistencia a la Compresión ($f_c \approx 21\text{MPa}$) vs Tiempo - Método Factorial 3	178
Ilustración 29: Resistencia a la Compresión ($f_c \approx 28\text{MPa}$) vs Tiempo – Método Factorial 4	179
Ilustración 30: Resistencia a la Compresión ($f_c \approx 28\text{MPa}$) vs Tiempo - Método Factorial 5	180
Ilustración 31: Resistencia a la Compresión ($f_c \approx 28\text{MPa}$) vs Tiempo - Método Factorial 6	181
Ilustración 32: Resistencia a la Compresión ($f_c \approx 35\text{MPa}$) vs Tiempo - Método Factorial 7	182
Ilustración 33: Resistencia a la Compresión ($f_c \approx 35\text{MPa}$) vs Tiempo – Método Factorial 8	183
Ilustración 34: Resistencia a la Compresión ($f_c \approx 35\text{MPa}$) vs Tiempo – Método Factorial 9	184
Ilustración 35: Resistencia a la Compresión ($f_c \approx 21\text{MPa}$) vs Tiempo - Método “Chandra y Berntsson”1	185
Ilustración 36: Resistencia a la Compresión ($f_c \approx 28\text{MPa}$) vs Tiempo - Método “Chandra y Berntsson”2	186
Ilustración 37: Resistencia a la Compresión ($f_c \approx 35\text{MPa}$) vs Tiempo - Método “Chandra y Berntsson”3	187
Ilustración 38: Comparación de Pesos Unitarios en Diseños por Método Factorial.....	189
Ilustración 39: Comparación de Pesos Unitarios en Diseños por Método de Chandra y Berntsson.....	189
Ilustración 40: Comparación de f_c para $A_f/A_t = 0.40$ – Alpha.....	191
Ilustración 41: Comparación de f_c para $A_f/A_t = 0.50$ – Alpha.....	191
Ilustración 42: Comparación de f_c para $A_f/A_t = 0.60$ – Alpha.....	192
Ilustración 43: Comparación de f_c para $A_f/A_t = 0.40$ – Bravo.....	194
Ilustración 44: Comparación de f_c para $A_f/A_t = 0.50$ – Bravo.....	194
Ilustración 45: Comparación de f_c para $A_f/A_t = 0.60$ – Bravo.....	195
Ilustración 46: Comparación de f_c para $A_f/A_t = 0.40$ – Charlie.....	197
Ilustración 47: Comparación de f_c para $A_f/A_t = 0.50$ – Charlie.....	197
Ilustración 48: Comparación de f_c para $A_f/A_t = 0.60$ – Charlie.....	198
Ilustración 49: Comparación de f_c para $A_f/A_t = 0.70$ – Delta.....	200
Ilustración 50: Comparación de f_c para $A_f/A_t = 0.70$ – Ecco	201

Ilustración 51: Comparación de f_c para $a/c = 0.65$ – Alpha	203
Ilustración 52: Comparación de f_c para $a/c = 0.65$ – Bravo	203
Ilustración 53: Comparación de f_c para $a/c = 0.65$ – Charlie	204
Ilustración 54: Comparación de f_c para $a/c = 0.55$ – Alpha	206
Ilustración 55: Comparación de f_c para $a/c = 0.55$ – Bravo	206
Ilustración 56: Comparación de f_c para $a/c = 0.55$ – Charlie	207
Ilustración 57: Comparación de f_c para $a/c = 0.45$ – Alpha	209
Ilustración 58: Comparación de f_c para $a/c = 0.45$ – Bravo	209
Ilustración 59: Comparación de f_c para $a/c = 0.45$ – Charlie	210
Ilustración 60: Comparación de f_c para $a/c = 0.58$	211
Ilustración 61: Comparación de f_c para $a/c = 0.43$	212
Ilustración 62: Comparación de f_c para $a/c = 0.31$	213
Ilustración 63: Comparación de Diseños de Mezcla para $f_c \approx 21$ MPa	216
Ilustración 64: Comparación de Diseños de Mezcla para $f_c \approx 28$ MPa	217
Ilustración 65: Comparación de Diseños de Mezcla para $f_c \approx 35$ MPa	218
Ilustración 66: Programa en Lenguaje Python para Análisis de Resultados	222
Ilustración 67: Error Absoluto Promedio para Ciclos de Aprendizaje (Epoch)	223
Ilustración 68: Comparación de Valores de Resistencia a la Compresión y Valores Predichos	224
Ilustración 69: Conteo de Predicciones para Distintos Errores	225
Ilustración 70: Programa de Evaluación y Predicción – 1	227
Ilustración 71: Programa de Evaluación y Predicción – 2	227
Ilustración 72: Programa de Evaluación y Predicción – 3	228
Ilustración 73: Programa de Evaluación y Predicción – 4	228
Ilustración 74: Programa de Combinación de Parámetros	229
Ilustración 75: Programa de Ordenamiento de Resultados	229
Ilustración 76: Adaptive Management	231
Ilustración 77: Manejo de Riesgos	232
Ilustración 78: Análisis de Stakeholder	233
Ilustración 79: Rueda de Ecoestrategia	235
Ilustración 80: Teoría de los Bienes Públicos	241

CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO TEÓRICO – OPERACIONAL

1.1 TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN

Optimización de diseños de mezcla de concreto liviano con ignimbrita y evaluación de modelos de sostenibilidad para la actividad extractiva en la cantera de Añashuayco en la ciudad de Arequipa.

1.2 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.2.1 ENUNCIADO DEL PROBLEMA

El diseño de mezcla de concreto utilizando ignimbrita sustituyendo en su totalidad al agregado grueso es una práctica muy poco tecnificada y los métodos de dosificación utilizados provienen de estudios de agregados de características muy distintas, por lo que es posible que no sean los procedimientos más eficientes para la obtención de la mezcla.

1.2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La producción de bloques de sillar para la industria de la construcción, y turismo en los últimos años, ha sido la causante de la explotación de las canteras de ignimbrita de la ciudad de Arequipa. Esto provocó que gran cantidad de desecho, producto de los cortes de los bloques se acumulen durante cientos de años en las canteras.

Este material ha sido utilizado para los diseños de mezcla de algunas viviendas humildes de las cercanías a estos puntos de extracción por su reducido valor, únicamente transporte en muchos casos, inclusive ha sido blanco de investigaciones de diseños de mezclas de concreto aplicando metodologías de diseño ya preestablecidas.

Sin embargo, las propiedades físicas y mecánicas de este material distan mucho de lo que puede ser apreciado en gran parte de los agregados tradicionales de piedra chancada, por lo que asumir que la aplicación de las mismas pautas producirá el mejor resultado en la mezcla podría ser erróneo.

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación tiene por fin la obtención de los parámetros para el diseño de mezcla de concreto, utilizando ignimbrita en reemplazo total del agregado de piedra chancada,

manteniendo las propiedades físicas mínimas requeridas como buscando un valor económico mínimo, además de asegurar una extracción sustentable del material.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la dosificación idónea que permita optimizar el diseño de mezcla de concreto utilizando ignimbrita de la ciudad de Arequipa y aplicar modelos de sostenibilidad en los trabajos de extracción de la roca.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Tomar muestras de 5 puntos distintos para obtener valores generales para las propiedades de la ignimbrita.
- b) Desarrollar distintos diseños de mezclas para diversas relaciones.
- c) Analizar los efectos de las combinaciones planteadas.
- d) Valorizar económicamente los componentes en el diseño de mezcla.
- e) Evaluar la actividad realizada bajo marcos de referencia ligados a la sostenibilidad.

1.5 HIPÓTESIS

Dada que la ignimbrita se puede utilizar como agregado grueso (sustitución total) en la fabricación de concreto liviano, es factible obtener resistencias a la compresión deseadas utilizando los materiales de la forma más eficiente además de validar la sostenibilidad de la utilización de este material en la ciudad de Arequipa.

1.6 VARIABLES

1.6.1 VARIABLE DEPENDIENTE

- Resistencia del concreto a la compresión

1.6.2 VARIABLES INDEPENDIENTES

- Optimización del diseño de mezcla del concreto

1.7 LIMITANTES

- Disponibilidad de ignimbrita en las dimensiones requeridas en las canteras de Añashuayco de la ciudad de Arequipa.

- Costo del transporte del material desde la cantera de Añashuayco hasta el punto de demanda.
- Exactitud en el desarrollo de la dosificación idónea de concreto liviano utilizando ignimbrita como sustitución total del agregado grueso.



OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable	Tipo de Variable	Unidad	Indicadores	Herramientas	Descripción Conceptual	Descripción Operacional
Resistencia a la compresión del concreto	Dependiente	Presión máxima de rotura	Presión de falla a la compresión	Ensayo a compresión del concreto	De acuerdo a la ASTM C39 esta consiste en la aplicación de carga axial a moldes cilíndricos de concreto a una tasa dada hasta que se dé la falla. La resistencia se halla con el cociente entre la carga y el área.	En nuestra investigación se procederá a realizar los ensayos de compresión axial dictaminados por la norma ASTM C39 para evaluar las combinaciones de mezclas de concreto para categorizar su rendimiento.
Dosificación en los diseños de mezcla	Independiente	Ratios de Insumos	Ratio a/c Ratio Af/At Precio	Análisis Semi - experimental	De acuerdo a la ACI 211.5R-01 el concreto es un material compuesto formado por un medio matriz, usualmente de cemento portland con agua, y agregados finos y gruesos.	En nuestra investigación se tomará como base las cantidades de agua y aire recomendados por la norma ACI 211, sin embargo, se evaluarán distintas combinaciones de los materiales que componen la mezcla.

1.8 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación pudo ser clasificada bajo dos tipologías según conocimiento, la primera fue exploratoria y correlacional. A pesar de la cantidad de estudios que existen acerca de la optimización de diseños de mezcla que existen, el análisis de la ignimbrita como agregado grueso aun cuenta con mucho por investigar debido a que no es un compuesto que se encuentre en una gran cantidad de lugares, pese a ello en los lugares que se explota es un recurso muy extenso. Se considera también como correlacional debido a que el estudio se enfoca en analizar las interacciones entre las razones de los componentes en los diseños de mezcla para llegar a determinar su forma de comportamiento.

Bajo el tipo de enfoque, se caracteriza esta investigación por ser cuantitativa dado que se puede analizar de manera numérica los valores de cada razón además de las resistencias demostradas por cada unidad de estudio producida. Así como de carácter cualitativa para los componentes de los modelos de sostenibilidad aplicados a la extracción de la ignimbrita.

Al analizar esta investigación por el diseño, es evidente que la manera de trabajar es experimental debido a que para poder evaluar cada una de las variables es necesario la realización de muestras en laboratorio, sin embargo, también será requerido un análisis por métodos numéricos para poder desarrollar una regresión polinómica de las razones y la resistencia.

La investigación será de carácter longitudinal ya que será necesario evaluar la resistencia desarrollada por las unidades de estudio durante un periodo de 4 semanas para llegar a la resistencia requerida a los 28 días y un estudio de sostenibilidad para el aprovechamiento de la ignimbrita en un presente y futuro inmediato.

1.9 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para este caso el instrumento de recolección de datos de mayor importancia será la experimentación en sí misma. Esto corresponde a gran parte del trabajo de la investigación ya que la fuente de datos para el desarrollo de la misma proviene de las experiencias realizadas en el entorno controlado de un laboratorio.

Adicionalmente, se contará con la observación debido a que se requerirá hallar la interrelación de las razones que originan un concreto con las cualidades deseadas. Por ello es necesario repasar gran cantidad de datos expresados en gráficas y tablas para poder determinar el grado de interacción que tienen entre sí.

Respecto a la componente ambiental se utilizarán modelos que apliquen marcos de referencia ambientales.

1.10 MÉTODO

- Ensayar los materiales componentes del concreto para determinar sus propiedades físicas y mecánicas
- Realizar el cálculo de distintos diseños de mezcla para combinaciones de 4 relaciones agua – cemento y 3 relaciones de agregado fino – agregado total en masa.
- Ensayar a compresión las unidades de muestra a 7, 14, 21 y 28 días.
- Analizar estadísticamente y mediante métodos numéricos los datos para realizar una regresión a una fórmula aproximada.
- Aplicar modelos enfocados en sistemas de infraestructura, sostenibilidad, política pública y sistema ambiental.

1.11 CAMPO DE VERIFICACIÓN

1.11.1 UBICACIÓN ESPACIAL

La ubicación espacial de la investigación se basa en el material de ignimbrita hallada en la quebrada de Añashuayco en el distrito de Cerro Colorado, en la longitud concerniente a la Asociación de Cortadores de Sillar, de los cuales se obtendrán muestras divididas por sectores.

1.11.2 UBICACIÓN TEMPORAL

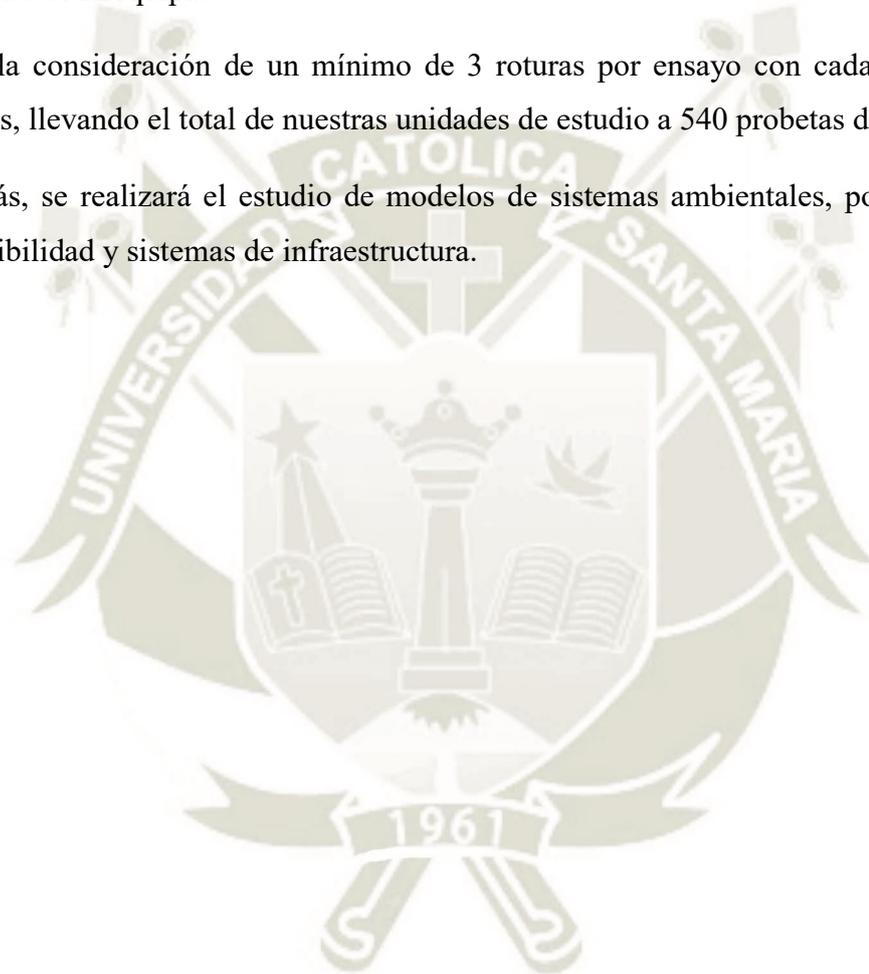
Esta investigación será enfocada en los ensayos a realizarse en el transcurso del presente año, utilizando material explotado de forma continua en las laderas asignadas a la asociación previamente descrita desde hace más de 100 años.

1.11.3 UNIDADES DE ESTUDIO

La unidad de estudio de esta investigación se centra en las muestras obtenidas de 5 puntos distintos dentro de la quebrada Añashuayco, recogiendo en cada uno una combinación de material proveniente tanto de la capa superior como de la inferior con el fin de obtener resultados lo más generales posibles. Las muestras de estudio serán de material conocido como ignimbrita blanca o crema, dado que representan la mayor parte de los depósitos en la ciudad de Arequipa.

Dada la consideración de un mínimo de 3 roturas por ensayo con cada uno de los 9 diseños, llevando el total de nuestras unidades de estudio a 540 probetas de concreto.

Además, se realizará el estudio de modelos de sistemas ambientales, política pública, sostenibilidad y sistemas de infraestructura.



CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

Para la presente investigación se tomará como marco teórico tanto las definiciones técnicas de los elementos a ser utilizados para el desarrollo de la misma, así como los elementos con los que podrían verse similitudes en la intención de uso en experiencias pasadas desarrolladas por otros investigadores, como además los precedentes investigativos realizados tanto en el Perú como en otros países referidos tanto a la aplicación de la ignimbrita en la construcción como la optimización de los diseños de mezcla siguiendo procedimientos afines.

2.1 ANÁLISIS DE ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

La presente investigación tiene como fin determinar una fórmula que permita, con un alto grado de precisión, predecir la resistencia a la compresión de diversas muestras de concreto utilizando la ignimbrita como agregado grueso y una vez conseguido esto señalar algunas recomendaciones con el fin de obtener el resultado deseado a un costo mínimo posible.

Esta investigación puede ser entonces dividida en dos facetas principales, la utilización de la ignimbrita de la ciudad de Arequipa y la optimización de los parámetros de diseños que sean hallados. Para ello se vio por necesario la revisión de la documentación existente acerca de ambos temas.

La primera parte es la que se encuentra en un estado más incipiente, pocas investigaciones han sido realizadas a la fecha en comparación con otros materiales como la piedra pómez. Entre los cuales se encuentra el trabajo de tesis titulado “Diseños alternativos para mezclas de concreto y diseño estructural de viviendas unifamiliares en el cono norte de Arequipa” realizado por los ingenieros Luis Gerardo Becerra Infantas y Jimmy Eduardo Salas Pauca en el año 2009 para la Universidad Católica de Santa María.

En el estudio se presenta una evaluación realizada al concreto liviano utilizando ignimbrita de la ciudad de Arequipa trabajando a una resistencia de diseño de $f'_c = 175 \text{ kg/cm}^2$ mediante la utilización de los parámetros establecidos en la norma ACI 211 y la realización de concreto de peso normal utilizando materiales tradicionales para su fabricación. Luego con esta información se procedió al desarrollo de los diseños estructurales y la planificación para la construcción de viviendas modelos ubicadas hipotéticamente en las inmediaciones del cono norte de la ciudad de Arequipa.

Al finalizar su investigación determinaron que siguiendo esa metodología se debería diseñar con un añadido de 20% a la resistencia de diseño requerida para el concreto y además de que se podía utilizar el tamaño máximo del agregado para reducir la cantidad de agua en la mezcla para así poder minimizar la relación agua – cemento de la mezcla. Además, se pudo concluir que la presencia de la ignimbrita como agregado grueso en el concreto no desarrolló ningún efecto químico adverso en la mezcla de concreto.

Otros estudios del tema como el trabajo de investigación “Effect of low quality aggregates on the mechanical properties of lightweight concrete” por los ingenieros Aydin, Karakoç, Düzgün y Bayraktutan en la Universidad de Ataturk en Turquía.

Para su investigación se decidió evaluar el comportamiento de dos agregados considerados de baja calidad debido a su poca resistencia a la tracción como a la compresión, ignimbrita y piedra pómez, debido a su abundancia relativa en las regiones con depósitos de las mismas. Para ello se realizó estudios reemplazando parcial y totalmente el agregado grueso tradicional de una mezcla de concreto con ambas alternativas y evaluando la resistencia desarrollada por las unidades de estudio a los 7, 14 y 28 días tanto en compresión como en tracción y el módulo de elasticidad conferido a la mezcla por estas combinaciones.

De acuerdo a sus resultados, ambos agregados afectaban las propiedades mecánicas del concreto de forma negativa al compararlo con un agregado de peso normal, sin embargo, la ignimbrita como agregado permitía desarrollar una resistencia a la compresión bastante alta para su poco peso y teniendo pérdidas en su resistencia a la tracción mucho menores que lo esperado, convirtiéndola en una alternativa mucho más atractiva según la opinión de los investigadores que la piedra pómez, la perlita o inclusive el concreto con aire.

La segunda parte de la investigación cuenta con un mayor número de investigaciones previas aplicando una gran variedad de métodos distintos, así como ayudas computacionales para poder realizar el análisis en un número mayor de ensayos y así poder dar una aproximación lo más exacta posible.

Tal es el caso de la investigación titulada “A Statistical Approach to Optimizing Concrete Mixture Design” llevada a cabo por los ingenieros Ahmad S. y Alghamdi S. en el 2013 en la King Fahd University of Petroleum and Minerals en Arabia Saudita.

Su trabajo se basó en hallar cuales eran los causantes de la resistencia a la compresión del concreto ensayando muestras a los 28 días de curado. A pesar de la gran cantidad de variables posibles, de acuerdo a experiencias previas de otros investigadores se decidió evaluar tres principales que podrían ser más prometedoras: la cantidad de cemento por metro cúbico de concreto, la relación agua – cemento, y la relación agregado fino – agregado total. Estas fueron evaluadas tanto de forma individual, así como de manera combinada para tratar de localizar su interrelación.

Además, el enfoque que se le dio a esta tarea fue uno de tres principales, al trabajar con optimizaciones señalan los autores que existen tres maneras de poder atacar el problema. La primera consiste en un análisis netamente analítico en los datos ya conocidos, los cuales pueden ser producto de otras investigaciones o modelos de dosificación de mezclas. Este tiene la ventaja de ser menos costoso que los demás, pero a costa de contar con grandes varianzas en sus resultados. Otro método consiste en el tipo experimental, el cual lleva a realizar una gran cantidad de diseños y elegir los mejores en base a parámetros definidos previos a los vaciados, de esta manera se puede conseguir resultados muy específicos, sin embargo, dependen de tener un universo muestral lo suficientemente grande como para poder incluir las mejores combinaciones dentro de él, corriendo el riesgo de haberla excluido o de tener resultados muy poco generales, lo cual haría poco práctico su aplicación en otras situaciones. El tercer método, el cual otorga mejores resultados, es el semi experimental. Este consiste en evaluar un número de diseños que permitan generar suficientes datos para luego, con un análisis estadístico, de métodos numéricos o de redes neuronales, determinar una ecuación característica.

Tras realizar 81 ensayos de un total de 27 diseños de mezcla se llegó a la conclusión que a pesar de lo que parezca la cantidad de cemento en la mezcla por metro cúbico es un factor poco influyente en la resistencia del concreto. Esta variable estaría mejor ubicada en un cálculo de la trabajabilidad del concreto fresco, por otra parte, las variables de la proporción agua – cemento y agregado fino – agregado total demostraron ser de vital importancia para la predicción de la resistencia a la compresión de la mezcla. A pesar de ello, se incorporó al cálculo de la ecuación la cantidad de cemento en masa por metro cúbico de mezcla debido a que de todos los componentes que la forman, este es el que aporta la mayor parte del costo de insumos.

Una vez aplicada la ecuación se pudo reducir la cantidad de material necesario para la manufactura de concreto, reduciendo de manera muy significativa los costos en insumos. Lo cual puede ser un factor muy importante para reducir el impacto económico que representa la construcción de una vivienda.

Otros trabajos han visto por conveniente utilizar el aprendizaje profundo mediante herramientas como MATLAB o Python para desarrollar modelos más complejos de predicción de la resistencia del concreto. Estos sistemas pueden incorporar gran cantidad de variables y hallar relaciones entre ellas, muchas veces demasiado sutiles como para detectarlas de otra manera. Un ejemplo de esta forma de trabajo es el paper de investigación publicado por Yeh I-Cheng en el “Cement and Concrete Research” titulado “Modeling of strength of high performance concrete using artificial neural networks”, el cual integraba estas herramientas computacionales ya en el año de 1998

Sistemas que trabajan bajo modalidades más estandarizadas también pueden hallarse, tal como el artículo “M-File for Mix Design of Structural Lightweight Concrete Using Developed Models” por M. Abdullahi et al. en 2011. En esta investigación se desarrolló un programa basado en los lineamientos de la norma ACI 211.2-98, evaluando las mezclas tanto en un desarrollo por peso como por volumen para concreto liviano obteniendo resultados razonablemente cercanos a los encontrados en el laboratorio.

2.2 CONCRETO

“El concreto es una mezcla de cemento Portland, agregado fino, agregado grueso, aire y agua en proporciones adecuadas para obtener ciertas propiedades prefijadas, especialmente la resistencia” (Abanto Castillo, 2009, pág. 11)

De acuerdo a lo anterior el concreto es un material artificial, el cual recibe sus propiedades de acuerdo a las propias de los elementos que lo componen y de las cantidades que se empleen en su fabricación. El comportamiento que el concreto presente deberá ser producto de un diseño, de tal manera que cumpla con los requisitos mínimos de durabilidad y resistencia en cualquiera de los usos para el cual sea necesario.

Otros elementos pueden ser agregados a la mezcla, como es el caso de los aditivos, para modificar de acuerdo a una necesidad las características del concreto, ya sea en estado fresco o endurecido o inclusive durante ambas etapas. Estas pueden reducir el peso del concreto por unidad de volumen, aumentar su trabajabilidad o inclusive aumentar de

manera drástica la resistencia a la compresión que este pueda presentar. Sin embargo, no se debe permitir dejar de lado que tanto el concreto normal como el concreto con aditivos pueden presentar efectos o comportamientos potencialmente nocivos para la estructura que vayan a conformar.

El peso del concreto es directamente dependiente del peso de sus agregados, pudiendo obtener concretos de clasificación:

- Liviana, puede ser conformada por agregado grueso liviano o una mezcla de agregados grueso y fino de densidades menores al estándar. Su peso puede ser como máximo de 1840 kg/m^3 .
- Normal, utiliza principalmente grava como agregado grueso y su peso oscila entre 2300 y 2500 kg/m^3 .
- Pesada, puede alcanzar pesos unitarios de hasta 6000 kg/m^3 mediante la adición de agregados especiales como minerales de hierro.

2.2.1 PROPIEDADES DEL CONCRETO

El concreto presenta una serie de propiedades que pueden ser útiles para clasificarlo o para poder determinar su efectividad para un uso determinado.

- Trabajabilidad y Consistencia, indican el grado de humedad que se encuentra en la mezcla, además de la capacidad de la misma para poder ser mezclada y colocada sin dar señales de segregación o exudación.
- Segregación, es la separación de los componentes del concreto debido a los distintos pesos de sus componentes, esto puede ser ocasionado por un exceso de vibrado de la mezcla o un vaciado desde una altura mayor a 0.5 m .
- Resistencia, el concreto presenta tanto resistencia a la tracción como a la compresión, sin embargo, al contar con una resistencia a la tracción muy reducida en comparación a la compresión se suele despreciar este valor. El ensayo de resistencia a la compresión se realizará sobre moldes de concreto endurecido de distintas edades y tamaños.
- Exudación, es una propiedad de ocurrencia conjunta con la segregación del concreto, consistiendo en el ascenso de agua producto de la separación del resto de los componentes del concreto.

- Durabilidad, es la capacidad del concreto de poder soportar el efecto de distintos agentes químicos sobre su superficie o cambios físicos como los ciclos de hielo y deshielo.
- Impermeabilidad, es una propiedad de bajo valor en el concreto debido a las estructuras internas generadas por la pérdida de agua durante su endurecimiento.

2.2.1.1 CONCRETO ESTRUCTURAL LIVIANO

La definición de concreto estructural liviano o ligero presenta un rango de características posibles para que el material puede ser considerado como tal. Se puede llegar a un consenso de estos rangos de acuerdo a normas publicadas por la ACI y la ASTM en su mayor parte.

“Concreto con agregado liviano hecho con agregado liviano estructural como se define en la ASTM C 330. El concreto tiene una resistencia mínima a la compresión a los 28 días de 2500 psi (17 MPa), una densidad de equilibrio entre 70 y 120 lb/ft³ (1120 a 1920 kg/m³), y consiste enteramente de agregados livianos o una combinación de agregados livianos y agregados de densidad normal” (ACI Committee 213, 2003, pág. 4)

Bajo los campos anteriores se puede entender, que en general para poder ser considerado el concreto como estructural liviano, este deberá sobrepasar como mínimo los 17 MPa de esfuerzo a la compresión y mantenerse por debajo de los 1920 kg/m³ de peso unitario.

Esto es expandido con mayor detalle en la norma ASTM C 330 en la cual se especifica sub divisiones en las resistencias mínimas y peso unitarios máximos a ser presentados a los 28 días de la muestra, además de dimensiones aceptables para el agregado liviano a ser utilizado.

Tabla 1: Resistencia a la comprensión, densidad y resistencia a la tracción

Densidad de equilibrio calculada máx., kg/m ³ (lb/ft ³)	Resistencia a la Tracción promedio a 28 días, mín. MPa (psi)	Resistencia a la Compresión promedio a 28 días, mín. MPa (psi)
Completamente Agregado Liviano		
1760 (110)	2.2 (320)	28 (4000)
1680 (105)	2.1 (300)	21 (3000)
1600 (100)	2.0 (290)	17 (2500)
Arena/Agregado Liviano		
1840 (115)	2.3 (330)	28 (4000)
1760 (110)	2.1 (310)	21 (3000)
1680 (105)	2.1 (300)	17 (2500)

Fuente: (ASTM International, 2004, pág. 2)

2.2.2 COMPONENTES

2.2.2.1 CEMENTO

“El cemento Portland es un producto comercial de fácil adquisición el cual cuando se mezcla con agua, ya sea solo o en combinación con arena, piedra u otros materiales similares, tiene la propiedad de reaccionar lentamente con el agua hasta formar una masa endurecida, Esencialmente es un Clinker finalmente molido, producido por la cocción a elevadas temperaturas de mezclas que contienen cal, alúmina, fierro y sílice en proporciones determinadas.” (Abanto Castillo, 2009, pág. 15)

En el desarrollo utilizaremos cemento Portland Puzolánico IP, el cual está establecido para uso general y se encuentra producido mediante molienda conjunta de Clinker y puzolana (contenido de puzolana 15% - 40%).

La utilización de este tipo específico de cemento tiene como motivo la amplia aplicación del mismo en el medio local. Esto a su vez ocasiona que cementos considerados comunes en otros lugares como el cemento Tipo I no se consiguen de manera abundante en la ciudad de Arequipa ni en las regiones cercanas, convirtiéndose más en un producto a pedido. Además, la utilización del cemento Tipo IP permitirá que la aplicación de la investigación pueda ser más efectiva.

En la búsqueda de la optimización de los diseños de mezcla utilizaremos el cemento Portland HE, el cual presenta un desarrollo inicial alto de su resistencia; afín de las propiedades conocidas de la ignimbrita.

La presente investigación busco utilizar los materiales con mayor presencia en la ciudad de Arequipa, por ende, se decidió trabajar con la empresa líder de la región sur “Cementos Yura S.A.”

Los productos elaborados son de alta calidad ya que las mezclas a base de Clinker, puzolana natural de origen volcánico y yeso son realizadas en molinos de última generación lo cual logra un alto grado de finura. Además, son fabricados en cumplimiento de estándares internacionales como el ISO 9001 e ISO 14001.

2.2.2.1.1 CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO TIPO IP

La tecnología y los componentes utilizados para la fabricación del cemento Portland Puzolánico Tipo IP otorgan propiedades especiales convirtiéndolo en un cemento de Alta Durabilidad, lo cual permite que el concreto tenga una mayor resistencia y pueda ser utilizado en obras de construcción a nivel general especialmente en obras de alta exigencia de durabilidad. Cementos Yura S.A. nos presenta el cemento TIPO IP con las siguientes características:

Tabla 2: Ficha técnica del cemento Portland Tipo IP

Requisitos Químicos	Cemento Portland Puzolánico Yura Tipo IP		Requisitos Norma NTP 334.090 ASTM C-595	
MgO (%)	1.99		6.00 Máx.	
SO ₃ (%)	1.75		4.00 Máx.	
Pérdida por ignición (%)	2.14		5.00 Máx.	
Requisitos Físicos	Cemento Portland Puzolánico Yura Tipo IP		NTP 334.090 ASTM C-595	
Peso específico (gr/cm ³)	2.85		-	
Expansión en autoclave (%)	0		0.80 Máx.	
Fraguado Vicat inicial (minutos)	170		45 Min.	
Fraguado Vicat final (minutos)	270		420 Máx.	
Resistencia a la Compresión	Kgf/cm ²	MPa	Kgf/cm ²	MPa
1 día	104	10	-	-
3 días	199	20	133 Mín.	13
7 días	247	24	204 Mín.	20
28 días	342	34	255 Mín.	25
60 días	397	39	-	-
Resistencia a los resultados	Cemento IP		-	
% Expansión a los 14 días	0.018		-	

Fuente: (Cementos Yura S.A., 2014, pág. 1)

2.2.2.1.2 CEMENTO PORTLAND TIPO HE

Los componentes utilizados para la producción del cemento Portland TIPO HE permite la producción de concretos con requerimientos de altas resistencias iniciales, lo cual permite tener propiedades añadidas y lograr una alta durabilidad. Al igual que el Tipo IP puede ser utilizado en obras de construcción en general.

Cementos Yura S.A. nos presenta las diversas características del cemento TIPO HE – ULTRA RESISTENCIA INICIAL.

Tabla 3: Ficha técnica el cemento Portland Tipo HE

Requisitos Físicos	Requisitos Norma Técnica NTP 334.082 ASTM C 1157		Cemento Industrial Yura Tipo He	
	Kgf/cm ²	MPa	Kgf/cm ²	MPa
Peso específico (gr/cm ³)	-	-	290 - 298	-
Superficie específica Blaine (cm ² /gr)	-	-	4400 - 5100	-
Expansión en autoclave (%)	0.80 Máximo	-	-0.03 – 0.04	-
Fraguado Vitcat inicial (minutos)	45 a 420 Máximo	-	140 - 190	-
Contenido aire Mortero (%)	12 Máximo	-	3.0 a 5.5	-
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	Kgf/cm ²	MPa	Kgf/cm ²	MPa
1 día	122	12	130 a 160	12.7 a 15.7
3 días	245	24	250 a 290	24.5 a 28.4
7 días	-	-	310 a 380	30.4 a 37.2
28 días	-	-	400 a 430	39.2 a 42.1

Fuente : (Cementos Yura S.A, 2018, pág. 1)

2.2.2.2 AGREGADOS

2.2.2.2.1 IGNIMBRITA

La ignimbrita es una roca ígnea y depósito volcánico que consiste en toba dura compuesta de fragmentos de roca y fenocristales en una matriz de fragmentos vítreos. Las ignimbritas suelen ser de composición intermedia afélsica. Las ignimbritas se caracterizan por tener lo que en geología se conoce como fiamas, los cuales son líneas que cruzan la roca, y pueden estar compuestos de diferentes minerales.

Los bloques usados para la construcción de la Arequipa colonial se encuentran bajo el nombre de “sillar”. Su origen es aún muy discutido al día de hoy, siendo considerados como posibles fuentes de este el Chachani u otros volcanes que precedieron a los tres que coronan la ciudad.

Una de las características notables de los depósitos de sillar –dice Fenner- es la manera heterogénea como se mezclan los componentes (fragmentos de vidrio semejantes a polvo, junto con pedazos de piedra pómez y bloque de lava densa), se halla raras veces seleccionada por tamaños o sea estratificada, como es el caso de la acción fluvial o de la caída de materiales heterogéneos desde una cierta altura de la atmósfera, pues los materiales están, al contrario, uniformemente mezclados. Así también el Dr. Fenner distingue entre sillares antiguos o pre-glaciares y sillares recientes, la mayoría del sillar de los alrededores de Arequipa es anterior a la época glacial y que por lo menos un solo depósito parece haber sido formado durante esta época o después de ella. (Lara Galindo, 1988, pág. 7)

En la ciudad de Arequipa se puede hallar ignimbritas de distintos colores de acuerdo a la composición química del tufo piroclástico del cual fueron formadas, hallándose predominantemente en blanco, pero con apariciones de color rosado, amarillo y una variedad conocida como azulejo, la cual contiene mayor presencia de piedra pómez.

Analizando a mayor profundidad la ignimbrita, se halla que su composición es predominantemente de:

- Plagioclasas NaSiO_3
- Biotita $\text{SiO}_3(\text{OH})\text{Fe}$
- Vidrio volcánico SiO_2
- Esquirla -
- Material Desvitrificado SiO_2
- Trozos líticos NaSiO_3

Actualmente la mayor parte de la actividad extractiva del sillar se concentra en la zona de Añashuayco, sin embargo, las canteras originales se encuentran en el distrito de Miraflores. Estas fueron abandonadas rápidamente debido a la excesiva dureza del material encontrado, lo que dificultaba la tarea de extraerlo y darle forma, elevando la peligrosidad de la tarea para los canteros.

El sillar es formado de grandes porciones de los farallones de ignimbrita generados por cursos de agua tanto permanentes como temporales, los cuales son luego agrandados artificialmente debido a la tarea de los canteros. Esta labor es aun mayoritariamente manual, utilizando herramientas muy básicas a base de acero y de plástico por lo que además de ser una labor pesada, también se generan grandes acumulaciones de material desperdiciado.

2.2.2.2 ARENA GRUESA

Es el conjunto de partículas que provienen como resultado de la desintegración de rocas, así como de la trituración, conservando un índice de grosor notorio el cual es útil para espesar las mezclas de concreto. Sus partículas tienen un tamaño máximo de 5mm.

La arena gruesa evita el anegamiento, por ende, el daño del concreto; además mejora la aireación del concreto.

En la presente investigación se buscó trabajar con materiales de fácil accesibilidad por lo tanto se obtuvo arena gruesa extraída de las Canteras de Chiguata, ubicadas en la carretera 34C ubicadas en las coordenadas -16.398601N, -71.366522E.

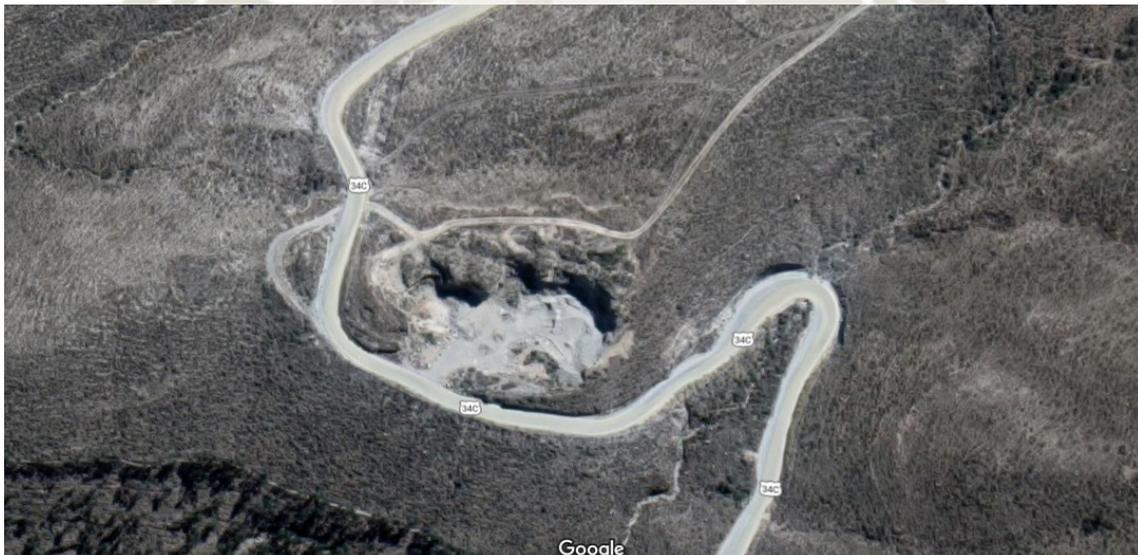


Ilustración 1: Fotografía satelital de Cantera de Chiguata

2.2.2.3 AIRE

Es el resultado de una mezcla de gases los cuales se encuentran en la atmosfera terrestre, está compuesto por nitrógeno, oxígeno y gases como neón, helio, argón entre otros.

2.2.2.4 AGUA

El agua es considerada como un componente esencial en la realización del concreto ya que permite que el cemento desarrolle su capacidad ligante proporcionando características de trabajabilidad y resistencia, así como propiedades en el concreto endurecido.

Las normativas para la calidad del agua aplicadas en el Perú se encuentran detalladas en la norma INTINTEC 339-088.

2.3 PRODUCCIÓN DEL CONCRETO

2.3.1 SELECCIÓN DE MATERIALES

Los componentes del concreto fueron seleccionados de acuerdo tanto a criterios de disponibilidad en la región como de dimensiones máximas. Esto se aplica a la adquisición u obtención del cemento, agregado grueso y agregado fino.

Como se mencionó anteriormente, se decidió utilizar productos de la empresa “Cementos Yura S.A.” para el cemento. Esto debido a su alta disponibilidad y gran aceptación en el mercado local.

En el caso del agregado fino como ya se mencionó anteriormente se trabajó con la Cantera de Chiguata, el material no presentó inconvenientes en su adquisidor y solo fue necesario el transporte, almacenamiento para poder realizar los ensayos requeridos.

Donde se presentó la necesidad de tener mayor control en la obtención del material fue en el caso del agregado grueso. Al trabajar con rumas de material de desperdicio de la producción de bloques de ignimbrita, se pudo observar una gran diversidad de tamaños de partículas. Bajo esta premisa se ensambló dos zarandas, la primera de abertura de $\frac{3}{4}$ ” y la segunda de abertura de $\frac{3}{16}$ ” eligiendo como material válido las partículas atrapadas entre ambos. Debido a que el material puede variar en sus propiedades físicas de acuerdo al punto de obtención se vio necesario trabajar con material de 5 puntos de recolección ubicados en un recorrido de 1 km aproximadamente en la cantera de Añashuayco en el distrito de Cerro Colorado. Se obtuvo de cada uno un aproximado a 120 kg, material requerido para los ensayos físicos – mecánicos y para el vaciado de las muestras de ensayo. Las coordenadas de los puntos de obtención de la ignimbrita fueron las siguientes:

Tabla 4: Coordenadas de obtención de la ignimbrita

	Latitud (Norte)	Longitud (Este)	Altitud (m.s.n.m)
Alpha	-16.362936°	-71.612839°	2357
Bravo	-16.359443°	-71.608301°	2393
Charlie	-16.360453°	-71.610541°	2378
Delta	-16.362745°	-71.612696°	2358
Ecco	-16.363779°	-71.613536°	2353

Fuente: Elaboración Propia



Ilustración 2: Fotografía satelital de Canteras de Añashuayco - Arequipa

2.3.2 DISEÑO DE MEZCLAS PARA CONCRETO LIVIANO

Existen muchas maneras de producir concreto liviano. De estas, tres tipos principales pueden ser identificados. El primer tipo es concreto de agregado liviano con estructura monolítica en la cual el agregado liviano es usado en vez del agregado de peso normal. El concreto puede ser usado como concreto estructural y concreto libre de carga para fines de aislamiento térmico.

El segundo método se basa en la introducción de grandes vacíos dentro de la masa de concreto y es conocido como aireado, espumado o concreto con gas. Existen muchos ejemplos donde agregados livianos también han sido añadidos a la mezcla.

La clasificación del concreto con agregados livianos se puede basar en la densidad del concreto. Puede existir una relación entre la densidad y la resistencia a la compresión del concreto con agregados livianos. Un concreto de baja densidad tiene baja resistencia y uno de alta densidad frecuentemente una alta resistencia.

2.3.2.1 MÉTODO DE DISEÑO FACTORIAL

El objetivo de plantear este método de diseño fue poder experimentar con los resultados producto de la combinación, tal como se indica en su designación, con cada uno de los niveles de cada factor clave.

Dado las investigaciones precedentes de concreto de peso normal se llegó a observar que los factores clave con mayor influencia en la resistencia a la compresión del concreto son:

- La relación de agua – cemento.
- La relación en peso de agregado fino – agregado total.

A pesar de tener un aporte cuantificable, el contenido de cemento influencia en menor medida que los mencionados anteriormente; por lo cual no fue considerado como un factor clave para el diseño.

Este método se obtuvo de la publicación en la revista científica “The Scientific World Journal” titulada “A Statistical Approach to Optimizing Concrete Mixture Design” y presentada por los ingenieros Shamsad Ahmad and Sael A. Alghamndi.

2.3.2.2 MÉTODO DE CHANDRA Y BERNTSSON

Este método de diseño se basa en predecir la interacción entre el mortero y el agregado liviano tratando de aprovechar las propiedades del primero con el fin de reforzar al agregado. Esto se debe a que la falla del concreto con agregado liviano se presenta frecuentemente debido a la fractura o falla del agregado liviano el cual cuenta con una resistencia a la compresión directamente proporcional a su densidad.

Las formulas y coeficientes usados para predecir provienen de estudios realizados en el “Instituto Nacional Sueco para la Investigación en la Construcción”, los cuales son de carácter empírico, producto de una serie de ensayos realizados a distintos tipos de concreto liviano usando tanto materiales naturales como las ignimbritas y piedras pómez como con agregados artificiales, obteniendo una serie de relaciones de acuerdo al tipo de cada uno. Sin embargo, es necesario mencionar que se enfatiza en el mismo libro y en la

publicaciones del instituto anteriormente mencionado, que el método de diseño debe ser utilizado únicamente como una base de carácter general para el diseño de mezclas, debido a que las propiedades de los agregados livianos son altamente volátiles, por lo que es necesario realizar ensayos y ajustes a la metodología antes de poder asegurarla para un tipo de agregado liviano específico o incluso de una procedencia dada si es de tipo natural.

2.3.3 MEZCLADO

El mezclado se puede definir como el procedimiento por el cual se busca cubrir con pasta de cemento los agregados, con el fin de producir una pasta de concreto con cualidades uniformes y homogéneas.

Existen dos formas de realizar este procedimiento: una es con equipo mecánico y la otra es manual, siendo la primera la más recomendable ya que influirá en las propiedades del concreto y ayudará a lograr los objetivos establecidos para los requerimientos del concreto.

En la producción del concreto se estableció trabajar con una mezcladora de trompo la cual tiene como función mezclar los componentes generando una mezcla de concreto homogénea e uniforme significando proporciones equitativas dentro de esta y así garantizar su resistencia($f'c$).

El procedimiento para cargar la mezcladora no sigue un patrón específico sin embargo existen consideraciones para la realización de la mezcla, no obstante, el aporte a lo largo de nuestra carrera universitaria nos permitió desarrollar un protocolo de mezcla tomando en consideración las condiciones climáticas, así como de los componentes a utilizar; siendo este el que regirá la investigación:

- Humedecer el trompo con agua externa al diseño de mezcla, eliminando el restante antes de incorporar los componentes.
- Colocar el 100% de agregado grueso (ignimbrita).
- Colocar el 100% de cemento.
- Colocar el 50% del total de agua.
- Colocar el 100% de agregado fino (arena gruesa).
- Agregar el 50% restante del agua.

Una variable importante en el procedimiento de mezclado es la duración de este el cual se determina desde la carga de los componentes, incluyendo el agua, hasta la descarga de la mezcla.

“El tiempo mínimo de mezclado depende en gran parte de la eficiencia de la mezcladora, pero un tiempo de minuto y medio se considera satisfactorio.” (Abanto Castillo, 2009, pág. 223)

Además de lo establecido anteriormente se tomó en consideración la siguiente tabla:

Tabla 5: Tiempos de mezclado mínimos recomendados

Capacidad de la mezcladora		Tiempo de mezclado (min)
m3	yd3	
0.8	Hasta 1	1
1.5	2	1 ¼
2.3	3	1 ½
3.1	4	1 ¾
3.8	5	2
4.6	6	2 ¼
7.6	10	3 ¼

Fuente: (Neville & Brooks, 2010, pág. 125)

Dadas las fuentes mencionadas se planteó trabajar con el tiempo de mayor duración para asegurar el correcto mezclado además de considerar la restricción debido a la rápida absorción de la ignimbrita.

2.3.4 CURADO

“ El curado es un proceso que consiste en mantener húmedo al concreto por varios días después de su colocación, con el fin de permitir la reacción química entre el cemento y el agua (hidratación del cemento)” (Abanto Castillo, 2009, pág. 235)

2.4 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN “PYTHON”

El lenguaje Python es un lenguaje de programación de “alto nivel”, es decir, que su lenguaje se encuentra enfocado en el usuario. Fue creado a fines de los años 80 por Guido van Rossum mientras este se desempeñaba en el “Instituto Nacional para la Investigación de las Matemáticas y Ciencias Computacionales” en Holanda.

En una entrevista realizada en el 2003, el mismo creador del lenguaje lo describió de la siguiente manera:

Desde una perspectiva uno puede decir que Python es un lenguaje de archivos de órdenes de muy alto nivel. Desde otra perspectiva uno puede decir que es un lenguaje de programación de alto nivel que ha sido implementado de una forma tal que enfatiza la interactividad. Python comparte algunas características con lenguajes de archivos de órdenes, pero comparte también algunas características con lenguajes de programación más tradicionales. (van Rossum, 2003)

Python fue basado en el lenguaje de programación “ABC”, desarrollado en el mismo instituto por un equipo de desarrolladores del cual van Rossum formó parte. Este lenguaje se enfocaba en brindar herramientas de programación a personas académicas de alto grado, pero que carecían de experiencia en el área informática más allá de la utilización de herramientas pre-existentes.

Al ser trasladado a un nuevo proyecto de desarrollo de un sistema operativo, “Amoeba”, van Rossum se encontró con la necesidad de implementar un lenguaje de programación de archivos de órdenes para el sistema. Bajo esta condición Python fue creado tomando inspiración en muchas de las funciones de “ABC”, combinándolas con componentes que resaltaban por su sencillez. Sin embargo, una de las características más notables que recibió este lenguaje fue la facilidad para recibir extensiones de terceros, propiedad que en el momento era reservada solo para los desarrolladores originales en la mayoría de lenguajes de programación.

La flexibilidad del lenguaje se vio reflejada en la creación de múltiples “módulos”, los cuales servían a modo de librería de comandos y herramientas que podían ser importados al archivo de órdenes para poder completar su función. Estos podían proceder del mismo lenguaje o ser escritos en “C”, lo que popularizó enormemente el lenguaje. Entre las funciones que estos habilitan al usuario se puede hallar desde la creación de gráficos hasta herramientas para el desarrollo de distintos tipos de “Aprendizaje de Máquina”, un tipo de inteligencia artificial.

Entre los módulos más populares se encuentran:

- Numpy
- Matplotlib
- Panda
- Scikit-learn
- Tensorflow

2.4.1 LIBRERÍA SCIKIT-LEARN

Scikit-learn es un módulo de Python que fue desarrollado como una ampliación de mayor potencia sobre el módulo Scipy. Este módulo cuenta con una gran variedad de comandos y herramientas necesarios para el desarrollo de programas de aprendizaje de máquina.

En el tiempo que este módulo se ha encontrado a disponibilidad del público, su popularidad ha crecido enormemente, lo cual lo debe a su libre distribución, así como a su gran eficiencia y se apoya solamente en otros módulos de Python.

Scikit-learn aprovecha este rico entorno para proporcionar implementaciones de vanguardia de muchos algoritmos de aprendizaje automático bien conocidos, al tiempo que mantiene una interfaz fácil de usar estrechamente integrada con el lenguaje Python. Esto responde a la creciente necesidad de análisis de datos estadísticos por no especialistas en las industrias de software y web, así como en campos fuera de la informática, como la biología o la física. Scikit-learn difiere de otras cajas de herramientas de aprendizaje automático en Python por varias razones: i) se distribuye bajo la licencia BSD ii) incorpora código compilado para eficiencia, a diferencia de MDP (Zito et al., 2008) y pybrain (Schaul et al., 2010), iii) depende solo del número y la dificultad para facilitar la distribución, a diferencia de pymvpa (Hanke et al., 2009) que tiene dependencias opcionales como R y shogun, y iv) se enfoca en la programación imperativa, a diferencia de pybrain que utiliza un marco de flujo de datos. Si bien el paquete está escrito principalmente en Python, incorpora las bibliotecas C++ LibSVM (Chang y Lin, 2001) y LibLinear (Fan et al., 2008) que proporcionan implementaciones de referencia de SVM y modelos lineales generalizados con licencias compatibles. Los paquetes binarios están disponibles en un amplio conjunto de plataformas que incluyen Windows y cualquier plataforma POSIX. (Pedregosa, y otros, 2011, pág. 2826)

2.4.2 LIBRERÍA TENSORFLOW

TensorFlow es un módulo que fue creado para ser usado como interfaz para algoritmos de aprendizaje automático. Una de las características principales de estas herramientas es que pueden ser aplicadas desde una gran variedad de dispositivos aprovechando el poder de múltiples núcleos tanto en CPUs y GPUs.

El proyecto inició bajo el nombre de Google Brain en el año 2011 para ser aplicado en los productos de Google, se basó en las herramientas de DistBelief las cuales permitían el reconocimiento de imágenes, objetos, clasificación de videos y modelos para la representación del lenguaje; bajo un tipo de aprendizaje automático conocido como no supervisado.

2.5 EVALUACIÓN DE MODELOS DE SOSTENIBILIDAD

Los modelos de sostenibilidad se establecen en base a ciertas directrices mediante las cuales se pueden reunir las características más aplicables y relevantes para lo que se considera el desarrollo sostenible, su cuantificación y su despliegue.

2.5.1 SISTEMAS DE INFRAESTRUCTURA

Los sistemas de infraestructura soportan una variedad de sectores urbanos, incluyendo transporte, suministro de energía y agua, manejo sanitario y de aguas residuales, y otros servicios esenciales. Su desarrollo sostenible aborda una gran variedad de los intereses de los sectores públicos y privados y depende en gran medida de un amplio grado de factores, tales como los objetivos de políticas públicas, características del uso del suelo y sistemas geo-físicos, requisitos regulatorios, y otras variables. (Tandon School of Engineering, NYU, 2018)

2.5.2 SOSTENIBILIDAD

“El desarrollo sostenible es poder cumplir las necesidades del presente sin tener que comprometer la habilidad de las futuras generaciones para poder satisfacer sus necesidades propias” (World Commission on Environment and Development, 1987, pág. 16)

2.5.3 POLÍTICAS PÚBLICAS

Las políticas ambientales, son cualquier medida tomada por un gobierno o una corporación u otra organización pública o privada en relación a los efectos de las actividades humanas en el medio ambiente, particularmente aquellas medidas que son diseñadas para prevenir o reducir los efectos nocivos de las actividades humanas en los ecosistemas. (van Bueren, 2014)

2.5.4 SISTEMA AMBIENTAL

Los sistemas ambientales o capital natural se pueden definir de la siguiente manera:

El capital natural son las reservas ambientales o recursos de la tierra que proveen bienes, flujo y servicios ecológicos requeridos para mantener la vida. Ejemplos de capital natural incluyen: minerales; agua; asimilación de residuos; absorción del dióxido de carbono; tierra trabajable; habitat; combustibles fósiles; control de la erosión; recreación; amenidades visuales; biodiversidad; regulación de la temperatura y oxígeno. El capital natural tiene un valor financiero dado que es lo que impulsa muchos negocios. (The Global Development Research Center, s.f.)



CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA DE DISEÑO

3.1 INTRODUCCIÓN

El concreto a diferencia de muchos materiales en el ámbito de la construcción, puede ser conformado de formas muy diversas y con gran variedad de materiales con el fin de obtener una o más propiedades necesarias para la construcción u operación de la estructura.

Con ese fin, se ha desarrollado un sin número de métodos para poder dosificar los elementos que conforman una mezcla de concreto, de acuerdo a las propiedades de estos ingredientes se puede obtener concretos con características que les permita ser clasificados como concreto aireado, concreto pesado o inclusive concreto liviano, el cual puede ser o no estructural de acuerdo a la resistencia que este logre desarrollar.

Para efectos de esta tesis, el tipo de diseño de mezcla que mejor satisface las necesidades presentes fueron tanto el diseño factorial, el cual por su propia naturaleza permite cubrir un amplio rango de posible de diseños que permite realizar de para un conjunto de materiales.

El segundo método elegido proviene de un estudio realizado por el “Instituto Sueco de Investigación para la Construcción”, en el cual se toma muy en cuenta el comportamiento presentado del agregado liviano, compensando sus deficiencias con el uso del resto de componentes en base una gran serie de experimentos realizados.

A continuación, se describirá los procedimientos básicos de diseño para poder desarrollar una mezcla siguiendo cualquiera de las dos metodologías, además de los parámetros clave que corresponden a cada una de ellas.

3.2 MÉTODOS DE DISEÑO DE MEZCLA

3.2.1 MÉTODO DE DISEÑO FACTORIAL

El método de diseño factorial, como se mencionó en el capítulo anterior, consiste en la elección de dos o más “factores” dentro de un diseño de mezcla. Estos pueden ser tanto características como cantidades del concreto, por ejemplo:

- Cantidad de Cemento
- Relación Agua/Cemento

- Relación Agregado Fino/Agregado Total
- Cantidad de Agregado Grueso
- Cantidad de Aire
- Etc.

Bajo estas condiciones es necesario elegir los factores con los que se desea trabajar y la cantidad de niveles o variaciones que se quiere plantear dentro de cada uno de ellos. La cantidad de diseños de mezcla a realizar se dará por la siguiente expresión:

$$\text{Número de diseños} = \text{Número de Niveles}^{\text{Número de Factores}}$$

Esta expresión es válida siempre y cuando cada factor cuente con un mismo número de niveles, caso contrario el número de diseños se dará por el producto de los niveles de cada uno de los factores.

El resto de elementos del diseño de mezcla que no formen parte de los factores clave deberán ser calculados de acuerdo a alguna otra metodología. De acuerdo al trabajo realizado se eligieron como factores clave la relación Agua/Cemento y la relación Agregado Fino/Agregado Total. El resto de ingredientes de la mezcla se obtuvo de acuerdo a los parámetros dados por la “ACI 211 Guide for Submittal of Concrete Proportions” presentado por el “ACI Committee 211” de la forma en que se describe en el libro “Diseño de Mezclas” del ingeniero Enrique Rivva López de acuerdo al éxito de esta metodología al ser aplicada en el trabajo de tesis titulado “Diseños Alternativos para Mezclas de Concreto y Diseño Estructural de Viviendas Unifamiliares en el Cono Norte de Arequipa” presentada el 2009 a la Universidad Católica de Santa María.

3.2.1.1 SELECCIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO

La selección de la resistencia promedio del concreto (f'_c) deberá ser elegida de acuerdo a las necesidades de cada estructura, ya sea por las demandas estructurales o por las demandas de durabilidad debido a distintas condiciones de exposición. Además, la resistencia a la compresión deberá alinearse a las regulaciones dadas en las normas regentes en cada país.

“La resistencia mínima del concreto estructural, f'_c , diseñado y construido de acuerdo con esta Norma no debe ser inferior a 17 MPa.” (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2009, pág. 28)

Dado lo anterior, se entiende que en el Perú de acuerdo a la normativa vigente se debe de diseñar la mezcla de concreto para soportar a compresión como mínimo 17 MPa. Del mismo modo, al revisar normas de instituciones extranjeras como el ACI se encuentra reafirmado lo anterior según la siguiente tabla:

Tabla 6: Límites para f'_c

Aplicación	Concreto	f'_c Mínimo, MPa	f'_c Máximo, MPa
General	Peso normal y liviano	17	Ninguno
Pórtico especiales resistentes a momentos y muros estructurales especiales	Peso normal	21	Ninguno
	Liviano	21	35 ^[1]
^[1] Este límite puede ser excedido cuando la evidencia experimental demuestre que los elementos estructurales hechos con concreto liviano proporcionan una resistencia y tenacidad iguales o mayores que las de elementos comparables hechos de peso normal de la misma resistencia.			

Fuente: (Comité ACI 318, 2015, pág. 333)

3.2.1.2 SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL

Se deberá elegir un agregado grueso con un tamaño máximo nominal de sus partículas siguiendo lineamientos tanto de normas como dados por las características de la estructura que será construida.

Las normas de diseño estructural recomiendan que el tamaño máximo nominal del agregado grueso sea el mayor que pueda ser económicamente disponible, siempre que él sea compatible con las dimensiones y características de la estructura. Se considera que, en ningún caso, el tamaño máximo nominal del agregado grueso deberá exceder de los siguientes valores:

- a) Un quinto de la menor dimensión entre caras de encofrados.
- b) Un tercio del peralte de las losas;
- c) Tres cuarto del espacio libre mínimo entre barras o alambres individuales de refuerzo; paquetes de barras; tendones o ductos de preesfuerzos. (Rivva López, 2015, págs. 73-74)

Además, deberá ser de un valor máximo con una gradación aceptada por una normativa dada, en este caso, será determinado por la ASTM.

Tabla 7: Grading Requirements for Lightweight Aggregate for Structural Concrete

Designación de Tamaño Nominal	Porcentaje Pasante (Masa) en Tamices de Orificios Cuadrados									
	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (3/4 in.)	12.5 mm (1/2 in.)	9.5 mm (3/8 in.)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)	300 μm (No. 50)	150 μm (No. 100)	75 μm (No. 200)
Agregado fino:										
4.75 mm a 0	---	---	---	100	85-100	---	40-80	10-35	5-25	---
Agregado grueso:										
25.0 mm a 4.75 mm	95-100	---	25-60	0-10	---	---	---	---	---	0-10
19.0 mm a 4.75 mm	100	90-100	---	10-50	0-15	---	---	---	---	0-10
12.5 mm a 4.75 mm	---	100	90-100	40-80	0-20	0-10	---	---	---	0-10
9.5 mm a 2.36 mm	---	---	100	80-100	5-40	0-20	0-10	---	---	0-10
Combinación de agregados fino y grueso:										
12.5 mm a 0	---	100	95-100	---	50-80	---	---	5-20	2-15	0-10
9.5 mm a 0	---	---	100	90-100	65-90	35-65	---	10-25	5-15	0-10

Fuente : (ASTM International, 2004, pág. 2)

3.2.1.3 SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

Se deberá elegir el grado de consistencia que se desee o necesite para el concreto en su estado fresco. Para ello se señalará el grado de asentamiento que este presentara bajo la prueba del Cono de Abrams Este resultado deberá seguir los límites establecidos para el tipo de elemento para el cual se esté diseñando.

Tabla 8: Asentamiento por Tipo de Construcción

Tipo de construcción	Asentamiento	
	Máximo	Mínimo
• Zapatas y muros de cimentación armados	3"	1"
• Cimentaciones simples, cajones y subestructuras de muros	3"	1"
• Vigas y muros armados	4"	1"
• Columnas de edificios	4"	1"
• Losas y pavimentos	3"	1"
• Concreto ciclópeo	2"	1"

El asentamiento puede incrementarse en 1" si se emplea un método de consolidación diferente a la vibración.

Fuente: (Rivva López, 2015, pág. 77)

3.2.1.4 SELECCIÓN DE VOLUMEN UNITARIO DE AGUA

La cantidad de agua necesaria para el diseño de mezcla será obtenida en base a las dimensiones del agregado grueso, así como de la consistencia deseada para la mezcla en estado fresco. Este es un valor que asume al agregado en estado seco, debido a ello los valores que se indican no serán precisos hasta que se realice una corrección por humedad en los agregados tanto grueso como fino.

Tabla 9: Volumen Unitario de Agua

Asentamiento	Agua, en l/m ³ , para los tamaños máx. nominales de agregado grueso y consistencia indicados							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
	Concretos sin aire incorporado							
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	...
	Concretos con aire incorporado							
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	...

Fuente: (Rivva López, 2015, pág. 82)

3.2.1.5 SELECCIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE

Dentro de la mezcla se verán atrapadas pequeñas burbujas de aire de manera natural o de manera inducida para cumplir con una serie de fines. La cantidad de burbujas dependerá de la gradación del agregado, el proceso de mezclado, el vibrado de la mezcla o de los aditivos que se utilicen, de ser el caso.

La cantidad de aire en la mezcla se determinará de acuerdo a las siguientes tablas en base al tamaño máximo nominal del agregado y si se ha decidido incorporar aire a la mezcla mediante algún agente.

Tabla 10: Contenido de Aire Atrapado

Tamaño Máximo Nominal	Aire atrapado
3/8"	3,0%
1/2"	2,5%
3/4"	2,0%
1"	1,5%
1 1/2"	1,0%
2"	0,5%
3"	0,3%
6"	0,2%

Fuente: (Rivva López, 2015, pág. 89)

Tabla 11: Contenido de Aire Incorporado y Total

Tamaño Máximo Nominal	Contenido de aire total, en %		
	Exposición Suave	Exposición Moderada	Exposición Severa
3/8"	4,5	6,0	7,5
1/2"	4,0	5,5	7,0
3/4"	3,5	5,0	6,0
1"	3,0	4,5	6,0
1 1/2"	2,5	4,5	5,5
2"	2,0	4,0	5,0
3"	1,5	3,5	4,5
6"	1,0	3,0	4,0

Fuente: (Rivva López, 2015, pág. 89)

3.2.1.6 SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO

La relación de agua/cemento para el desarrollo de esta tesis será determinada por los valores elegidos para satisfacer el número de niveles de este factor. Estos deberán de ser aproximaciones a las resistencias cercanas, pero con cierta holgura, dado que su influencia será calculada posteriormente, en el análisis de los resultados.

Continuando con las bases anteriormente usadas, se decidió tomar como marco de referencia las relaciones planteadas en la tabla descrita a continuación, considerando los valores como resistencias nominales, dado que se desconoce el efecto que tendrá en el resultado el cambiar en su totalidad el agregado grueso.

Tabla 12: Relación Agua-Cemento por Resistencia

f'_{cr} (28 días)	Relación agua-cemento de diseño en peso	
	Concretos sin aire incorporado	Concretos con aire incorporado
150	0,80	0,71
200	0,70	0,61
250	0,62	0,53
300	0,55	0,46
350	0,48	0,40
400	0,43	...
450	0,38	...

Fuente: (Rivva López, 2015, pág. 95)

3.2.1.7 SELECCIÓN DEL CONTENIDO DE CEMENTO

La selección del contenido de cemento por metro cúbico de mezcla de concreto será tanto por la cantidad de agua como la relación de agua/cemento.

$$C = W / (W/C)$$

donde C es el peso del cemento en kg/m^3 .

W es el volumen de agua en l/m^3 .

W/C es la ratio de agua/cemento.

3.2.1.8 VOLUMEN DE AGREGADOS EN MEZCLA

El volumen de los agregados en la mezcla se determinará al restar de la unidad el volumen ocupado por los ingredientes calculados en los pasos anteriores.

$$v_{at} = 1 - (C/\gamma_c + W + v_{aire})$$

donde v_{at} es el volumen total de agregados en m^3 .

C es el peso del cemento en kg/m^3 .

γ_c es el peso específico del cemento en kg/m^3 .

W es el volumen de agua en l/m^3 .

v_{aire} es el volumen de aire en la mezcla en m^3 .

3.2.1.9 SELECCIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADOS

Al igual que la relación agua/cemento, al ser un factor clave, se determinará la relación de agregado fino/agregado total en masa en base a resultados de anteriores investigaciones, dando relaciones en incrementos constantes para uniformizar los resultados.

El peso del agregado grueso y del agregado fino se obtendrá de resolver los valores del peso para las siguientes dos ecuaciones:

$$\frac{W_{ag}}{\gamma_{ag}} + \frac{W_{af}}{\gamma_{af}} = v_{at}$$

donde W_{ag} es el peso del agregado grueso en kg.

γ_{ag} es el peso específico del agregado grueso en kg/m^3 .

W_{af} es el peso del agregado fino en kg.

γ_{af} es el peso específico del agregado fino en kg/m^3 .

v_{at} es el volumen total de agregados en m^3 .

y

$$\frac{W_{af}}{W_{ag} + W_{af}} = r_{af/at}$$

donde W_{af} es el peso del agregado fino en kg.

W_{ag} es el peso del agregado grueso en kg.

$r_{af/at}$ es la relación agregado fino/agregado total.

3.2.2 MÉTODO DE CHANDRA Y BERNTSSON

El objetivo del diseño de mezcla de concreto es presentar una formula o receta de acuerdo a las especificaciones. El procedimiento para dar las proporciones consiste en combinar distintos ingredientes del concreto basándose en sus propiedades para alcanzar las propiedades requeridas del concreto fresco tanto como del concreto endurecido. Las

propiedades para el concreto son escogidas del diseño estructural y de los requerimientos de una estructura segura y funcional.

Los requisitos son en su mayor parte de naturaleza técnica, como consistencia, trabajabilidad, resistencia a la compresión, densidad, resistencia a los ciclos de congelamiento-deshielo, permeabilidad al agua, conductividad térmica, y, no menos importante, la vida de servicio de la estructura. En muchos casos, existen requisitos que son implícitos y esperados de un concreto de buena calidad, i. e., estabilidad contra la segregación de los agregados, exudación interna de agua mínima, homogeneidad tras el transporte, y compactación. Una buena economía es usualmente la fuerza que predomina en todo tipo de estructuras de concreto.

El concreto con agregado liviano es muy similar al concreto de peso normal excepto que la totalidad o una parte del agregado consiste de partículas porosas con densidades menores al del agregado con fuente de rocas de peso normal, i.e., menos de 2000 kg/m^3 . En la práctica, la designación de concreto liviano se clasifica de acuerdo a clases estandarizadas de resistencia y densidad.

El concreto estructural con agregado liviano tiene una estructura cerrada, lo que significa que todos los vacíos entre las partículas de agregados son llenados con un componente aglutinante o pasta de cemento. La superficie de las partículas del agregado tiene que transferir los esfuerzos distribuidos del cementante a su alrededor. Este no es el caso en concretos con estructuras abiertas o concreto sin-finos donde los esfuerzos internos son concentrados en puntos de contacto discretos en las partículas de agregados.

El proceso de producción del concreto con agregados livianos puede ser frecuentemente más complicado que el de concreto de peso normal. Por ejemplo, es necesario tomar en consideración la absorción de agua del agregado poroso de la pasta de cemento fresco y que las partículas de agregado liviano tienen una densidad menor a la de la matriz circundante, i.e., la pasta de cemento. La absorción de agua en el agregado resulta en un incremento de la rigidez del concreto fresco en el tiempo; las partículas de agregado de baja densidad se pueden segregar al fluir a la superficie superior del concreto. Variar la densidad de las partículas cambiará también la densidad y la resistencia del concreto.

La densidad de las partículas y el contenido de agua puede variar normalmente en el tiempo por distintas razones. Sin embargo, las propiedades del concreto con agregado

liviano se deben basar en concreto, además de todos los componentes del concreto, secados al horno.

Por razones prácticas, la consistencia o trabajabilidad y la densidad del concreto recientemente compactado revelarán si la proporción de los ingredientes del concreto y sus propiedades resultan como lo esperado. Si no, puede ser necesario analizar la receta y hacer las correcciones adecuadas para una nueva mezcla de ensayo.

3.2.2.1 PASOS BÁSICOS DEL DISEÑO DE MEZCLA

El concreto es considerado un material compuesto. Para simplificar el procedimiento de diseño, los ingredientes son restringidos a dos componentes principales, es decir el cementante y las partículas o, más bien, el mortero de cemento y las partículas de agregado grueso. Se asume que los dos principales componentes interactúan el uno con el otro.

Los pasos del procedimiento de diseño y lo que se necesita para realizar los cálculos se describe a continuación.

Los Requisitos del Concreto.

- Resistencia a la compresión y densidad del concreto endurecido para el diseño de la estructura
- Consistencia o trabajabilidad para efectos de la producción y el volumen de aire atrapado.

3.2.2.2 VALOR PROMEDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL AGREGADO LIVIANO

El valor de la resistencia a la compresión se obtendrá a partir de una publicación realizada a la ignimbrita arequipeña por la ONG “Centro de Investigación, Educación y Desarrollo”, en la cual establece lo siguiente:

“Resistencia a la compresión: 94.50 Kg/cm² (estado seco), 85.50 kg/cm² (estado húmedo).” (ONG "Centro de Investigación, Educación y Desarrollo", 2012, pág. 9)

3.2.2.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL MORTERO

La resistencia del concreto es una función del volumen y de la resistencia del mortero en el concreto y de la resistencia del agregado liviano. El volumen de las partículas de

agregado liviano de 2-12 mm de tamaño debe de estar en el rango de $40 \pm 5\%$ en volumen. (Chandra & Berntsson, 2003, pág. 98)

La relación entre la resistencia del mortero, la resistencia del agregado liviano, la resistencia del concreto, y el volumen del mortero o el volumen del agregado liviano son calculados por una de las siguientes fórmulas:

$$\log f_{con} = v_{la} \cdot \log f_{la} + v_M \cdot \log f_M$$

$$\log f_M = (\log f_{con} - v_{la} \cdot \log f_{la}) / (1 - v_{la})$$

donde f_{con} es la resistencia del concreto

f_M es la resistencia del mortero

f_{la} es la resistencia del agregado liviano

v_{la} es el volumen de las partículas del agregado liviano

v_M es el volumen del mortero

Para la selección de la relación de agua – cemento es necesario aplicar la siguiente fórmula:

$$f_M = A \cdot 10^{-B \cdot W/C}$$

donde A y B son coeficientes que fueron obtenidos de manera experimental en el “Instituto Sueco para la Investigación en la Construcción”, siendo estos valores $A = 140$ y $B = 0.87$.

Ordenando la ecuación anterior se puede llegar a la fórmula escrita a continuación:

$$W/C = \log(140/f_M)/0.87$$

Es necesario determinar que la relación W/C será válida siempre y cuando tenga un valor superior a 0.30.

3.2.2.4 VOLUMEN DE LA PASTA DE CEMENTO

El volumen de la pasta de cemento o cementante en el concreto se debe de adherir a el principio de una pasta-agregado constante y deberá de ser cerca del 30% del volumen del concreto. El volumen de la pasta de cemento depende de muchos factores, por ejemplo, el tipo y forma del agregado, consistencia, estabilidad de la

mezcla de concreto, la resistencia del mortero o del concreto, y la absorción de agua del agregado liviano. De acuerdo a la experiencia aun de concreto de peso normal, el volumen de pasta de cemento o cementante debe de estar en el rango de $30 \pm 2\%$. En algunos casos, especialmente para un concreto de muy alta resistencia en el cual micro sílice sea añadida, el volumen de cementante puede alcanzar hasta 34%. El concreto con aire incorporado también influencia el volumen de pasta de cemento: el sistema de pequeñas burbujas de aire cambia las propiedades reológicas del concreto fresco y mejora positivamente la trabajabilidad. (Chandra & Berntsson, 2003, pág. 103)

3.2.2.5 CONTENIDO DE CEMENTO

El contenido de cemento se calcula usando la fórmula:

$$C = 1000 \cdot v_p / (0.31 + W/C) \text{ kg/m}^3$$

donde v_p es el volumen de pasta de cemento en el concreto.

3.2.2.6 VOLUMEN DE LA ARENA

El volumen de la arena se calcula de la fórmula:

$$v_s = 1 - (v_p + v_{la} + v_{air})$$

donde v_{la} es el volumen de agregado liviano y v_{air} es el volumen de aire en el concreto. Normalmente, el volumen de aire es 1.5–2.5% del volumen del concreto. Para concreto con aire incorporado, el volumen total de aire, ya sea medido o calculado, se usa en la fórmula. (Chandra & Berntsson, 2003, pág. 103)

Sin embargo, los autores sugieren la comprobación de los valores recomendados dado que se establecieron en base a agregados de arcilla sintetizada de alta calidad cuyas propiedades no necesariamente transferibles a otros materiales.

3.3 AJUSTES POR ABSORCIÓN Y HUMEDAD EN LOS AGREGADOS

En muy raros casos los agregados, sin importar su densidad, contarán con un estado totalmente seco. Debido a ello, es necesario realizar un ajuste debido a la humedad con la que cuentan en su interior. El peso del agregado con la corrección por humedad se hallará de la siguiente manera:

$$W_{aH} = W_a \cdot (1 + W\%/100)$$

donde W_{aH} es el peso del agregado en estado húmedo en kg.

W_a es el peso del agregado en estado seco en kg.

$W\%$ es el contenido de humedad del agregado en porcentaje.

La cantidad de agua necesaria para la mezcla deberá ser modificada de forma análoga debido al contenido de humedad que aporta cada agregado y la absorción que este puede llegar a tener.

$$A_w = W_a \cdot \left(\frac{Abs\% - W\%}{100} \right)$$

donde W_a es el peso del agregado en estado seco en kg.

$W\%$ es el contenido de humedad del agregado en porcentaje.

$Abs\%$ es la absorción de agua del agregado en porcentaje.

El valor del aporte de agua de cada agregado deberá ser añadido con su signo al volumen de agua calculado para el diseño de mezcla. En algunos casos, se establece un porcentaje máximo de absorción, inferior al total, para los agregados livianos por su rápida absorción de agua inicial:

La absorción de agua en las partículas de agregado liviano proveniente de la pasta de cemento en estado fresco es normalmente el 75 a 100% de la absorción en agua pura. Para muchos agregados livianos, el agua se absorbe muy rápidamente durante los primeros minutos de contacto con el agua. En consecuencia, puede que no sea incorrecto asumir los mismos valores para la absorción en agua durante 30 minutos o en algunas ocasiones hasta 1 hora. (Chandra & Berntsson, 2003, pág. 106)

3.4 PARÁMETROS BÁSICOS

3.4.1 TRABAJABILIDAD

“Es la facilidad que presenta el concreto fresco para ser mezclado, colocado, compactado y acabado sin segregación y exudación durante estas operaciones.” (Abanto Castillo, 2009, pág. 47)

Los factores que influyen este parámetro son:

- El método y la duración del transporte.

- Características y cantidad de los materiales.
- Consistencia del concreto.
- Forma, tamaño y textura de agregados.
- Cantidad de agua.
- Temperatura del concreto.

La trabajabilidad a su vez se encuentra relacionada a diversas propiedades como son la movilidad, segregación, exudación y consistencia; siendo esta última la indicadora de la trabajabilidad.

3.4.2 RESISTENCIA

Se emplea la resistencia a la compresión por la facilidad en la realización de los ensayos y el hecho de que la mayoría de propiedades del concreto mejoran al incrementarse esta resistencia. La resistencia en compresión del concreto es la carga máxima para una unidad de área soportada por una muestra, antes de falla por compresión (agrietamiento, rotura). (Abanto Castillo, 2009, pág. 51)

Es un ensayo que, debido a las propiedades del concreto, solo se podrá realizar cuando este haya entrado en su estado endurecido; consiste básicamente en comprimir un testigo del diseño de mezcla planteado y llevarlo a la carga máxima de soporte para luego poder conocer la falla. Mediante este procedimiento y realizando cálculos podremos conocer la resistencia del concreto. Este procedimiento se deberá realizar manteniendo los parámetros indicados en la norma ASTM C 39 de forma tal que se puede uniformizar los resultados de las roturas.

3.4.3 ECONOMÍA

La economía será uno de los factores más importantes en el diseño de una mezcla al igual que en el diseño de una estructura. Esto se debe a que la posibilidad de generar una retribución será afectada por los costos propios de cada uno de los materiales usados para poder producir el concreto, además de las cantidades totales que serán necesarias para poder culminar la estructura sin reducir los otros requisitos de la misma por debajo de los límites especificados.

CAPÍTULO 4. DISEÑOS DE MEZCLA

4.1 PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS

4.1.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Para poder realizar un correcto diseño de mezcla de concreto, es necesario poder conocer cuál es la distribución de las partículas de los agregados de acuerdo a los tamaños de las mismas.

El procedimiento requerido para la realización de este ensayo, además de los instrumentos necesarios son de carácter normado, para así poder homogeneizar los experimentos. En el Perú se encuentra ceñido a lo indicado por la NTP 400.012 y se define de la siguiente manera:

Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado. La NTP 400.012 establece el procedimiento para su determinación mediante el tamizado, obteniéndose la masa de las fracciones del agregado retenidas en cada uno de los tamices. Eventualmente se calcula la masa retenida y/o que pasa, también los porcentajes parciales y acumulados. (INDECOPI, 2006, pág. 11)

Con los resultados de realizar estos ensayos, se puede representar la data de manera gráfica a través de curvas granulométricas.

Representación gráfica de la granulometría y proporciona una visión objetiva de la distribución de tamaños del agregado. Se obtiene llevando en abscisas los logaritmos de las aberturas de los tamices y en las ordenadas los porcentajes que pasan o sus complementos a 100, que son los retenidos acumulados. (INDECOPI, 2006, pág. 9)

4.1.1.1 AGREGADO GRUESO

La determinación de las dimensiones de las partículas del agregado grueso es un paso fundamental para muchos procedimientos de diseño de mezcla, en el caso de la metodología propuesta por el comité 211 del ACI provee la información para la selección de la cantidad de agua que deberá llevar cada metro cúbico de mezcla, así como la cantidad de aire que quedará atrapado en la mezcla de forma referencial.

Se deberá utilizar un mínimo de material para la realización de cada ensayo en masa, ensayo que se verá repetido un número de 3 veces por cada lugar de muestro con el fin

de obtener los resultados más precisos posibles. Las cantidades serán definidos por la siguiente tabla:

Tabla 13: Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso o global

Tamaño Máximo Nominal Aberturas Cuadradas	Cantidad de la Muestra de Ensayo, Mínimo
mm (pulg)	kg (lb)
9,5 (3/8)	1 (2)
12,5 (1/2)	2 (4)
19,0 (3/4)	5 (11)
25,0 (1)	10 (22)
37,5 (1 ½)	15 (33)
50 (2)	20 (44)
63 (2 ½)	35 (77)
75 (3)	60 (130)
90 (3 ½)	100 (220)
100 (4)	150 (330)
125 (5)	300 (660)

Fuente: (INDECOPI, 2001, pág. 5)

Debido a ello, y al contar con agregados de un tamaño máximo de $\frac{3}{4}$ " en su mayor parte se vio por conveniente trabajar con una cantidad de muestra de 5 kg, no obstante, los resultados provistos por las pruebas realizadas demostraron que el tamaño máximo nominal del agregado grueso es del valor de $\frac{1}{2}$ " por lo que se redujo la cantidad de muestra para cada ensayo a 2 kg.

Las mallas a utilizar fueron seleccionadas de acuerdo a lo estipulado en la Tabla 6, usando los tamices indicados para la distribución de agregados para los rangos 12.5 mm a 4.75 mm y 19.0 mm a 4.75 mm:

- 1 in
- $\frac{3}{4}$ in
- $\frac{1}{2}$ in
- $\frac{3}{8}$ in
- No. 4
- No. 8

Los límites establecidos como superior e inferior para cada uno de los tamices granulométricos fueron tomados de acuerdo a lo estipulado en la norma ASTM C 330 para agregados livianos.

Análisis Granulométrico: Agregado Grueso – Alpha

Material: Ignimbrita

Tabla 14: Ensayo Granulométrico Grueso 1 (Alpha 1)

Tamiz N°	Abertura	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
1"	25.0	0.0	0.0%	0.0%	100.0%
3/4"	19.0	4.7	0.1%	0.1%	99.9%
1/2"	12.5	1022.2	20.4%	20.5%	79.5%
3/8"	9.5	1486.4	29.7%	50.3%	49.7%
N° 4	4.75	2259.4	45.2%	95.5%	4.5%
N° 8	2.36	118.5	2.4%	97.8%	2.2%
Fondo		107.5	2.2%	100.0%	
		4998.7	Mf	6.44	

Fuente: Elaboración Propia

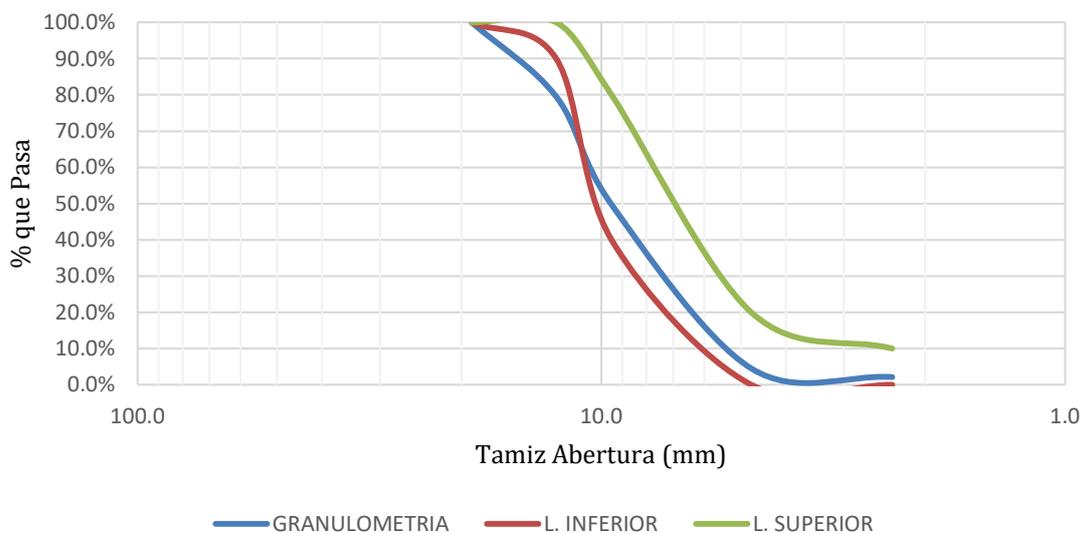


Ilustración 3: Curva Granulométrica Grueso 1 (Alpha 1)

Fuente: Elaboración Propia

Análisis Granulométrico: Agregado Grueso – Alpha

Material: Ignimbrita

Tabla 15: Análisis Granulométrico Grueso 2 (Alpha 2)

Tamiz N°	Abertura	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
1"	25.0	12.7	0.3%	0.3%	99.7%
3/4"	19.0	17.4	0.3%	0.6%	99.4%
1/2"	12.5	1546.3	30.9%	31.5%	68.5%
3/8"	9.5	1423.1	28.5%	60.0%	40.0%
N° 4	4.75	1828.9	36.6%	96.6%	3.4%
N° 8	2.36	61.9	1.2%	97.8%	2.2%
Fondo		109.3	2.2%	100.0%	
		4999.6	Mf	6.55	

Fuente: Elaboración Propia

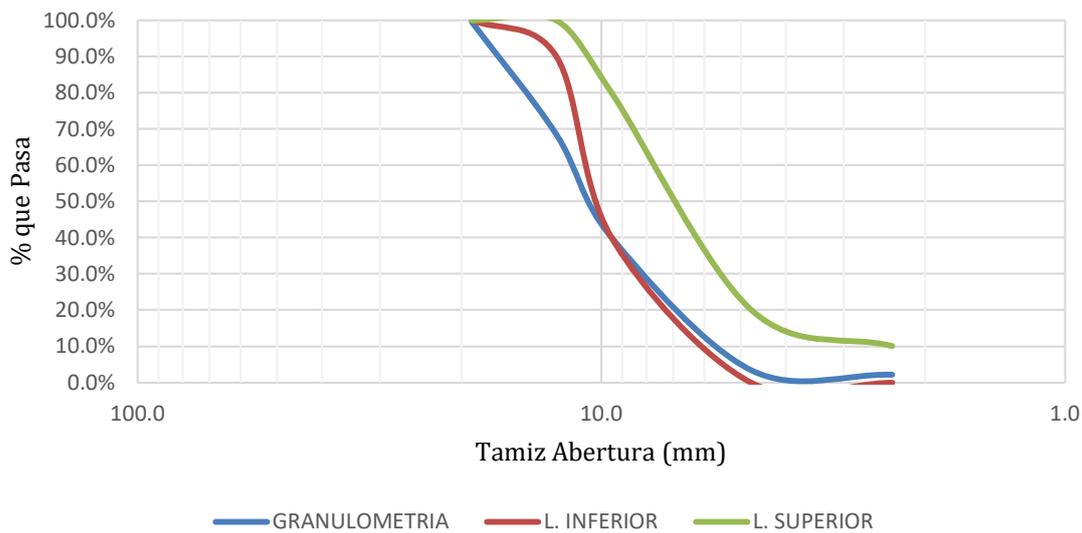


Ilustración 4: Curva Granulométrica Grueso 2 (Alpha 2)

Fuente: Elaboración Propia

Análisis Granulométrico: Agregado Grueso – Alpha

Material: Ignimbrita

Tabla 16: Análisis Granulométrico Grueso 3 (Alpha 3)

Tamiz N°	Abertura	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
1"	25.0	0.0	0.0%	0.0%	100.0%
3/4"	19.0	4.7	0.1%	0.1%	99.9%
1/2"	12.5	895.5	17.9%	18.0%	82.0%
3/8"	9.5	1529.9	30.6%	48.6%	51.4%
N° 4	4.75	2318.1	46.4%	95.0%	5.0%
N° 8	2.36	133.4	2.7%	97.6%	2.4%
Fondo		118.6	2.4%	100.0%	
		5000.2	Mf	6.41	

Fuente: Elaboración Propia

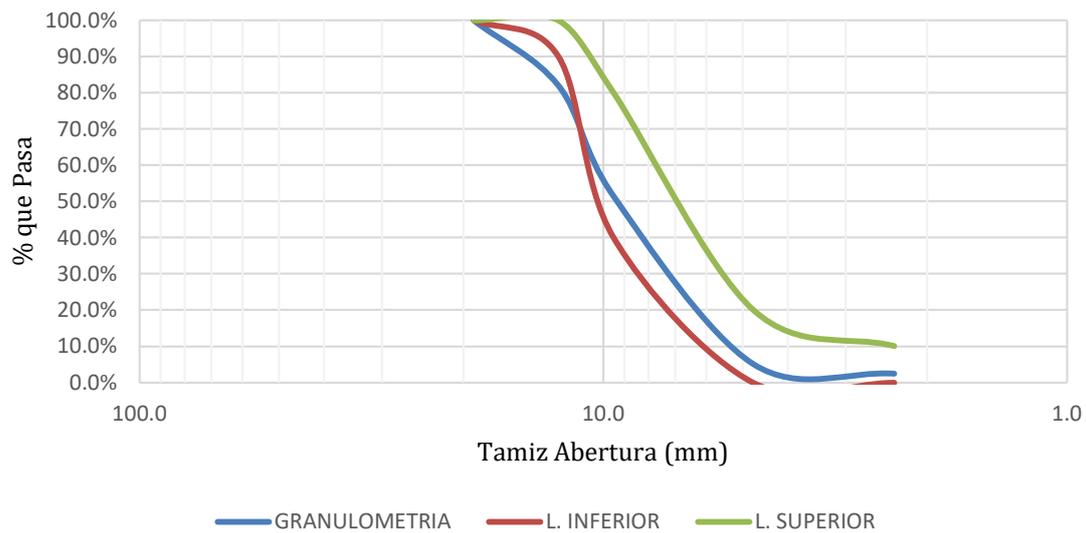


Ilustración 5: Curva Granulométrica Grueso 3 (Alpha 3)

Fuente: Elaboración Propia

Análisis Granulométrico: Agregado Grueso – Bravo

Material: Ignimbrita

Tabla 17: Análisis Granulométrico Grueso 4 (Bravo 1)

Tamiz N°	Abertura	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
1"	25.0	0.0	0.0%	0.0%	100.0%
3/4"	19.0	60.2	1.2%	1.2%	98.8%
1/2"	12.5	1397.7	28.0%	29.2%	70.8%
3/8"	9.5	1147.5	23.0%	52.1%	47.9%
N° 4	4.75	2007.4	40.1%	92.3%	7.7%
N° 8	2.36	192.7	3.9%	96.1%	3.9%
Fondo		194.3	3.9%	100.0%	
		4999.8	Mf	6.42	

Fuente: Elaboración Propia

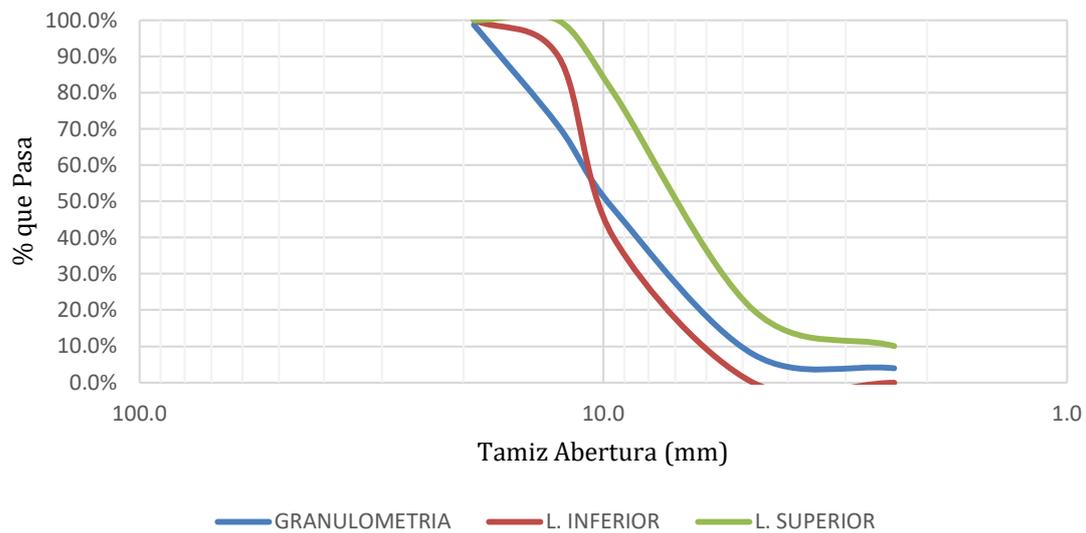


Ilustración 6: Curva Granulométrica Grueso 4 (Bravo 1)

Fuente: Elaboración Propia

Análisis Granulométrico: Agregado Grueso – Bravo

Material: Ignimbrita

Tabla 18: Análisis Granulométrico Grueso 5 (Bravo 2)

Tamiz N°	Abertura	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
1"	25.0	0.0	0.0%	0.0%	100.0%
3/4"	19.0	9.7	0.5%	0.5%	99.5%
1/2"	12.5	711.6	35.6%	36.1%	63.9%
3/8"	9.5	514.2	25.7%	61.8%	38.2%
N° 4	4.75	665.7	33.3%	95.1%	4.9%
N° 8	2.36	28.7	1.4%	96.5%	3.5%
Fondo		69.7	3.5%	100.0%	
		1999.6	Mf	6.54	

Fuente: Elaboración Propia

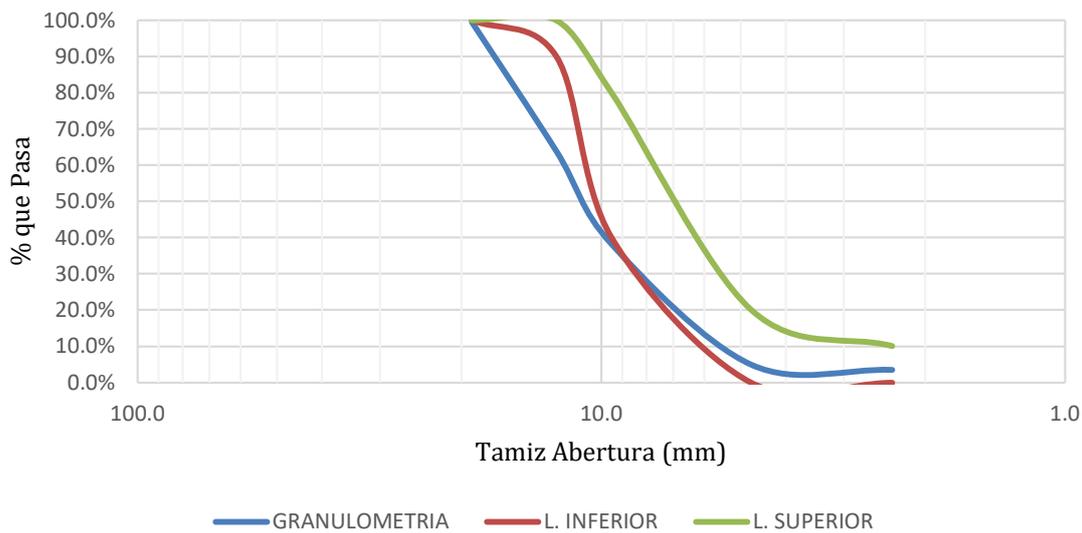


Ilustración 7: Curva Granulométrica Grueso 5 (Bravo 2)

Fuente: Elaboración Propia

Análisis Granulométrico: Agregado Grueso – Bravo

Material: Ignimbrita

Tabla 19: Análisis Granulométrico Grueso 6 (Bravo 3)

Tamiz N°	Abertura	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
1"	25.0	0.0	0.0%	0.0%	100.0%
3/4"	19.0	22.6	1.1%	1.1%	98.9%
1/2"	12.5	531.5	26.6%	27.7%	72.3%
3/8"	9.5	479.1	24.0%	51.7%	48.3%
N° 4	4.75	816.5	40.8%	92.5%	7.5%
N° 8	2.36	70.6	3.5%	96.0%	4.0%
Fondo		79.5	4.0%	100.0%	
		1999.8	Mf	6.41	

Fuente: Elaboración Propia

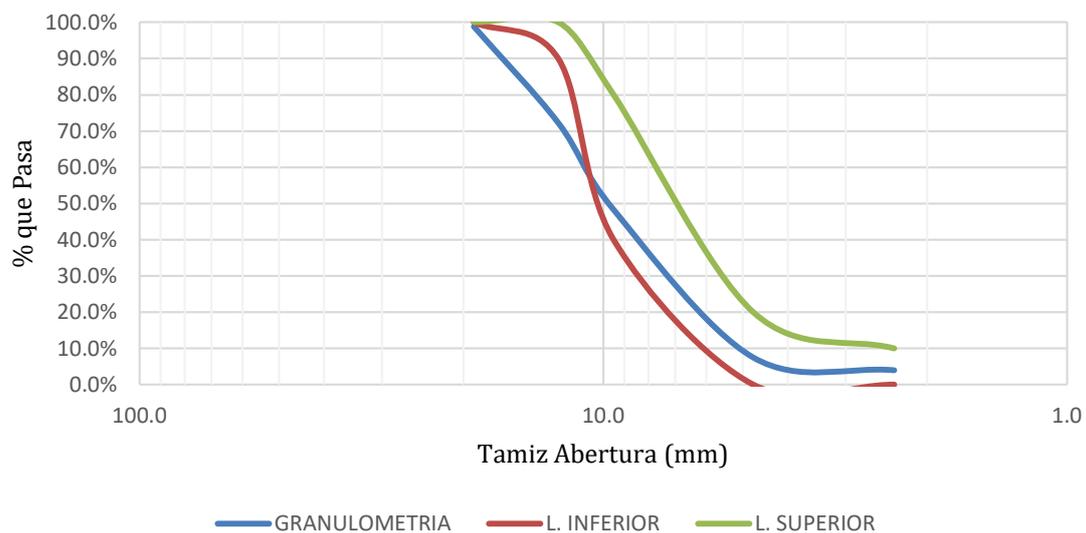


Ilustración 8: Curva Granulométrica Grueso 6 (Bravo 3)

Fuente: Elaboración Propia

Análisis Granulométrico: Agregado Grueso – Charlie

Material: Ignimbrita

Tabla 20: Análisis Granulométrico Grueso 7 (Charlie 1)

Tamiz N°	Abertura	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
1"	25.0	0.0	0.0%	0.0%	100.0%
3/4"	19.0	50.5	0.6%	0.6%	99.4%
1/2"	12.5	646.7	31.2%	31.7%	68.3%
3/8"	9.5	424.7	26.0%	57.8%	42.2%
N° 4	4.75	786.4	37.7%	95.5%	4.5%
N° 8	2.36	33.0	0.7%	96.1%	3.9%
Fondo		58.6	3.9%	100.0%	
		1999.0	Mf	6.50	

Fuente: Elaboración Propia

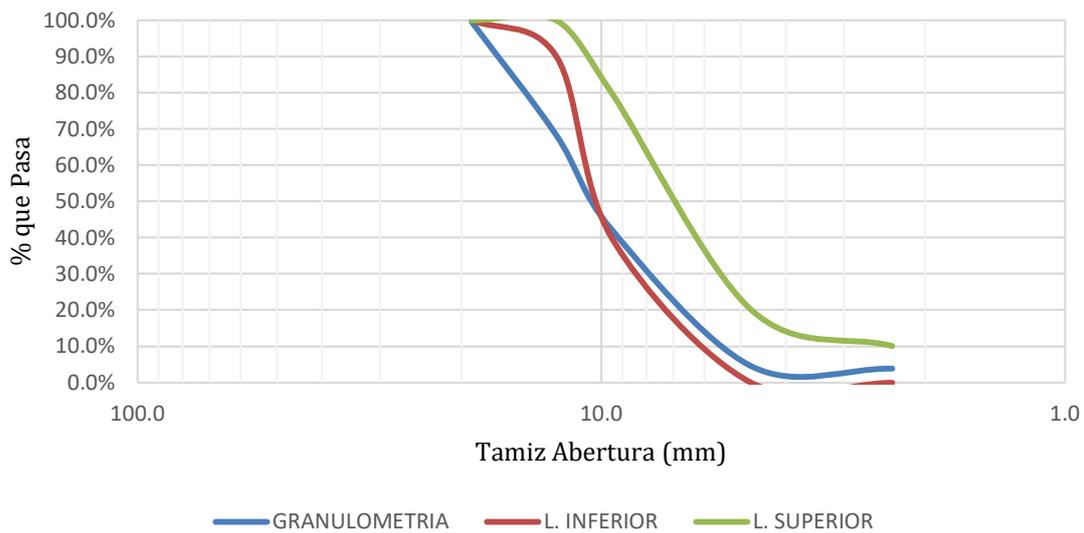


Ilustración 9: Curva Granulométrica 7 (Charlie 1)

Fuente: Elaboración Propia

Análisis Granulométrico: Agregado Grueso – Charlie

Material: Ignimbrita

Tabla 21: Análisis Granulométrico Grueso 8 (Charlie 2)

Tamiz N°	Abertura	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
1"	25.0	0.0	0.0%	0.0%	100.0%
3/4"	19.0	11.1	0.6%	0.6%	99.4%
1/2"	12.5	497.6	24.9%	25.4%	74.6%
3/8"	9.5	515.2	25.8%	51.2%	48.8%
N° 4	4.75	879.0	44.0%	95.2%	4.8%
N° 8	2.36	34.3	1.7%	96.9%	3.1%
Fondo		62.5	3.1%	100.0%	
		1999.7	Mf	6.44	

Fuente: Elaboración Propia

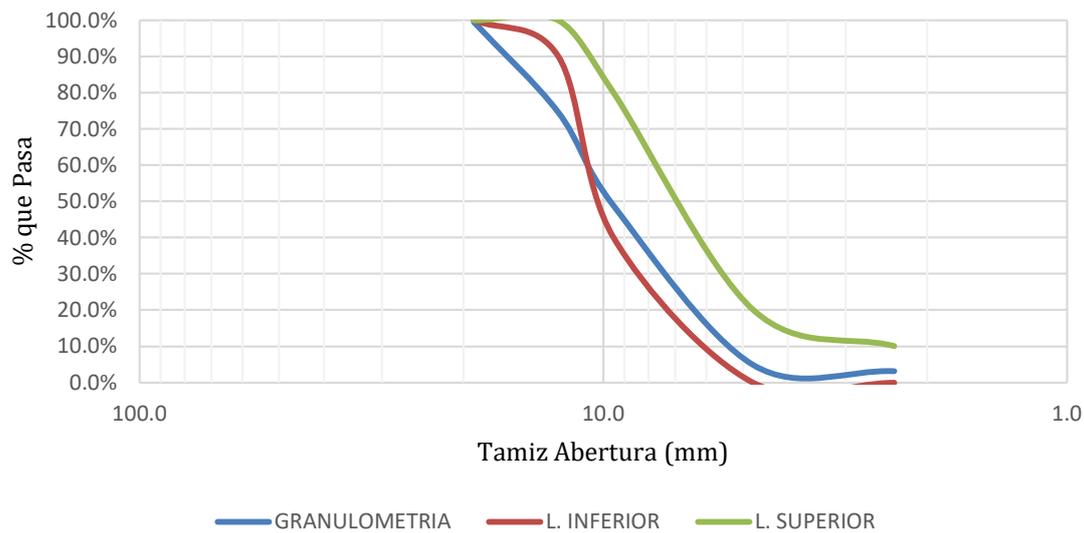


Ilustración 10: Curva Granulométrica Grueso 8 (Charlie 2)

Fuente: Elaboración Propia

Análisis Granulométrico: Agregado Grueso – Charlie

Material: Ignimbrita

Tabla 22: Análisis Granulométrico Grueso 9 (Charlie 3)

Tamiz N°	Abertura	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
1"	25.0	0.0	0.0%	0.0%	100.0%
3/4"	19.0	17.5	0.9%	0.9%	99.1%
1/2"	12.5	547.4	27.4%	28.2%	71.8%
3/8"	9.5	459.5	23.0%	51.2%	48.8%
N° 4	4.75	867.2	43.4%	94.6%	5.4%
N° 8	2.36	46.3	2.3%	96.9%	3.1%
Fondo		62.1	3.1%	100.0%	
		2000.0	Mf	6.44	

Fuente: Elaboración Propia

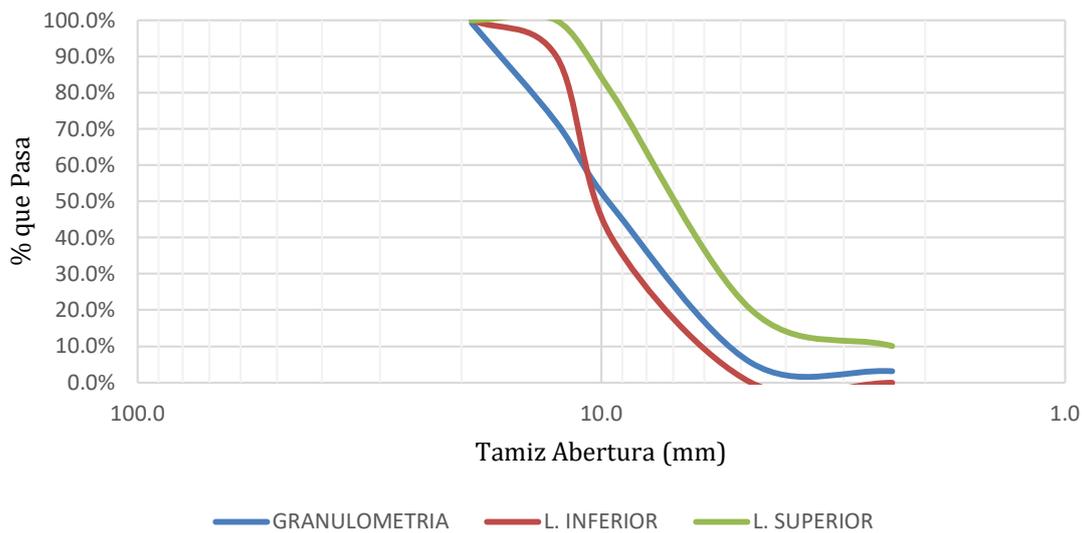


Ilustración 11: Curva Granulométrica Grueso 9 (Charlie 3)

Fuente: Elaboración Propia

Análisis Granulométrico: Agregado Grueso – Delta

Material: Ignimbrita

Tabla 23: Análisis Granulométrico Grueso 10 (Delta 1)

Tamiz N°	Abertura	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
1"	25.0	0.0	0.0%	0.0%	100.0%
3/4"	19.0	11.5	0.6%	0.6%	99.4%
1/2"	12.5	622.9	31.2%	31.7%	68.3%
3/8"	9.5	520.6	26.0%	57.8%	42.2%
N° 4	4.75	753.7	37.7%	95.5%	4.5%
N° 8	2.36	13.3	0.7%	96.1%	3.9%
Fondo		77.0	3.9%	100.0%	
		1999.0	Mf	6.50	

Fuente: Elaboración Propia

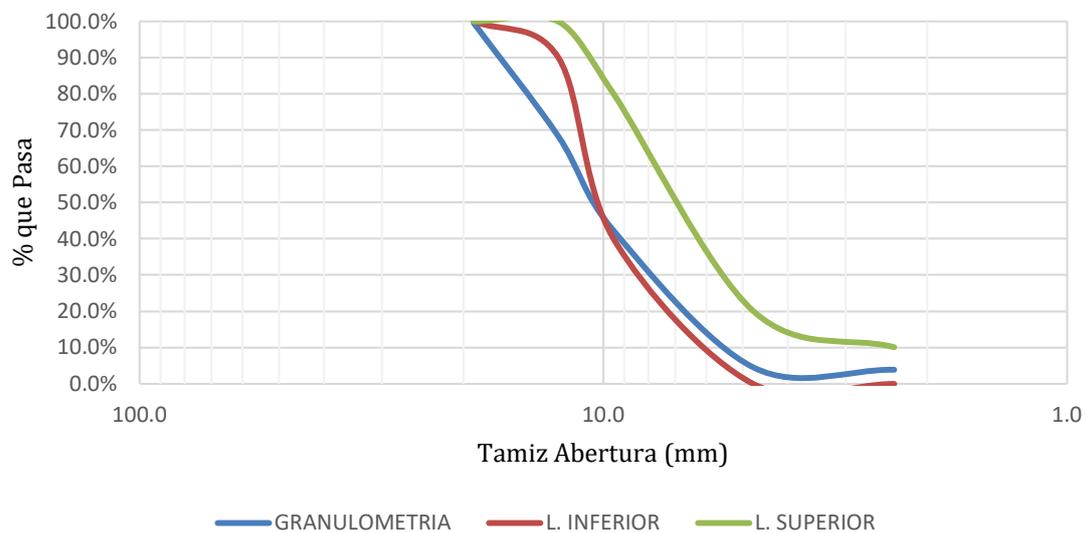


Ilustración 12: Curva Granulométrica Grueso 10 (Delta 1)

Fuente: Elaboración Propia

Análisis Granulométrico: Agregado Grueso – Delta

Material: Ignimbrita

Tabla 24: Análisis Granulométrico Grueso 11 (Delta 2)

Tamiz N°	Abertura	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
1"	25.0	0.0	0.0%	0.0%	100.0%
3/4"	19.0	7.6	0.4%	0.4%	99.6%
1/2"	12.5	484.0	24.2%	24.6%	75.4%
3/8"	9.5	539.3	27.0%	51.6%	48.4%
N° 4	4.75	871.6	43.6%	95.1%	4.9%
N° 8	2.36	20.0	1.0%	96.1%	3.9%
Fondo		77.0	3.9%	100.0%	
		1999.5	Mf	6.43	

Fuente: Elaboración Propia

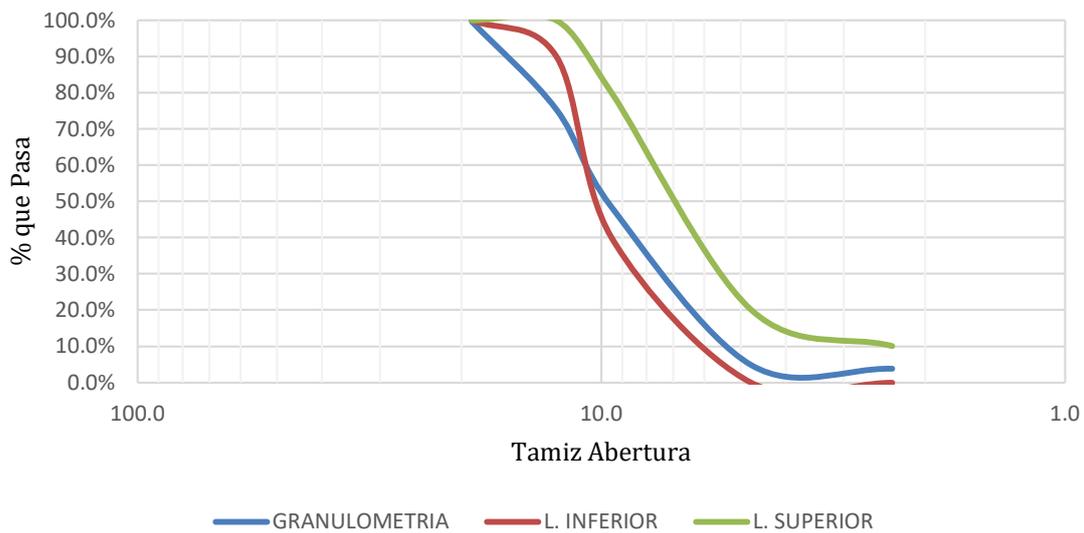


Ilustración 13: Curva Granulométrica Grueso (Delta 2)

Fuente: Elaboración Propia

Análisis Granulométrico: Agregado Grueso – Delta

Material: Ignimbrita

Tabla 25: Análisis Granulométrico Grueso 12 (Delta 3)

Tamiz N°	Abertura	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
1"	25.0	0.0	0.0%	0.0%	100.0%
3/4"	19.0	19.1	1.0%	1.0%	99.0%
1/2"	12.5	534.1	26.7%	27.7%	72.3%
3/8"	9.5	537.6	26.9%	54.6%	45.4%
N° 4	4.75	808.9	40.5%	95.0%	5.0%
N° 8	2.36	14.7	0.7%	95.8%	4.2%
Fondo		84.6	4.2%	100.0%	
		1999.0	Mf	6.46	

Fuente: Elaboración Propia

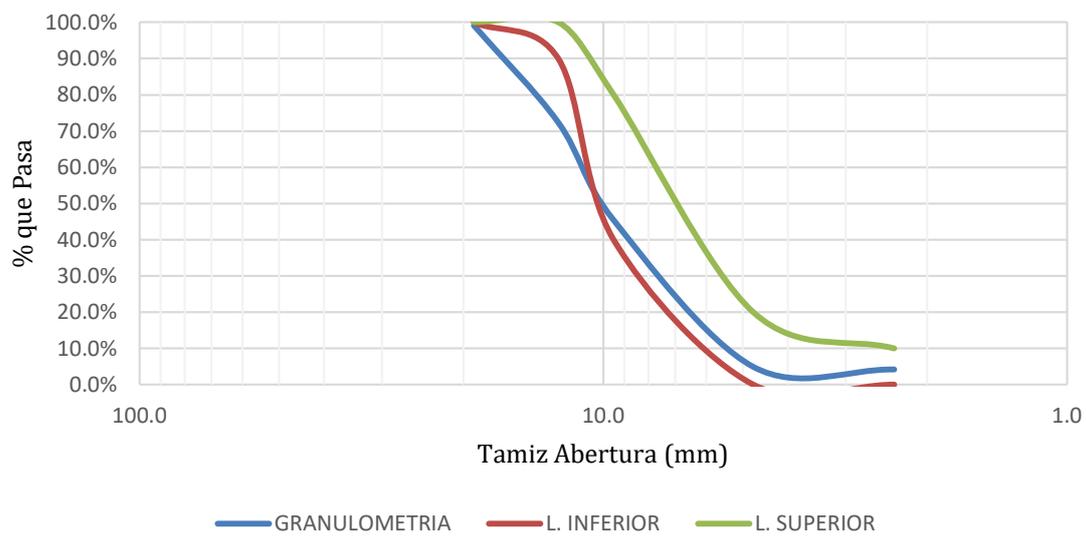


Ilustración 14: Curva Granulométrica Grueso (Delta 3)

Fuente: Elaboración Propia

Análisis Granulométrico: Agregado Grueso – Ecco

Material: Ignimbrita

Tabla 26: Análisis Granulométrico Grueso 13 (Ecco 1)

Tamiz N°	Abertura	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
1"	25.0	0.0	0.0%	0.0%	100.0%
3/4"	19.0	39.4	2.0%	2.0%	98.0%
1/2"	12.5	716.0	35.8%	37.8%	62.2%
3/8"	9.5	485.7	24.3%	62.1%	37.9%
N° 4	4.75	626.3	31.3%	93.4%	6.6%
N° 8	2.36	78.3	3.9%	97.3%	2.7%
Fondo		53.4	2.7%	100.0%	
		1999.1	Mf	6.55	

Fuente: Elaboración Propia

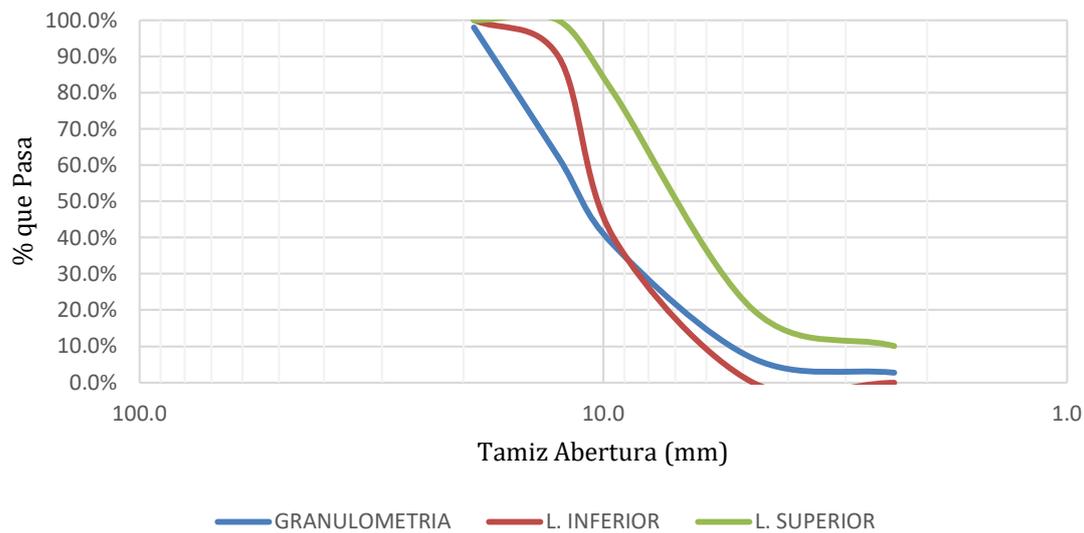


Ilustración 15: Curva Granulométrica Grueso (Ecco 1)

Fuente: Elaboración Propia

Análisis Granulométrico: Agregado Grueso – Ecco

Material: Ignimbrita

Tabla 27: Análisis Granulométrico Grueso 14 (Ecco 2)

Tamiz N°	Abertura	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
1"	25.0	0.0	0.0%	0.0%	100.0%
3/4"	19.0	25.8	1.3%	1.3%	98.7%
1/2"	12.5	532.1	26.6%	27.9%	72.1%
3/8"	9.5	458.1	22.9%	50.8%	49.2%
N° 4	4.75	810.3	40.5%	91.3%	8.7%
N° 8	2.36	114.4	5.7%	97.0%	3.0%
Fondo		59.0	3.0%	100.0%	
		1999.7	Mf	6.40	

Fuente: Elaboración Propia

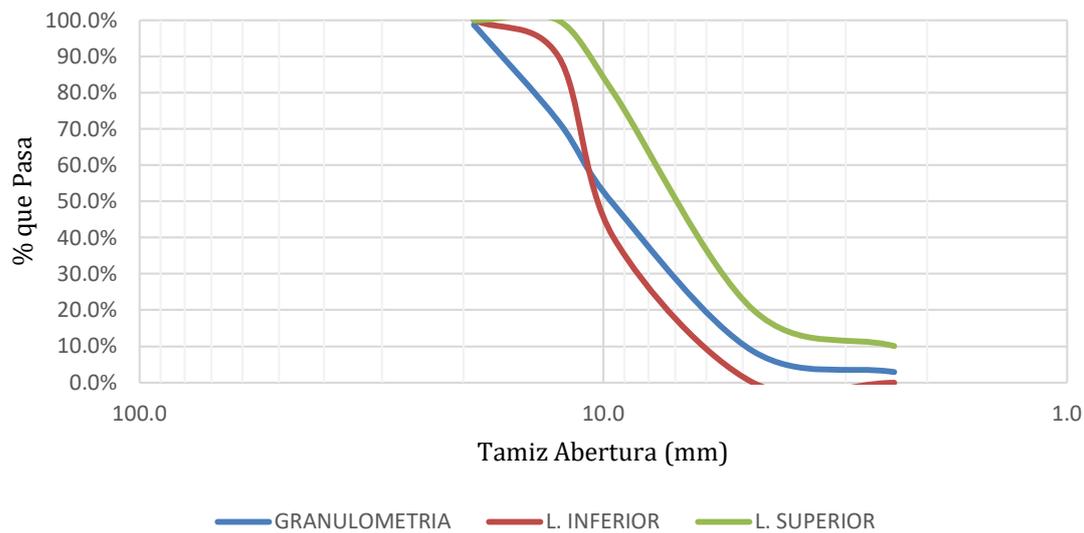


Ilustración 16: Curva Granulométrica Grueso (Ecco 2)

Fuente: Elaboración Propia

Análisis Granulométrico: Agregado Grueso – Ecco

Material: Ignimbrita

Tabla 28: Análisis Granulométrico Grueso 15 (Ecco 3)

Tamiz N°	Abertura	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acum.	% Pasante
1"	25.0	0.0	0.0%	0.0%	100.0%
3/4"	19.0	35.8	1.8%	1.8%	98.2%
1/2"	12.5	575.9	28.8%	30.6%	69.4%
jdp3/8"	9.5	518.8	26.0%	56.6%	43.4%
N° 4	4.75	757.0	37.9%	94.4%	5.6%
N° 8	2.36	63.1	3.2%	97.6%	2.4%
Fondo		48.1	2.4%	100.0%	
		1998.7	Mf	6.50	

Fuente: Elaboración Propia

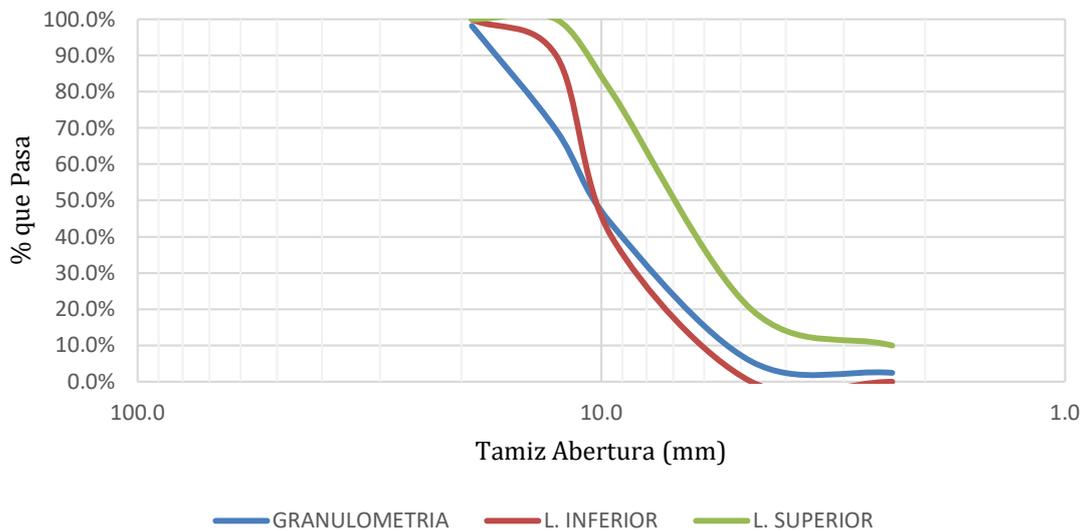


Ilustración 17: Curva Granulométrica Grueso (Ecco 3)

Fuente: Elaboración Propia

4.1.1.2 AGREGADO FINO

Se deberá utilizar un mínimo de material de agregado fino seco de 300gr para poder realizar este ensayo.

De acuerdo a la NTP 400.037 podemos conocer los tamices a utilizar, los cuales serán colocados de forma decreciente a modo que podamos determinar la calidad del agregado fino.

Tabla 29: Análisis granulométrico del agregado fino

Tamiz	Porcentaje que pasa
9,5 mm (3/8 pulg.)	100
4,75 mm (No. 4)	95 a 100
2,36 mm (No. 8)	80 a 100
1,18 mm (No. 16)	50 a 85
600 µm (No. 30)	25 a 60
300 µm (No. 50)	05 a 30
150 µm (No. 100)	0 a 10

Fuente: (INDECOPI, 2014, pág. 8)

Para este ensayo utilizaremos el agitador de tamices, el cual realiza un movimiento a una velocidad de 150 veces por min. girando el tamiz un sexto de una revolución por cada 25 golpes según lo establecido en la NTP 400.012.

“ El agregado fino no tendrá más de 45% entre dos mallas consecutivas de las que se muestran en la tabla 28 y su módulo de fineza no será menor de 2,3 ni mayor de 3,1.” (INDECOPI, 2014, pág. 8)

El módulo de fineza es un valor que nos representa una idea sobre la finura y el grosor del agregado; este se calcula a partir de la suma de porcentajes acumulados de diversas mallas entre 100 como se muestra en la siguiente ecuación:

$$M. F. Ag. Fino = \frac{\sum \% Ret. Acum.de las Mallas(\#100,\#50,\#30,\#16,\#8,\#4,3/8",3/4",1 1/2",3",6")}{100}$$

De acuerdo a lo establecido anteriormente se puede determinar el uso del agregado para diversos tipos de concreto según parámetros del módulo de fineza; el concreto puede ser de alta resistencia teniendo como parámetros 2.8 a 3.1 o un concreto de buena trabajabilidad y reducida segregación, el cual se establece entre 2.2 a 2.8 del módulo de fineza.

Análisis Granulométrico: Agregado Fino – Ensayo 1

Material: Arena Gruesa

Tabla 30: Análisis Granulométrico 1

Tamiz N°	Abertura	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
3/8"	9.5	7.9	1.6%	1.6%	98.4%
N° 4	4.75	51.2	10.2%	11.8%	88.2%
N° 8	2.36	81.5	16.3%	28.1%	71.9%
N° 16	1.18	59.2	11.8%	40.0%	60.0%
N° 30	0.600	58.2	11.6%	51.6%	48.4%
N° 50	0.300	78.4	15.7%	67.3%	32.7%
N° 100	0.150	102.7	20.6%	87.9%	12.1%
N° 200	0.075	34.1	6.8%	94.7%	5.3%
FONDO		26.4	5.3%	100.0%	
		499.6	Mf	2.88	

Fuente: Elaboración Propia

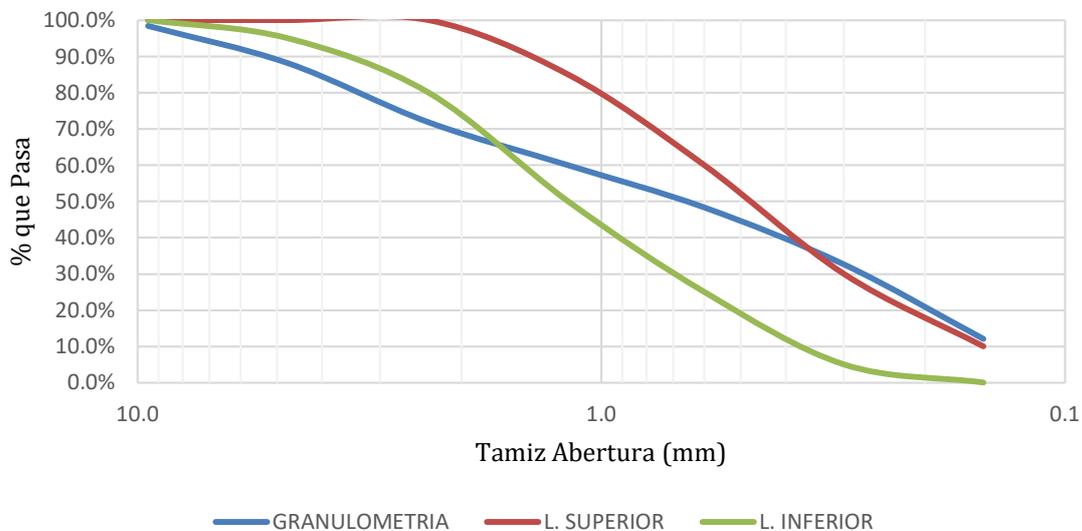


Ilustración 18: Curva Granulométrica Fino 1

Fuente: Elaboración Propia

Análisis Granulométrico: Agregado Fino – Ensayo 2

Material: Arena Gruesa

Tabla 31: Análisis Granulométrico 2

Tamiz N°	Abertura	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
3/8"	9.5	0.0	0.0%	0.0%	100.0%
N° 4	4.75	39.0	7.8%	7.8%	92.2%
N° 8	2.36	61.4	12.3%	20.1%	79.9%
N° 16	1.18	55.3	11.1%	31.2%	68.8%
N° 30	0.600	59.2	11.9%	43.1%	56.9%
N° 50	0.300	78.4	15.7%	58.8%	41.2%
N° 100	0.150	117.7	23.6%	82.4%	17.6%
N° 200	0.075	68.9	13.8%	96.2%	3.8%
FONDO		18.9	3.8%	100.0%	
		498.8	Mf	2.43	

Fuente: Elaboración Propia

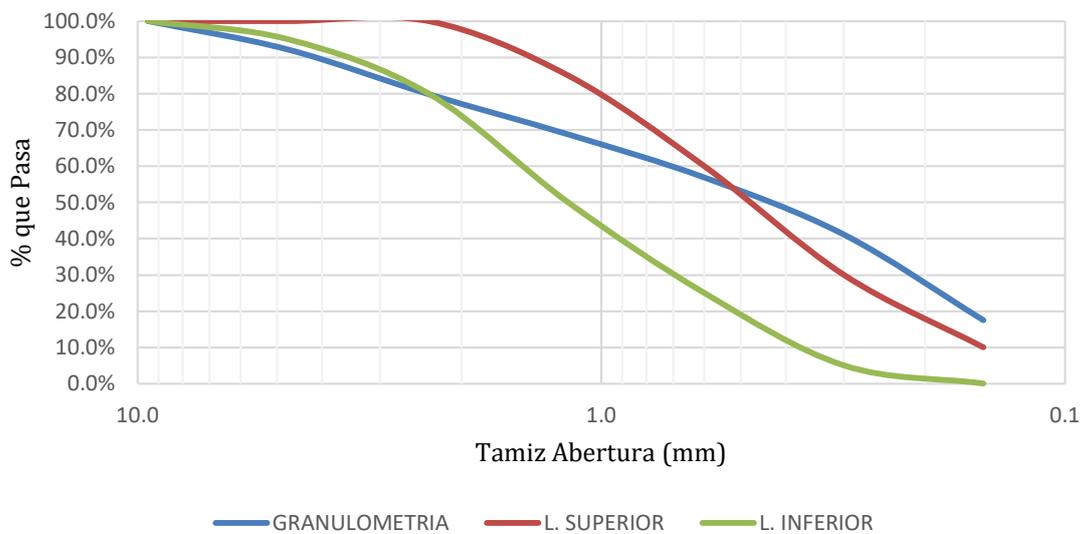


Ilustración 19: Curva Granulométrica Fino 2

Fuente: Elaboración Propia

Análisis Granulométrico: Agregado Fino – Ensayo 3

Material: Arena Gruesa

Tabla 32: Análisis Granulométrico 3

Tamiz N°	Abertura	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
3/8"	9.5	7.1	1.4%	1.4%	98.6%
N° 4	4.75	54.7	11.0%	12.4%	87.6%
N° 8	2.36	77.1	15.4%	27.8%	72.2%
N° 16	1.18	56.6	11.3%	39.2%	60.8%
N° 30	0.600	55.9	11.2%	50.4%	49.6%
N° 50	0.300	71.7	14.4%	64.7%	35.3%
N° 100	0.150	91.5	18.3%	83.1%	16.9%
N° 200	0.075	73.0	14.6%	97.7%	2.3%
FONDO		11.6	2.3%	100.0%	
		499.2	Mf	2.79	

Fuente: Elaboración Propia

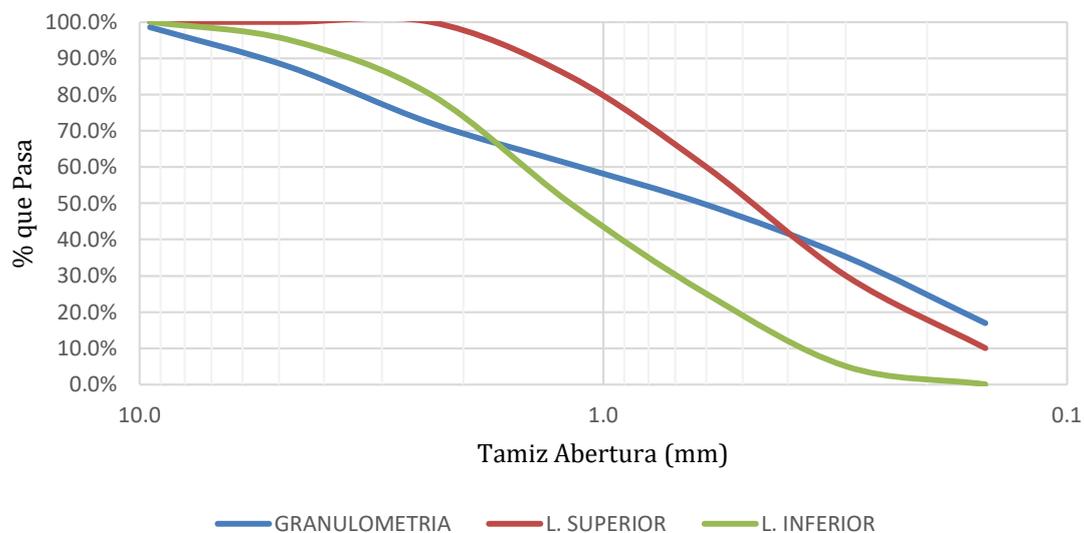


Ilustración 20: Curva Granulométrica Fino 3

Fuente: Elaboración Propia

Módulo de Fineza: Agregado Fino

Material: Arena Gruesa

Tabla 33: Resultados Módulo de Fineza Agregado Fino

Ensayo	Módulo de Fineza	Tipo de Concreto
Ensayo 1	2.88	Ideal para concreto de buena trabajabilidad y reducida segregación.
Ensayo 2	2.43	Ideal para concreto de buena trabajabilidad y reducida segregación.
Ensayo 3	2.79	Ideal para concreto de buena trabajabilidad y reducida segregación

Fuente: Elaboración Propia

Módulo de Fineza Promedio

$$M.F. Promedio = \frac{M.F. e1 + M.F. e2 + M.F. e3}{3}$$

$$M.F. Promedio = \frac{2.88 + 2.43 + 2.79}{3}$$

$$M.F. Promedio = 2.7$$

Por lo tanto, se puede determinar que el agregado fino a utilizar en la presente investigación es ideal para un concreto con buena trabajabilidad y reducida segregación.

4.1.2 PESO UNITARIO

También conocido como densidad de masa, es una propiedad física de los agregados la cual es definida de la siguiente forma en las normas utilizadas en el Perú:

“Masa de una unidad de volumen de la masa material del agregado, en que el volumen incluye el volumen de las partículas individuales y el volumen de vacíos entre partículas, expresado en kg/m^3 .” (INDECOPI, 2011, pág. 3)

En otras palabras, se trata en la relación de la masa de los agregados por cada unidad de volumen cuando se considera no sólo la parte sólida, cuenta también con el volumen de aire que se forma entre las partículas de agregados al acomodarse ellos, y los vacíos de aire que se encuentran en el interior de cada partícula de agregado debido a las porosidades con las que cuenta.

4.1.2.1 PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO

Fue necesario la realización de los ensayos de Peso Unitario Suelto (PUS) y Peso Unitario Compactado (PUC) del agregado, en este caso arena gruesa e ignimbrita. Para ello se utilizó los materiales y el método descritos por la norma NTP 400.017.

Para el desarrollo del ensayo se utilizó un recipiente con un volumen listado de 0.0028 m³ o de 1/10 ft³, el cual al ser medido se comprobó las dimensiones señaladas.

Para el desarrollo del ensayo de PUS se procedió a llenar el recipiente con arena gruesa o ignimbrita hasta sobrepasar ligeramente el borde superior para luego ser nivelado y ser pesado el recipiente en conjunto con el material.

Por otro lado, en el caso del PUC se decidió trabajar por el “Procedimiento de Apisonado”, descrito en la norma NTP 400.017, el cual indica que se deberá proceder a llenar el recipiente inicialmente a un tercio de su capacidad para ser luego apisonado el material con una varilla de apisonado usando 25 golpes. Se repitió este procedimiento para el segundo tercio y nuevamente para la última capa, considerando que esta debía ser llenada en exceso para luego ser nivelada de la misma manera que en el caso del PUS y luego pesado todo el conjunto de recipiente y material.

En ambos casos se realizaron tres ensayos para poder obtener valores promedios del agregado fino y grueso.

Tabla 34: Dimensiones del Recipiente de PUC y PUS

Dimensiones		
Alto	15.40	cm
Diámetro	15.30	cm
Volumen	0.002831	m ³
Peso	1.61	kg

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se detallan los resultados obtenidos de realizar la experimentación anteriormente descrita.

$$P.U. = \frac{P_{R+M} - P_R}{V_R}$$

donde $P.U.$ es el peso unitario en kg/m³.

P_{R+M} es el peso del recipiente con la muestra en kg.

P_R es el peso del recipiente en kg.

V_R es el volumen del recipiente en m^3 .

Ensayo: Peso Unitario Suelto y Compactado

Material: Agregado Fino – Ensayo 1

Tabla 35: PUS Agregado Fino 1

Peso Unitario Suelto		
Peso Recipiente	1.6055	kg
Peso Muestra + Recipiente	6.2155	kg
Peso Muestra	4.6100	kg
P.U.S.	1628.20	kg/m ³

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 36: PUC Agregado Fino 1

Peso Unitario Compactado		
Peso Recipiente	1.6055	kg
Peso Muestra + Recipiente	6.6520	kg
Peso Muestra	5.0465	kg
P.U.C.	1782.37	kg/m ³

Fuente: Elaboración Propia

Ensayo: Peso Unitario Suelto y Compactado

Material: Agregado Fino – Ensayo 2

Tabla 37: PUS Agregado Fino 2

Peso Unitario Suelto		
Peso Recipiente	1.6055	kg
Peso Muestra + Recipiente	6.3010	kg
Peso Muestra	4.6955	kg
P.U.S.	1658.40	kg/m ³

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 38: PUC Agregado Fino 2

Peso Unitario Compactado		
Peso Recipiente	1.6055	kg
Peso Muestra + Recipiente	6.6750	kg
Peso Muestra	5.0695	kg
P.U.C.	1790.49	kg/m ³

Fuente: Elaboración Propia

Ensayo: Peso Unitario Suelto y Compactado

Material: Agregado Fino – Ensayo 3

Tabla 39: PUS Agregado Fino 3

Peso Unitario Suelto		
Peso Recipiente	1.6055	kg
Peso Muestra + Recipiente	6.3190	kg
Peso Muestra	4.7135	kg
P.U.S.	1664.75	kg/m ³

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 40: PUC Agregado Fino 3

Peso Unitario Compactado		
Peso Recipiente	1.6055	kg
Peso Muestra + Recipiente	6.7445	kg
Peso Muestra	5.1390	kg
P.U.C.	1815.04	kg/m ³

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 41: Peso Unitario Suelto y Compactado - Agregado Grueso

		COMPACTADO			SUELTO		
		Peso Total	Peso Muestra	Peso Unitario	Peso Total	Peso Muestra	Peso Unitario
Alpha	Muestra 1	3974.0	2248.5	804.63	3794.5	2069.0	740.39
	Muestra 2	3972.5	2247.0	804.09	3785.0	2059.5	736.99
	Muestra 3	3973.5	2248.0	804.45	3737.5	2012.0	720.00
Bravo	Muestra 1	3973.0	2247.5	804.27	3794.0	2068.5	740.21
	Muestra 2	3989.5	2264.0	810.17	3792.5	2067.0	739.68
	Muestra 3	4019.5	2294.0	820.91	3812.5	2087.0	746.84
Charlie	Muestra 1	3986.5	2261.0	809.10	3742.0	2016.5	721.61
	Muestra 2	4011.0	2285.5	817.87	3691.0	1965.5	703.36
	Muestra 3	4015.5	2290.0	819.48	3792.5	2067.0	739.68
Delta	Muestra 1	4067.0	2341.5	837.91	3765.5	2040.0	730.02
	Muestra 2	4160.5	2435.0	871.37	3790.5	2065.0	738.96
	Muestra 3	4100.0	2374.5	849.72	3846.0	2120.5	758.82
Ecco	Muestra 1	3945.0	2219.5	794.25	3950.5	2225.0	796.22
	Muestra 2	4117.0	2391.5	855.80	3890.0	2164.5	774.57
	Muestra 3	4090.0	2364.5	846.14	3805.0	2079.5	744.15

Fuente: Elaboración Propia

4.1.3 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

4.1.3.1 AGREGADO GRUESO

Las consideraciones para el procedimiento de este ensayo se encuentran descritas en la NTP 400.021 “Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso”; dicha norma también se aplica también para encontrar los valores de peso específico seco, peso específico saturado superficialmente seco, aparente y absorción y todo esto con la finalidad de obtener valores que nos permitan corregir los diseños de mezclas a plantear así como controlar la uniformidad de características físicas.

“Este método de ensayo no es aplicable para agregados livianos por cuanto con la inmersión en agua por 24 horas, no asegura que los poros se llenen completamente, lo cual es un requisito necesario para poderlo aplicar eficientemente.” (INDECOPI, 2002, pág. 2)

De acuerdo a lo establecido en la cita anterior la presente metodología no debería ser aplicable en esta investigación debido a que el agregado grueso (ignimbrita) es considerado como un agregado liviano sin embargo no se encuentra ninguna normativa en la Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI que especifique el

debido procedimiento para este tipo de agregados; por lo tanto, se procedió a trabajar con esta normativa.

PROCEDIMIENTO

- La NTP 400.021 nos determina el peso mínimo de la muestra para realizar el ensayo, el cual depende del tamaño máximo nominal de nuestro agregado siendo este $\frac{1}{2}$ "; por lo tanto, la muestra será de 2kg.

Tabla 42: Peso mínimo de la muestra de ensayo

Tamaño máximo nominal mm (pulg)	Peso mínimo de la muestra de ensayo kg (lb)
12,5 (1/2) o menos	2 (4,4)
19,0 (3/4)	3 (6,6)
25,0 (1)	4 (8,8)
37,5 (1 ½)	5 (11)
50 (2)	8 (18)
63 (2 ½)	12 (26)
75 (3)	18 (40)
90 (3 ½)	25 (55)
100 (4)	40 (88)
112 (4 ½)	50 (110)
125 (5)	75 (165)
150 (6)	125 (276)

Fuente: (INDECOPI, 2002, pág. 9)

- Una vez que se tiene la muestra se procede a tamizar con la malla No. 4, descartando el material pasante.
- Se procede a lavar el agregado de modo que podamos eliminar el material fino, luego se secará la muestra a una temperatura de $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$; esto nos ayudará a llegar a un peso constante para finalmente dejarlo a temperatura ambiente en un lapso de 1 a 3 horas.
- Inmediatamente se procederá a sumergir en agua el agregado en un lapso de 24 ± 4 horas.
- Culminado el plazo anterior se sacará el agregado colocándolo sobre una tela absorbente y en una superficie plana; con ayuda de esta procederemos a secar el agregado de manera superficial llegando así a tener el estado saturado superficialmente seco. Luego obtenemos el peso en este estado.
- Seguidamente se realiza la prueba de ensayo de peso específico que consiste en obtener el peso de la canastilla sumergida en agua, después se coloca la muestra

en estado superficialmente seco y se procede a sumergir la canastilla; es importante eliminar el aire atrapado para así poder obtener el peso de la muestra saturada.

- Finalmente se dejará secar la muestra a una temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ en el horno y luego la dejaremos secar hasta un lapso máximo de 3 horas, para luego obtener el peso en estado seco.

El ensayo descrito se realizó para las 5 muestras de agregado y los cálculos realizados se dieron de acuerdo a las siguientes ecuaciones establecidas en la NTP 400.021:

Peso específico de la masa (Pem)

$$Pem \left(\frac{gr}{cm^3} \right) = \frac{A}{(B - C)} \times 100$$

Donde:

A = Peso de la muestra seca, gramos.

B = Peso de la muestra superficialmente seca, gramos.

C = Peso de la muestra saturada.

Peso específico de masa saturada con superficie seca (PeSSS)

$$PeSSS \left(\frac{gr}{cm^3} \right) = \frac{B}{(B - C)} \times 100$$

Peso específico aparente (Pea)

$$Pea \left(\frac{gr}{cm^3} \right) = \frac{A}{(A - C)} \times 100$$

Absorción (Ab)

$$Ab., (\%) = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Conociendo el procedimiento y los cálculos a realizar, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 43: Ensayo de peso específico del agregado grueso

	Peso Seco (g)	Peso Seco Superficial (g)	Peso Sumergido (g)
Alpha	2273.0	3000.0	1296.0
Bravo	2252.0	3000.0	1283.0
Charlie	2261.0	3000.0	1292.0
Delta	2272.0	3000.0	1326.0
Ecco	2265.0	3000.0	1302.0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 44: Resultados del ensayo de peso específico del agregado grueso

	Peso Específico De Masa (Pem)	Peso Específico De Masa SSS (PeSSS)	Peso Específico Aparente (Pea)	Absorción (Ab.)
Alpha	$1333.92 \frac{g}{cm^3}$	$1760.56 \frac{g}{cm^3}$	$2326.51 \frac{g}{cm^3}$	31.984%
Bravo	$1311.59 \frac{g}{cm^3}$	$1747.23 \frac{g}{cm^3}$	$2324.05 \frac{g}{cm^3}$	33.215%
Charlie	$1323.77 \frac{g}{cm^3}$	$1756.44 \frac{g}{cm^3}$	$2333.33 \frac{g}{cm^3}$	32.685%
Delta	$1357.23 \frac{g}{cm^3}$	$1792.11 \frac{g}{cm^3}$	$2401.69 \frac{g}{cm^3}$	32.042%
Ecco	$1333.92 \frac{g}{cm^3}$	$1766.78 \frac{g}{cm^3}$	$2352.02 \frac{g}{cm^3}$	32.450%

Fuente: Elaboración Propia

4.1.3.2 AGREGADO FINO

Al igual que en el caso del agregado grueso, se debe de realizar el ensayo de peso específico para el agregado fino, de forma tal que se conozca las densidades del material, libre de vacíos, lo cual puede ser realizado a través de varios procedimientos. Estos valores pueden ser útiles para distintos casos, además se podrá obtener cual es el porcentaje de absorción del material, el cual permite que se halle el cambio de masa en un material.

Dependiendo del procedimiento utilizado, la densidad, en kg/m^3 se expresa como seca al horno (OD), saturada superficialmente seca (SSD) o como la densidad aparente. Del mismo modo, la densidad relativa (gravedad específica), una cantidad adimensional, se expresa como OD, SSD, o como la densidad relativa aparente (gravedad específica aparente). La densidad OD y la densidad relativa OD se determinan después de secar el agregado. La densidad SSD, la densidad relativa SSD, y la absorción se determinan después de remojar el agregado en agua para un periodo duración prescrita. (INDECOPI, 2013, pág. 1)

Al igual que el caso del agregado grueso, el agregado fino deberá permanecer en reposo por 24 ± 4 horas para poder asegurar que todos sus poros sean llenados con agua para un estado inicial para el ensayo. Esto con el fin de poder llevar luego el agregado fino a un estado saturado superficialmente seco, comprobable mediante el uso de un molde metálico en forma de cono trunco, y obtener una muestra de 500 g en este estado.

Para proceder con el ensayo será necesario la utilización de un picnómetro de 500 cm^3 sobre el cual se deberá determinar la masa tanto vacío como lleno de agua hasta la altura de su marca de calibración. Posterior a ello se deberá introducir una pequeña cantidad de agua y la totalidad del agregado fino, preparado anteriormente. Se procederá a agitar el picnómetro para remover las burbujas de aire de entre las partículas del agregado. Se deberá proceder hasta que se halla removido todo el aire, para luego completar agua hasta el nivel de calibración y elevar la temperatura del conjunto a $23,0 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2,0 \text{ }^\circ\text{C}$. Finalmente se tomará la masa del total y la muestra de agregado fino será retirada para ser secada en un horno a $110 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ y tomar su masa seca.

Según la NTP 400.022 se tomarán los siguientes valores:

A es la masa de la muestra seca al horno en g.

B es la masa del picnómetro llenado de agua hasta la marca de calibración en g.

C es la masa del picnómetro lleno de la muestra y el agua hasta la marca de calibración en g.

S es la masa de la muestra de saturado superficialmente seca en g.

Las ecuaciones serán las siguientes:

- Densidad relativa (gravedad específica) (OD)

$$\text{Densidad Relativa (OD)} = A/(B + S - C)$$

- Densidad relativa (gravedad específica) (SSD)

$$\text{Densidad Relativa (SSD)} = S/(B + S - C)$$

- Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)

$$\text{Densidad Relativa aparente} = A/(B + A - C)$$

- Densidad (secado al horno)

$$\text{Densidad (OD)} = 997,5A/(B + S - C)$$

- Densidad (saturada superficialmente seca)

$$\text{Densidad (SSD)} = 997,5S/(B + S - C)$$

- Densidad aparente

$$\text{Densidad aparente} = 997.5A/(B + A - C)$$

- Absorción

$$\text{Abs\%} = 100[(S - A)/A]$$

Aplicando lo anterior al agregado fino se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 45: Datos iniciales de cálculo PE agregado fino

Datos Iniciales de Cálculo			
Muestra (OD)	A	494.6	g
Picnómetro + Agua	B	656.7	g
Picnómetro + Agua + Muestra	C	961.0	g
Muestra (SSD)	S	500.0	g

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 46: Datos calculados PE agregado fino

Datos Calculados		
Densidad Relativa (OD)	2.527	---
Densidad Relativa (SSD)	2.555	---
Densidad Relativa Aparente	2.599	---
Densidad (OD)	2521.02	kg/m ³
Densidad (SSD)	2548.54	kg/m ³
Densidad Aparente	2592.56	kg/m ³
Absorción	1.092	%

Fuente: Elaboración Propia

4.1.4 RESISTENCIA A LA ABRASIÓN

La resistencia a la abrasión de los agregados es un ensayo diseñado para medir la resistencia de los mismos a la degradación por abrasión, impacto y trituración. Para ello se utiliza un equipo conocido como “Máquina de Los Ángeles”, un tambor metálico hueco giratorio donde se introduce el agregado y una carga, siguiendo el procedimiento descrito en la NTP 400.019.

Se indica que la carga a introducirse en la máquina deberá ser de la siguiente manera en sus dimensiones:

“La carga consistirá en esferas de acero de aproximadamente 46,8 mm (1 27/32 pulg) de diámetro y cada una tendrá una masa entre 390 g y 445 g.” (INDECOPI, 2002, pág. 4)

El número de esferas a ser utilizadas y la masa del material a ser ensayado se obtendrán de acuerdo a las siguientes tablas:

Tabla 47: Carga para ensayo en máquina de Los Ángeles

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5 000 ± 25
B	11	4 584 ± 25
C	8	3 330 ± 20
D	6	2 500 ± 15

Fuente: (INDECOPI, 2002, pág. 4)

Tabla 48: Gradación de las muestras de ensayo

Medida del tamiz (abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado, g			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación			
		A	B	C	D
37,5 mm (1 ½ pulg)	25,0 mm (1 pulg)	1250±25	.....	.....	.....
25,0 mm (1 pulg)	19,0 mm (¾ pulg)	1250±25	.....	.....	.....
19,0 mm (¾ pulg)	12,5 mm (½ pulg)	1250±25	2500±10	.....	.....
12,5 mm (½ pulg)	9,5 mm (⅜ pulg)	1250±25	2500±10	.....	.....
9,5 mm (⅜ pulg)	6,3 mm (¼ pulg)	.....	.....	2500±10	.....
6,3 mm (¼ pulg)	4,75 mm (Nº4)	.....	.....	2500±10	.....
4,75 mm (Nº4)	2,36 mm (Nº8)	.....	.....	.....	5000±10
Total		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

Fuente: (INDECOPI, 2002, pág. 5)

El material a ser utilizado deberá ser lavado antes de ser introducido a la máquina y secado. En el ensayo se deberán realizar 500 revoluciones del tambor de la máquina a una velocidad entre 30 y 33 rpm. Luego de ello el material deberá ser tamizado a través de la malla No. 12, la cual cuenta con una abertura cuadrada de 1.70 mm y ser lavado descartando todo material menor al tamiz No. 12. Se deberá comparar la masa inicial de la muestra y la masa tras el ensayo, hallando el porcentaje de diferencia entre ambos.

Ensayo: Resistencia a la Abrasión

Material: Ignimbrita (Alpha)

Tabla 49: Resistencia a la abrasión (Alpha)

Perdidas por Abrasión		
Masa inicial	5000.0	g
Masa final	2105.5	g
Porcentaje de pérdidas	57.89	%

Fuente: Elaboración Propia

Ensayo: Resistencia a la Abrasión

Material: Ignimbrita (Bravo)

Tabla 50: Resistencia a la abrasión (Bravo)

Perdidas por Abrasión		
Masa inicial	5000.0	g
Masa final	2356.5	g
Porcentaje de pérdidas	52.87	%

Fuente: Elaboración Propia

Ensayo: Resistencia a la Abrasión

Material: Ignimbrita (Charlie)

Tabla 51: Resistencia a la abrasión (Charlie)

Perdidas por Abrasión		
Masa inicial	5000.0	g
Masa final	2205.5	g
Porcentaje de pérdidas	55.89	%

Fuente: Elaboración Propia

Ensayo: Resistencia a la Abrasión

Material: Ignimbrita (Delta)

Tabla 52: Resistencia a la abrasión (Delta)

Perdidas por Abrasión		
Masa inicial	5000.0	g
Masa final	1902.0	g
Porcentaje de pérdidas	61.96	%

Fuente: Elaboración Propia

Ensayo: Resistencia a la Abrasión

Material: Ignimbrita (Ecco)

Tabla 53: Resistencia a la abrasión (Ecco)

Perdidas por Abrasión		
Masa inicial	5000.0	g
Masa final	2416.0	g
Porcentaje de pérdidas	51.68	%

Fuente: Elaboración Propia

4.1.5 CANTIDAD DE FINOS

El principio del ensayo consiste en evaluar el recubrimiento superficial que puede tener un agregado como consecuencia del material fino mencionado en el apartado 3.1 y su potencial de perjudicar el comportamiento de hormigones (concretos) o morteros en los que pueda ser empleado. Para tal evaluación, el agregado se somete a un proceso de sedimentación y tamizado por vía húmeda. (INDECOPI, 2002, pág. 2)

Al realizar un diseño de mezclas se debe de realizar un análisis del contenido de partículas con las que este cuente, porcentualmente en masa, para poder determinar el grado de recubrimiento que presentará las partículas ya sean del agregado fino o grueso. Esto puede resultar en un efecto potencialmente nocivo para el mortero debido a que puede debilitar la unión mortero – agregado.

Se deberá obtener una muestra de material para poder realizar el ensayo con un mínimo de masa de acuerdo a la siguiente tabla, esta masa será de material en estado seco al horno.

Tabla 54: Cantidad mínima de muestra para Cantidad de Finos

Tamaño máximo nominal del agregado	Cantidad mínima, g
4,75 mm (No. 4) o más pequeño	300
9,5 mm (3/8 pulg)	1 000
19 mm (3/4 pulg)	2 500
37,5 mm (1 ½ pulg) o más grande	5 000

Fuente: (INDECOPI, 2002, pág. 4)

De acuerdo a lo estipulado en la norma, se deberá introducir el material en un recipiente lo suficientemente grande para albergar toda la muestra y que esta sea sumergida en agua.

Las partículas deberán ser agitadas para llevar las partículas livianas a suspensión. Luego se verterá el agua contenida a través de dos mallas granulométricas, la malla No. 16 y la malla No. 200, regresando al contenido cualquier material que quede retenido.

Una vez repetido este ciclo hasta alcanzar agua que no retenga más partículas finas menores a la malla No. 200 en ella, se procederá a secar la muestra al horno para determinar las pérdidas, las cuales serán menor o igual a 5% para el agregado fino y hasta un 1% para el agregado grueso, siendo un máximo de 1.5% si es que este no cuenta con limos o arcillas.

$$\text{Cantidad de Finos, \%} = \frac{\text{Peso Original} - \text{Peso Lavado}}{\text{Peso Original}} \times 100\%$$

4.1.5.1 AGREGADO GRUESO

De la forma que en que se describió el ensayo con anterioridad se procedió a desarrollarlo para la ignimbrita usada como agregado grueso. Dado el tamaño máximo nominal del agregado grueso de ½”, se eligió la cantidad mínima para el análisis descrita para el tamaño inmediato superior, siendo este el de ¾”.

Ensayo: Contenido de Finos – Agregado Grueso

Material: Ignimbrita (Alpha)

Tabla 55: Contenido de Finos A. Grueso (Alpha)

Ensayo Contenido de Finos		
Peso Original Seco	2500.0	g
Peso Lavado Seco	2476.0	g
Cantidad de Finos	1.0	%

Fuente: Elaboración Propia

Ensayo: Contenido de Finos – Agregado Grueso

Material: Ignimbrita (Bravo)

Tabla 56: Contenido de Finos A. Grueso (Bravo)

Ensayo Contenido de Finos		
Peso Original Seco	2500.0	g
Peso Lavado Seco	2474.5	g
Cantidad de Finos	1.0	%

Fuente: Elaboración Propia

Ensayo: Contenido de Finos – Agregado Grueso

Material: Ignimbrita (Charlie)

Tabla 57: Contenido de Finos A. Grueso (Charlie)

Ensayo Contenido de Finos		
Peso Original Seco	2500.0	g
Peso Lavado Seco	2473.0	g
Cantidad de Finos	1.1	%

Fuente: Elaboración Propia

Ensayo: Contenido de Finos – Agregado Grueso

Material: Ignimbrita (Delta)

Tabla 58: Contenido de Finos A. Grueso (Delta)

Ensayo Contenido de Finos		
Peso Original Seco	2500.0	g
Peso Lavado Seco	2474.5	g
Cantidad de Finos	1.0	%

Fuente: Elaboración Propia

Ensayo: Contenido de Finos – Agregado Grueso

Material: Ignimbrita (Ecco)

Tabla 59: Contenido de Finos A. Grueso (Ecco)

Ensayo Contenido de Finos		
Peso Original Seco	2500.0	g
Peso Lavado Seco	2473.5	g
Cantidad de Finos	1.1	%

Fuente: Elaboración Propia

4.1.5.2 AGREGADO FINO

De la misma forma que con el agregado grueso, se procedió a realizar el ensayo, sin embargo, tomando como masa original de la muestra un valor de 300 gramos de arena seca al horno por 24 horas.

Ensayo: Contenido de Finos – Agregado Fino

Material: Arena Gruesa – Ensayo 1

Tabla 60: Contenido de Finos A. Fino (Ensayo 1)

Ensayo Contenido de Finos		
Peso Original Seco	300.0	g
Peso Lavado Seco	287.1	g
Cantidad de Finos	4.3	%

Fuente: Elaboración Propia

Ensayo: Contenido de Finos – Agregado Fino

Material: Arena Gruesa – Ensayo 2

Tabla 61: Contenido de Finos A. Fino (Ensayo 2)

Ensayo Contenido de Finos		
Peso Original Seco	300.0	g
Peso Lavado Seco	288.6	g
Cantidad de Finos	3.8	%

Fuente: Elaboración Propia

Ensayo: Contenido de Finos – Agregado Fino

Material: Arena Gruesa – Ensayo 3

Tabla 62: Contenido de Finos A. Fino (Ensayo 3)

Ensayo Contenido de Finos		
Peso Original Seco	300.0	g
Peso Lavado Seco	293.1	g
Cantidad de Finos	2.3	%

Fuente: Elaboración Propia

4.1.6 HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

Se debió analizar los agregados para hallar cuál era su contenido de humedad al momento de ser utilizados, para ello se tomó medidas de su masa en su estado de almacenamiento y se procedió a tomar nuevamente medida de su masa tras 24 horas en un horno a 110 °C.

$$\text{Contenido de humedad, \%} = \frac{P. Inicial - P. Seco}{P. Seco} \times 100\%$$

4.1.6.1 AGREGADO GRUESO

Ensayo: Contenido de Humedad – 1

Material: Ignimbrita (Alpha)

Tabla 63: Contenido de Humedad (Alpha 1)

Contenido de Humedad – 1		
Masa Inicial	7000.0	g
Masa Seca al Horno	6983.5	g
Contenido de Humedad	0.24	%

Fuente: Elaboración Propia

Ensayo: Contenido de Humedad – 2

Material: Ignimbrita (Alpha)

Tabla 64: Contenido de Humedad (Alpha 2)

Contenido de Humedad – 2		
Masa Inicial	2496.5	g
Masa Seca al Horno	2492.0	g
Contenido de Humedad	0.18	%

Fuente: Elaboración Propia

Ensayo: Contenido de Humedad – 1

Material: Ignimbrita (Bravo)

Tabla 65: Contenido de Humedad (Bravo 1)

Contenido de Humedad – 1		
Masa Inicial	5000.0	g
Masa Seca al Horno	4994.5	g
Contenido de Humedad	0.11	%

Fuente: Elaboración Propia

Ensayo: Contenido de Humedad – 2

Material: Ignimbrita (Bravo)

Tabla 66: Contenido de Humedad (Bravo 2)

Contenido de Humedad – 2		
Masa Inicial	5000.0	g
Masa Seca al Horno	4993.0	g
Contenido de Humedad	0.14	%

Fuente: Elaboración Propia

Ensayo: Contenido de Humedad – 1

Material: Ignimbrita (Charlie)

Tabla 67: Contenido de Humedad (Charlie 1)

Contenido de Humedad – 1		
Masa Inicial	5000.0	g
Masa Seca al Horno	4994.5	g
Contenido de Humedad	0.11	%

Fuente: Elaboración Propia

Ensayo: Contenido de Humedad – 2

Material: Ignimbrita (Charlie)

Tabla 68: Contenido de Humedad (Charlie 2)

Contenido de Humedad – 2		
Masa Inicial	5000.0	g
Masa Seca al Horno	4994.0	g
Contenido de Humedad	0.12	%

Fuente: Elaboración Propia

Ensayo: Contenido de Humedad – 1

Material: Ignimbrita (Delta)

Tabla 69: Contenido de Humedad (Delta 1)

Contenido de Humedad – 1		
Masa Inicial	5000.0	g
Masa Seca al Horno	4995.0	g
Contenido de Humedad	0.10	%

Fuente: Elaboración Propia

Ensayo: Contenido de Humedad – 2

Material: Ignimbrita (Delta)

Tabla 70: Contenido de Humedad (Delta 2)

Contenido de Humedad – 2		
Masa Inicial	5000.0	g
Masa Seca al Horno	4992.5	g
Contenido de Humedad	0.15	%

Fuente: Elaboración Propia

Ensayo: Contenido de Humedad – 1

Material: Ignimbrita (Ecco)

Tabla 71: Contenido de Humedad (Ecco 1)

Contenido de Humedad – 1		
Masa Inicial	5000.0	g
Masa Seca al Horno	4995.0	g
Contenido de Humedad	0.10	%

Fuente: Elaboración Propia

Ensayo: Contenido de Humedad – 2

Material: Ignimbrita (Ecco)

Tabla 72: Contenido de Humedad (Ecco 2)

Contenido de Humedad – 2		
Masa Inicial	5000.0	g
Masa Seca al Horno	4993.5	g
Contenido de Humedad	0.13	%

Fuente: Elaboración Propia

4.1.6.2 AGREGADO FINO

Ensayo: Contenido de Humedad

Material: Arena Gruesa

Tabla 73: Contenido de Humedad (Arena Gruesa)

Contenido de Humedad		
Masa Inicial	13085.0	g
Masa Seca al Horno	12823.0	g
Contenido de Humedad	2.04	%

Fuente: Elaboración Propia

4.2 DISEÑOS DE MEZCLA

4.2.1 MÉTODO DE DISEÑO FACTORIAL

Se realizó el diseño de mezcla para 9 variaciones entre las relaciones agua/cemento y las relaciones agregado fino/agregado total, aplicado en material de 5 puntos de recolección distintos. Ya que se decidió trabajar con los valores de las propiedades de estos de manera individual y no con un promedio, se realizaron un total de 45 diseños de mezcla por este método, descritos a continuación.

4.2.1.1 DISEÑO DE MEZCLA CON MATERIAL DE PUNTO “ALPHA”

4.2.1.1.1 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA $f'_c \approx 210$ KG/CM²

4.2.1.1.1.1 DISEÑO DE MEZCLA 1

1) Selección de la Resistencia

Para el presente diseño se trabajará con una resistencia mínima a la compresión aproximada sin incrementos al siguiente valor:

$$f'_c \approx 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_c \approx 21 \text{ MPa}$$

2) Selección del Tamaño Máximo Nominal

El Tamaño Máximo Nominal (TMN) para este diseño de mezcla no se obtuvo en base a su aplicación, más en el agregado que se obtuvo cumpliendo las dimensiones de la ASTM C 330.

$$\text{Tamaño Máximo Nominal (TMN)} = 1/2''$$

3) Selección del Asentamiento

Se tomará por selección un asentamiento que permita un concreto trabajable para la mayor parte de estructuras, cumpliendo una función estructural.

$$\text{Asentamiento (Slump)} = 3'' \text{ a } 4''$$

4) Selección del Volumen Unitario de Agua

Como se muestra en la Tabla 8 del ítem 3.2.1.4, el contenido de agua depende de 3 factores, del TMN, del asentamiento y de si se presenta aire incorporado. Dado que este diseño solo considera aire atrapado el volumen unitario de agua será el siguiente:

$$Volumen Unitario de Agua = 216 \text{ l/m}^3$$

5) Selección del Contenido de Aire

El contenido de aire, tal como se vio en el capítulo anterior, es una función del tamaño máximo nominal, dado lo anterior y que no se incorporará aire se obtiene lo siguiente según la Tabla 9:

$$Contenido de Aire = 2.5\%$$

6) Selección de la Relación Agua/Cemento

Con el propósito de obtener la resistencia a la compresión descrita anteriormente, es necesario aplicar una razón adecuada de cemento para la cantidad de agua previamente elegida.

Debido a que se tomó como referencias las resistencias de 210, 280 y 350 kg/cm², se buscó de una manera inicial calcular sus respectivas relaciones agua/cemento de acuerdo a la Tabla 11, en la sección sin aire incorporado, interpolando los valores que sean necesarios.

$$a/c_{210} = 0.684 \quad a/c_{280} = 0.578 \quad a/c_{350} = 0.480$$

Con el fin de uniformizar los valores a incrementos iguales, se decidió variar las relaciones agua/cemento para obtener crecimientos de 0.100, eligiéndose lo siguiente para este diseño de mezcla:

$$a/c_1 = 0.650$$

7) Selección del Contenido de Cemento

Dados los datos anteriormente calculados, es posible hallar la cantidad de cemento que es requerida para obtener los resultados de resistencia deseados de acuerdo a las recomendaciones de diseño propuestas en la ACI 211.

$$C = \frac{216 \text{ kg/m}^3}{0.65}$$

$$C = 332.31 \text{ kg/m}^3$$

8) Volumen de Agregados en Mezcla

Completados los pasos anteriores, es posible calcular el volumen de agregados necesarios para producir un metro cúbico de mezcla de concreto. Para ello se debe de restar a la unidad los volúmenes de los ingredientes ya contabilizados anteriormente.

$$v_{at} = 1 - \left(\frac{332.31 \text{ kg}}{2850 \text{ kg/m}^3} + \frac{216 \text{ l}}{1000 \text{ l/m}^3} + 2.50\% \times 1 \text{ m}^3 \right)$$

$$v_{at} = 1 - (0.117 + 0.216 + .025)$$

$$v_{at} = 0.642 \text{ m}^3$$

9) Selección del Contenido de Agregados

Conocido el volumen destinado a ser empleado de agregados en total, es requerido diferenciar la cantidad de cada uno de ellos. Para ello se vio adecuado usar en este diseño de mezcla la siguiente relación de agregados en masa:

$$\text{Agregado Fino/Agregado Total} = 0.40$$

Con ello es posible hallar una solución a las dos ecuaciones presentadas en el ítem 3.2.1.9 las cuales indicarán la cantidad en masa de cada uno de los agregados.

$$\frac{W_{ag}}{133.92 \text{ kg/m}^3} + \frac{W_{af}}{2592.56 \text{ kg/m}^3} = 0.642 \text{ m}^3$$

$$\frac{W_{af}}{W_{ag} + W_{af}} = 0.40$$

Aplicando un solucionador de ecuaciones es posible hallar los valores para el agregado grueso y para el agregado fino.

$$W_{ag} = 633.09 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{af} = 422.06 \text{ kg/m}^3$$

10) Ajustes por Humedad

Debido a la capacidad de absorción de agua de los agregados grueso y fino, además de su contenido de humedad inicial, la cantidad de agua necesaria para el diseño de mezcla no será precisa, por ello es necesario tomar estos valores en

consideración para añadir o retirar agua ya sea el caso además de corregir las cantidades de agregado en masa debido a su humedad interna.

Contenido de humedad del agregado grueso: 0.21%

Contenido de humedad del agregado fino: 2.04%

Absorción del agregado grueso: 31.98%

Absorción del agregado fino: 1.09%

$$W_{agH} = 633.09 \cdot \left(1 + \frac{0.21}{100}\right)$$

$$W_{agH} = 634.42 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{afH} = 422.06 \cdot \left(1 + \frac{2.04}{100}\right)$$

$$W_{afH} = 430.67 \text{ kg/m}^3$$

$$A_w = 633.09 \cdot \left(\frac{31.98 - 0.21}{100}\right) + 422.06 \cdot \left(\frac{1.09 - 2.04}{100}\right)$$

$$A_w = 197.16 \text{ l/m}^3$$

11) Diseño de Mezcla

Tabla 74: Diseño de mezcla "Factorial"- Alpha 1

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	332.31	332.31
Ignimbrita	633.09	634.42
Arena	422.06	430.67
Agua (l/m ³)	216.00	413.16

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con el procedimiento mostrado para la realización de este diseño de mezcla, se procederá a indicar los siguientes diseños en tablas resúmenes, volviendo a realizar un diseño detallado ante cambios de metodología o insumos.

4.2.1.1.1.2 DISEÑO DE MEZCLA 2

Tabla 75: Método de Diseño "Factorial" - Alpha 2

DISEÑO DE MEZCLA ALPHA 2	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 210 \text{ kg/cm}^2 \approx 21 \text{ MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	$(TMN) = 1/2''$
Selección del Asentamiento	$(Slump) = 3'' \text{ a } 4''$
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m^3
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_1 = 0.650$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 332.31 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.642 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	$Ag. Fino/A. Total = 0.50$
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	560.07 kg/m^3
W_{af}	560.07 kg/m^3
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	561.24 kg/m^3
W_{afH}	571.49 kg/m^3
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	172.65 l/m^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 76: Diseño de mezcla "Factorial"- Alpha 2

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	332.31	332.31
Ignimbrita	560.07	561.24
Arena	560.07	571.49
Agua (l/m^3)	216.00	388.65

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.1.1.3 DISEÑO DE MEZCLA 3

Tabla 77: Método de Diseño "Factorial" - Alpha 3

DISEÑO DE MEZCLA ALPHA 3	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 210 \text{ kg/cm}^2 \approx 21 \text{ MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	$(TMN) = 1/2''$
Selección del Asentamiento	$(Slump) = 3'' \text{ a } 4''$
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m^3
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_1 = 0.650$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 332.31 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.642 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	$Ag. Fino/A. Total = 0.60$
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	477.46 kg/m^3
W_{af}	716.18 kg/m^3
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	478.46 kg/m^3
W_{afH}	730.79 kg/m^3
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	144.92 l/m^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 78: Diseño de mezcla "Factorial"- Alpha 3

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	332.31	332.31
Ignimbrita	477.46	478.46
Arena	716.18	730.79
Agua (l/m^3)	216.00	360.92

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.1.2 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA $f'_c \approx 280$ KG/CM²

4.2.1.1.2.1 DISEÑO DE MEZCLA 1

Tabla 79: Método de Diseño "Factorial" - Alpha 4

DISEÑO DE MEZCLA ALPHA 4	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 280 \text{ kg/cm}^2 \approx 28\text{MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	$(TMN) = 1/2''$
Selección del Asentamiento	$(Slump) = 3'' \text{ a } 4''$
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m^3
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_2 = 0.550$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 392.73 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.621 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	$Ag. \text{ Fino} / A. \text{ Total} = 0.40$
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	612.38 kg/m^3
W_{af}	408.26 kg/m^3
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	613.67 kg/m^3
W_{afH}	416.58 kg/m^3
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	190.71 l/m^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 80: Diseño de mezcla "Factorial"- Alpha 4

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	392.73	392.73
Ignimbrita	612.38	613.67
Arena	408.26	416.58
Agua (l/m^3)	216.00	406.71

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.1.2.2 DISEÑO DE MEZCLA 2

Tabla 81: Método de Diseño "Factorial" - Alpha 5

DISEÑO DE MEZCLA ALPHA 5	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 280 \text{ kg/cm}^2 \approx 28\text{MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	$(TMN) = 1/2''$
Selección del Asentamiento	$(Slump) = 3'' \text{ a } 4''$
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m^3
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_2 = 0.550$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 392.73 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.621 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	$Ag. Fino/A. Total = 0.50$
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	541.75 kg/m^3
W_{af}	541.75 kg/m^3
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	542.88 kg/m^3
W_{afH}	552.80 kg/m^3
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	167.00 l/m^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 82: Diseño de mezcla "Factorial"- Alpha 5

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	392.73	392.73
Ignimbrita	541.75	542.88
Arena	541.75	552.80
Agua (l/m^3)	216.00	383.00

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.1.2.3 DISEÑO DE MEZCLA 3

Tabla 83: Método de Diseño "Factorial" - Alpha 6

DISEÑO DE MEZCLA ALPHA 6	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 280 \text{ kg/cm}^2 \approx 28\text{MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	$(TMN) = 1/2''$
Selección del Asentamiento	$(Slump) = 3'' \text{ a } 4''$
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m^3
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_2 = 0.550$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 392.73 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.621 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	$Ag. Fino/A. Total = 0.60$
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	461.84 kg/m^3
W_{af}	692.76 kg/m^3
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	462.81 kg/m^3
W_{afH}	706.89 kg/m^3
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	140.18 l/m^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 84: Diseño de mezcla "Factorial"- Alpha 6

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	392.73	392.73
Ignimbrita	461.84	462.81
Arena	692.73	706.89
Agua (l/m^3)	216.00	356.18

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.1.3 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA $f'_c \approx 350$ KG/CM²

4.2.1.1.3.1 DISEÑO DE MEZCLA 1

Tabla 85: Método de Diseño "Factorial" - Alpha 7

DISEÑO DE MEZCLA ALPHA 7	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 350 \text{ kg/cm}^2 \approx 35\text{MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	(TMN) = 1/2"
Selección del Asentamiento	(Slump) = 3" a 4"
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m ³
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_3 = 0.450$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 480.00 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.591 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	$Ag. Fino/A. Total = 0.40$
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	582.80 kg/m ³
W_{af}	388.53 kg/m ³
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	584.02 kg/m ³
W_{afH}	396.46 kg/m ³
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	181.50 l/m ³

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 86: Diseño de mezcla "Factorial"- Alpha 7

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	480.00	480.00
Ignimbrita	582.80	584.02
Arena	388.53	396.46
Agua (l/m ³)	216.00	397.50

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.1.3.2 DISEÑO DE MEZCLA 2

Tabla 87: Método de Diseño "Factorial" - Alpha 8

DISEÑO DE MEZCLA ALPHA 8	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 350 \text{ kg/cm}^2 \approx 35\text{MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	$(TMN) = 1/2''$
Selección del Asentamiento	$(Slump) = 3'' \text{ a } 4''$
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m^3
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_3 = 0.450$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 480.00 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.591 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	$Ag. Fino/A. Total = 0.50$
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	515.56 kg/m^3
W_{af}	515.56 kg/m^3
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	516.64 kg/m^3
W_{afH}	526.07 kg/m^3
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	158.93 l/m^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 88: Diseño de mezcla "Factorial"- Alpha 8

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	480.00	480.00
Ignimbrita	515.56	516.64
Arena	515.56	526.07
Agua (l/m^3)	216.00	374.93

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.1.3.3 DISEÑO DE MEZCLA 3

Tabla 89: Método de Diseño "Factorial" - Alpha 9

DISEÑO DE MEZCLA ALPHA 9	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 350 \text{ kg/cm}^2 \approx 35\text{MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	$(TMN) = 1/2''$
Selección del Asentamiento	$(Slump) = 3'' \text{ a } 4''$
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m^3
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_3 = 0.450$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 480.00 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.591 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	$Ag. Fino/A. Total = 0.60$
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	439.53 kg/m^3
W_{af}	659.29 kg/m^3
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	440.45 kg/m^3
W_{afH}	672.74 kg/m^3
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	133.41 l/m^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 90: Diseño de mezcla "Factorial"- Alpha 9

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	480.00	480.00
Ignimbrita	439.53	440.45
Arena	659.29	672.74
Agua (l/m^3)	216.00	349.41

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.2 DISEÑO DE MEZCLA CON MATERIAL DE PUNTO “BRAVO”

4.2.1.2.1 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA $f'_c \approx 210$ KG/CM²

4.2.1.2.1.1 DISEÑO DE MEZCLA 1

1) Selección de la Resistencia

Para el presente diseño se trabajará con una resistencia mínima a la compresión aproximada sin incrementos al siguiente valor:

$$f'_c \approx 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_c \approx 21 \text{ MPa}$$

2) Selección del Tamaño Máximo Nominal

El Tamaño Máximo Nominal (TMN) para este diseño de mezcla no se obtuvo en base a su aplicación, más en el agregado que se obtuvo cumpliendo las dimensiones de la ASTM C 330.

$$\text{Tamaño Máximo Nominal (TMN)} = 1/2''$$

3) Selección del Asentamiento

Se tomará por selección un asentamiento que permita un concreto trabajable para la mayor parte de estructuras, cumpliendo una función estructural.

$$\text{Asentamiento (Slump)} = 3'' \text{ a } 4''$$

4) Selección del Volumen Unitario de Agua

Como se muestra en la Tabla 8 del ítem 3.2.1.4, el contenido de agua depende de 3 factores, del TMN, del asentamiento y de si se presenta aire incorporado. Dado que este diseño solo considera aire atrapado el volumen unitario de agua será el siguiente:

$$\text{Volumen Unitario de Agua} = 216 \text{ l/m}^3$$

5) Selección del Contenido de Aire

El contenido de aire, tal como se vio en el capítulo anterior, es una función del tamaño máximo nominal, dado lo anterior y que no se incorporará aire se obtiene lo siguiente según la Tabla 9:

$$\text{Contenido de Aire} = 2.5\%$$

6) Selección de la Relación Agua/Cemento

Con el propósito de obtener la resistencia a la compresión descrita anteriormente, es necesario aplicar una razón adecuada de cemento para la cantidad de agua previamente elegida.

Debido a que se tomó como referencias las resistencias de 210, 280 y 350 kg/cm², se buscó de una manera inicial calcular sus respectivas relaciones agua/cemento de acuerdo a la Tabla 11, en la sección sin aire incorporado, interpolando los valores que sean necesarios.

$$a/c_{210} = 0.684 \quad a/c_{280} = 0.578 \quad a/c_{350} = 0.480$$

Con el fin de uniformizar los valores a incrementos iguales, se decidió variar las relaciones agua/cemento para obtener crecimientos de 0.100, eligiéndose lo siguiente para este diseño de mezcla:

$$a/c_1 = 0.650$$

7) Selección del Contenido de Cemento

Dados los datos anteriormente calculados, es posible hallar la cantidad de cemento que es requerida para obtener los resultados de resistencia deseados de acuerdo a las recomendaciones de diseño propuestas en la ACI 211.

$$C = \frac{216 \text{ kg/m}^3}{0.65}$$

$$C = 332.31 \text{ kg/m}^3$$

8) Volumen de Agregados en Mezcla

Completados los pasos anteriores, es posible calcular el volumen de agregados necesarios para producir un metro cúbico de mezcla de concreto. Para ello se debe de restar a la unidad los volúmenes de los ingredientes ya contabilizados anteriormente.

$$v_{at} = 1 - \left(\frac{332.31 \text{ kg}}{2850 \text{ kg/m}^3} + \frac{216 \text{ l}}{1000 \text{ l/m}^3} + 2.50\% \times 1 \text{ m}^3 \right)$$

$$v_{at} = 1 - (0.117 + 0.216 + .025)$$

$$v_{at} = 0.642 \text{ m}^3$$

9) Selección del Contenido de Agregados

Conocido el volumen destinado a ser empleado de agregados en total, es requerido diferenciar la cantidad de cada uno de ellos. Para ello se vio adecuado usar en este diseño de mezcla la siguiente relación de agregados en masa:

$$\text{Agregado Fino/Agregado Total} = 0.40$$

Con ello es posible hallar una solución a las dos ecuaciones presentadas en el ítem 3.2.1.9 las cuales indicarán la cantidad en masa de cada uno de los agregados.

$$\frac{W_{ag}}{133.92 \text{ kg/m}^3} + \frac{W_{af}}{2592.56 \text{ kg/m}^3} = 0.642 \text{ m}^3$$

$$\frac{W_{af}}{W_{ag} + W_{af}} = 0.40$$

Aplicando un solucionador de ecuaciones es posible hallar los valores para el agregado grueso y para el agregado fino.

$$W_{ag} = 625.34 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{af} = 416.89 \text{ kg/m}^3$$

10) Ajustes por Corrección por Humedad

Debido a la capacidad de absorción de agua de los agregados grueso y fino, además de su contenido de humedad inicial, la cantidad de agua necesaria para el diseño de mezcla no será precisa, por ello es necesario tomar estos valores en consideración para añadir o retirar agua ya sea el caso además de corregir las cantidades de agregado en masa debido a su humedad interna.

Contenido de humedad del agregado grueso: 0.13%

Contenido de humedad del agregado fino: 2.04%

Absorción del agregado grueso: 33.22%

Absorción del agregado fino: 1.09%

$$W_{agH} = 625.34 \cdot \left(1 + \frac{0.13}{100}\right)$$

$$W_{agH} = 626.15 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{afH} = 416.89 \cdot \left(1 + \frac{2.04}{100}\right)$$

$$W_{afH} = 425.40 \text{ kg/m}^3$$

$$A_w = 625.34 \cdot \left(\frac{33.22 - 0.13}{100}\right) + 416.89 \cdot \left(\frac{1.09 - 2.04}{100}\right)$$

$$A_w = 202.94 \text{ l/m}^3$$

11) Diseño de Mezcla

Tabla 91: Diseño de mezcla "Factorial"- Bravo 1

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	332.31	332.31
Ignimbrita	625.34	626.15
Arena	416.89	425.40
Agua (l/m ³)	216.00	418.94

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con el procedimiento mostrado para la realización de este diseño de mezcla, se procederá a indicar los siguientes diseños en tablas resúmenes, volviendo a realizar un diseño detallado ante cambios de metodología o insumos.

4.2.1.2.1.2 DISEÑO DE MEZCLA 2

Tabla 92: Método de Diseño "Factorial" – Bravo 2

DISEÑO DE MEZCLA BRAVO 2	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 210 \text{ kg/cm}^2 \approx 21\text{MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	$(TMN) = 1/2''$
Selección del Asentamiento	$(Slump) = 3'' \text{ a } 4''$
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m^3
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_1 = 0.650$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 332.31 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.642 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	$Ag. Fino/A. Total = 0.50$
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	553.99 kg/m^3
W_{af}	553.99 kg/m^3
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	554.71 kg/m^3
W_{afH}	565.29 kg/m^3
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	178.04 l/m^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 93: Diseño de mezcla "Factorial"- Bravo 2

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	332.31	332.31
Ignimbrita	553.99	554.71
Arena	553.99	565.29
Agua (l/m^3)	216.00	394.04

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.2.1.3 DISEÑO DE MEZCLA 3

Tabla 94: Método de Diseño "Factorial" – Bravo 3

DISEÑO DE MEZCLA BRAVO 3	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 210 \text{ kg/cm}^2 \approx 21\text{MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	$(TMN) = 1/2''$
Selección del Asentamiento	$(Slump) = 3'' \text{ a } 4''$
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m^3
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_1 = 0.650$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 332.31 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.642 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	$Ag. Fino/A. Total = 0.60$
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	473.03 kg/m^3
W_{af}	709.55 kg/m^3
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	473.65 kg/m^3
W_{afH}	724.03 kg/m^3
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	149.78 l/m^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 95: Diseño de mezcla "Factorial"- Bravo 3

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	332.31	332.31
Ignimbrita	473.03	473.68
Arena	709.55	724.03
Agua (l/m^3)	216.00	365.78

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.2.2 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA $f'_c \approx 280$ KG/CM²

4.2.1.2.2.1 DISEÑO DE MEZCLA 1

Tabla 96: Método de Diseño "Factorial" – Bravo 4

DISEÑO DE MEZCLA BRAVO 4	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 280 \text{ kg/cm}^2 \approx 28\text{MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	(TMN) = 1/2"
Selección del Asentamiento	(Slump) = 3" a 4"
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m ³
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_2 = 0.550$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 392.73 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.621 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	Ag. Fino/A. Total = 0.40
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	604.89 kg/m ³
W_{af}	403.26 kg/m ³
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	605.6 kg/m ³
W_{afH}	411.48 kg/m ³
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	196.30 l/m ³

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 97: Diseño de mezcla "Factorial"- Bravo 4

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	392.73	392.73
Ignimbrita	604.89	605.67
Arena	403.26	411.48
Agua (l/m ³)	216.00	412.30

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.2.2.2 DISEÑO DE MEZCLA 2

Tabla 98: Método de Diseño "Factorial" – Bravo 5

DISEÑO DE MEZCLA BRAVO 5	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 280 \text{ kg/cm}^2 \approx 28\text{MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	$(TMN) = 1/2''$
Selección del Asentamiento	$(Slump) = 3'' \text{ a } 4''$
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m^3
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_2 = 0.550$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 392.73 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.621 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	$Ag. Fino/A. Total = 0.50$
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	535.87 kg/m^3
W_{af}	535.87 kg/m^3
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	536.57 kg/m^3
W_{afH}	546.80 kg/m^3
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	172.21 l/m^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 99: Diseño de mezcla "Factorial"- Bravo 5

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	392.73	392.73
Ignimbrita	535.87	536.57
Arena	535.87	546.80
Agua (l/m^3)	216.00	388.21

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.2.2.3 DISEÑO DE MEZCLA 3

Tabla 100: Método de Diseño "Factorial" – Bravo 6

DISEÑO DE MEZCLA BRAVO 6	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 280 \text{ kg/cm}^2 \approx 28\text{MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	$(TMN) = 1/2''$
Selección del Asentamiento	$(Slump) = 3'' \text{ a } 4''$
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m^3
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_2 = 0.550$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 392.73 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.621 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	$Ag. Fino/A. Total = 0.60$
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	457.56 kg/m^3
W_{af}	686.34 kg/m^3
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	458.16 kg/m^3
W_{afH}	700.34 kg/m^3
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	144.88 l/m^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 101: Diseño de mezcla "Factorial"- Bravo 6

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	392.73	392.73
Ignimbrita	457.56	458.16
Arena	686.34	700.34
Agua (l/m^3)	216.00	360.88

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.2.3 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA $f'_c \approx 350$ KG/CM²

4.2.1.2.3.1 DISEÑO DE MEZCLA 1

Tabla 102: Método de Diseño "Factorial" – Bravo 7

DISEÑO DE MEZCLA BRAVO 7	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 350 \text{ kg/cm}^2 \approx 35 \text{ MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	(TMN) = 1/2"
Selección del Asentamiento	(Slump) = 3" a 4"
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m ³
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_3 = 0.450$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 480.00 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.591 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	$Ag. Fino/A. Total = 0.40$
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	575.66 kg/m ³
W_{af}	383.78 kg/m ³
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	576.41 kg/m ³
W_{afH}	391.61 kg/m ³
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	186.82 l/m ³

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 103: Diseño de mezcla "Factorial"- Bravo 7

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	480.00	480.00
Ignimbrita	575.66	576.41
Arena	383.78	391.61
Agua (l/m ³)	216.00	402.82

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.2.3.2 DISEÑO DE MEZCLA 2

Tabla 104: Método de Diseño "Factorial" – Bravo 8

DISEÑO DE MEZCLA BRAVO 8	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 350 \text{ kg/cm}^2 \approx 35\text{MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	$(TMN) = 1/2''$
Selección del Asentamiento	$(Slump) = 3'' \text{ a } 4''$
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m^3
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_3 = 0.450$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 480.00 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.591 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	$Ag. Fino/A. Total = 0.50$
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	509.98 kg/m^3
W_{af}	509.98 kg/m^3
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	510.65 kg/m^3
W_{afH}	520.39 kg/m^3
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	163.89 l/m^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 105: Diseño de mezcla "Factorial"- Bravo 8

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	480.00	480.00
Ignimbrita	509.98	510.65
Arena	509.98	520.39
Agua (l/m^3)	216.00	379.89

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.2.3.3 DISEÑO DE MEZCLA 3

Tabla 106: Método de Diseño "Factorial" – Bravo 9

DISEÑO DE MEZCLA BRAVO 9	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 350 \text{ kg/cm}^2 \approx 35 \text{ MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	$(TMN) = 1/2''$
Selección del Asentamiento	$(Slump) = 3'' \text{ a } 4''$
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m^3
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_3 = 0.450$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 480.00 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.591 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	$Ag. Fino/A. Total = 0.60$
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	435.46 kg/m^3
W_{af}	653.18 kg/m^3
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	436.02 kg/m^3
W_{afH}	666.51 kg/m^3
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	137.88 l/m^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 107: Diseño de mezcla "Factorial"- Bravo 9

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	480.00	480.00
Ignimbrita	435.46	436.02
Arena	653.18	666.51
Agua	216.00	353.88

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.3 DISEÑO DE MEZCLA CON MATERIAL DE PUNTO “CHARLIE”

4.2.1.3.1 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA $f'c \approx 210$ KG/CM²

4.2.1.3.1.1 DISEÑO DE MEZCLA 1

1) Selección de la Resistencia

Para el presente diseño se trabajará con una resistencia mínima a la compresión aproximada sin incrementos al siguiente valor:

$$f'_c \approx 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_c \approx 21 \text{ MPa}$$

2) Selección del Tamaño Máximo Nominal

El Tamaño Máximo Nominal (TMN) para este diseño de mezcla no se obtuvo en base a su aplicación, más en el agregado que se obtuvo cumpliendo las dimensiones de la ASTM C 330.

$$\text{Tamaño Máximo Nominal (TMN)} = 1/2''$$

3) Selección del Asentamiento

Se tomará por selección un asentamiento que permita un concreto trabajable para la mayor parte de estructuras, cumpliendo una función estructural.

$$\text{Asentamiento (Slump)} = 3'' \text{ a } 4''$$

4) Selección del Volumen Unitario de Agua

Como se muestra en la Tabla 8 del ítem 3.2.1.4, el contenido de agua depende de 3 factores, del TMN, del asentamiento y de si se presenta aire incorporado. Dado que este diseño solo considera aire atrapado el volumen unitario de agua será el siguiente:

$$\text{Volumen Unitario de Agua} = 216 \text{ l/m}^3$$

5) Selección del Contenido de Aire

El contenido de aire, tal como se vio en el capítulo anterior, es una función del tamaño máximo nominal, dado lo anterior y que no se incorporará aire se obtiene lo siguiente según la Tabla 9:

$$\text{Contenido de Aire} = 2.5\%$$

6) Selección de la Relación Agua/Cemento

Con el propósito de obtener la resistencia a la compresión descrita anteriormente, es necesario aplicar una razón adecuada de cemento para la cantidad de agua previamente elegida.

Debido a que se tomó como referencias las resistencias de 210, 280 y 350 kg/cm², se buscó de una manera inicial calcular sus respectivas relaciones agua/cemento de acuerdo a la Tabla 11, en la sección sin aire incorporado, interpolando los valores que sean necesarios.

$$a/c_{210} = 0.684 \quad a/c_{280} = 0.578 \quad a/c_{350} = 0.480$$

Con el fin de uniformizar los valores a incrementos iguales, se decidió variar las relaciones agua/cemento para obtener crecimientos de 0.100, eligiéndose lo siguiente para este diseño de mezcla:

$$a/c_1 = 0.650$$

7) Selección del Contenido de Cemento

Dados los datos anteriormente calculados, es posible hallar la cantidad de cemento que es requerida para obtener los resultados de resistencia deseados de acuerdo a las recomendaciones de diseño propuestas en la ACI 211.

$$C = \frac{216 \text{ kg/m}^3}{0.65}$$

$$C = 332.31 \text{ kg/m}^3$$

8) Volumen de Agregados en Mezcla

Completados los pasos anteriores, es posible calcular el volumen de agregados necesarios para producir un metro cúbico de mezcla de concreto. Para ello se debe de restar a la unidad los volúmenes de los ingredientes ya contabilizados anteriormente.

$$v_{at} = 1 - \left(\frac{332.31 \text{ kg}}{2850 \text{ kg/m}^3} + \frac{216 \text{ l}}{1000 \text{ l/m}^3} + 2.50\% \times 1 \text{ m}^3 \right)$$

$$v_{at} = 1 - (0.117 + 0.216 + .025)$$

$$v_{at} = 0.642 \text{ m}^3$$

9) Selección del Contenido de Agregados

Conocido el volumen destinado a ser empleado de agregados en total, es requerido diferenciar la cantidad de cada uno de ellos. Para ello se vio adecuado usar en este diseño de mezcla la siguiente relación de agregados en masa:

$$\text{Agregado Fino/Agregado Total} = 0.40$$

Con ello es posible hallar una solución a las dos ecuaciones presentadas en el ítem 3.2.1.9 las cuales indicarán la cantidad en masa de cada uno de los agregados.

$$\frac{W_{ag}}{133.92 \text{ kg/m}^3} + \frac{W_{af}}{2592.56 \text{ kg/m}^3} = 0.642 \text{ m}^3$$

$$\frac{W_{af}}{W_{ag} + W_{af}} = 0.40$$

Aplicando un solucionador de ecuaciones es posible hallar los valores para el agregado grueso y para el agregado fino.

$$W_{ag} = 629.58 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{af} = 419.72 \text{ kg/m}^3$$

10) Ajustes por Corrección por Humedad

Debido a la capacidad de absorción de agua de los agregados grueso y fino, además de su contenido de humedad inicial, la cantidad de agua necesaria para el diseño de mezcla no será precisa, por ello es necesario tomar estos valores en consideración para añadir o retirar agua ya sea el caso además de corregir las cantidades de agregado en masa debido a su humedad interna.

Contenido de humedad del agregado grueso: 0.12%

Contenido de humedad del agregado fino: 2.04%

Absorción del agregado grueso: 32.69%

Absorción del agregado fino: 1.09%

$$W_{agH} = 629.58 \cdot \left(1 + \frac{0.12}{100}\right)$$

$$W_{agH} = 630.33 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{afH} = 419.72 \cdot \left(1 + \frac{2.04}{100}\right)$$

$$W_{afH} = 428.28 \text{ kg/m}^3$$

$$A_w = 629.58 \cdot \left(\frac{32.69 - 0.13}{100}\right) + 419.72 \cdot \left(\frac{1.09 - 2.04}{100}\right)$$

$$A_w = 201.04 \text{ l/m}^3$$

11) Diseño de Mezcla

Tabla 108: Diseño de mezcla "Factorial"- Charlie 1

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	332.31	332.31
Ignimbrita	629.58	630.33
Arena	419.72	428.28
Agua (l/m ³)	216.00	417.04

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con el procedimiento mostrado para la realización de este diseño de mezcla, se procederá a indicar los siguientes diseños en tablas resúmenes, volviendo a realizar un diseño detallado ante cambios de metodología o insumos.

4.2.1.3.1.2 DISEÑO DE MEZCLA 2

Tabla 109: Método de Diseño "Factorial" – Charlie 2

DISEÑO DE MEZCLA CHARLIE 2	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 210 \text{ kg/cm}^2 \approx 21\text{MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	$(TMN) = 1/2''$
Selección del Asentamiento	$(Slump) = 3'' \text{ a } 4''$
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m^3
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_1 = 0.650$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 332.31 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.642 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	$Ag. Fino/A. Total = 0.50$
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	557.31 kg/m^3
W_{af}	557.31 kg/m^3
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	557.98 kg/m^3
W_{afH}	568.68 kg/m^3
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	176.21 l/m^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 110: Diseño de mezcla "Factorial"- Charlie 2

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	332.31	332.31
Ignimbrita	557.31	557.98
Arena	557.31	568.68
Agua (l/m^3)	216.00	392.21

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.3.1.3 DISEÑO DE MEZCLA 3

Tabla 111: Método de Diseño "Factorial" – Charlie 3

DISEÑO DE MEZCLA CHARLIE 3	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 210 \text{ kg/cm}^2 \approx 21\text{MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	$(TMN) = 1/2''$
Selección del Asentamiento	$(Slump) = 3'' \text{ a } 4''$
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m^3
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_1 = 0.650$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 332.31 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.642 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	$Ag. Fino/A. Total = 0.60$
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	475.45 kg/m^3
W_{af}	713.18 kg/m^3
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	476.02 kg/m^3
W_{afH}	727.73 kg/m^3
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	148.07 l/m^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 112: Diseño de mezcla "Factorial"- Charlie 3

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	332.31	332.31
Ignimbrita	475.45	476.02
Arena	713.18	727.73
Agua (l/m^3)	216.00	364.07

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.3.2 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA $f'_c \approx 280$
KG/CM²

4.2.1.3.2.1 DISEÑO DE MEZCLA 1

Tabla 113: Método de Diseño "Factorial" – Charlie 4

DISEÑO DE MEZCLA CHARLIE 4	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 280 \text{ kg/cm}^2 \approx 28\text{MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	(TMN) = 1/2"
Selección del Asentamiento	(Slump) = 3" a 4"
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m ³
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_2 = 0.550$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 392.73 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.621 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	$Ag. Fino/A. Total = 0.40$
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	608.98 kg/m ³
W_{af}	405.99 kg/m ³
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	609.71 kg/m ³
W_{afH}	414.27 kg/m ³
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	194.47 l/m ³

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 114: Diseño de mezcla "Factorial"- Charlie 4

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	392.73	392.73
Ignimbrita	608.98	609.71
Arena	405.99	414.27
Agua (l/m ³)	216.00	410.47

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.3.2.2 DISEÑO DE MEZCLA 2

Tabla 115: Método de Diseño "Factorial" – Charlie 5

DISEÑO DE MEZCLA CHARLIE 5	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 280 \text{ kg/cm}^2 \approx 28\text{MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	$(TMN) = 1/2''$
Selección del Asentamiento	$(Slump) = 3'' \text{ a } 4''$
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m^3
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_2 = 0.550$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 392.73 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.621 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	$Ag. Fino/A. Total = 0.50$
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	539.08 kg/m^3
W_{af}	539.08 kg/m^3
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	539.73 kg/m^3
W_{afH}	550.08 kg/m^3
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	170.44 l/m^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 116: Diseño de mezcla "Factorial"- Charlie 5

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	392.73	392.73
Ignimbrita	539.08	539.73
Arena	539.08	550.08
Agua (l/m^3)	216.00	386.44

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.3.2.3 DISEÑO DE MEZCLA 3

Tabla 117: Método de Diseño "Factorial" – Charlie 6

DISEÑO DE MEZCLA CHARLIE 6	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 280 \text{ kg/cm}^2 \approx 28\text{MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	$(TMN) = 1/2''$
Selección del Asentamiento	$(Slump) = 3'' \text{ a } 4''$
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m^3
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_2 = 0.550$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 392.73 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.621 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	$Ag. Fino/A. Total = 0.60$
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	459.90 kg/m^3
W_{af}	689.85 kg/m^3
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	460.45 kg/m^3
W_{afH}	703.93 kg/m^3
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	143.23 l/m^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 118: Diseño de mezcla "Factorial"- Charlie 6

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	392.73	392.73
Ignimbrita	459.90	460.45
Arena	689.85	703.93
Agua (l/m^3)	216.00	359.23

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.3.3 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA $f'_c \approx 350$ KG/CM²

4.2.1.3.3.1 DISEÑO DE MEZCLA 1

Tabla 119: Método de Diseño "Factorial" – Charlie 7

DISEÑO DE MEZCLA CHARLIE 7	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 350 \text{ kg/cm}^2 \approx 35 \text{ MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	$(TMN) = 1/2''$
Selección del Asentamiento	$(Slump) = 3'' \text{ a } 4''$
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m^3
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_3 = 0.450$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 480.00 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.591 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	$Ag. Fino/A. Total = 0.40$
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	579.56 kg/m^3
W_{af}	386.38 kg/m^3
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	580.26 kg/m^3
W_{afH}	394.26 kg/m^3
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	185.07 l/m^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 120: Diseño de mezcla "Factorial"- Charlie 7

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	480.00	480.00
Ignimbrita	579.56	580.26
Arena	386.38	394.26
Agua (l/m^3)	216.00	401.07

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.3.3.2 DISEÑO DE MEZCLA 2

Tabla 121: Método de Diseño "Factorial" – Charlie 8

DISEÑO DE MEZCLA CHARLIE 8	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 350 \text{ kg/cm}^2 \approx 35\text{MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	$(TMN) = 1/2''$
Selección del Asentamiento	$(Slump) = 3'' \text{ a } 4''$
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m^3
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_3 = 0.450$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 480.00 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.591 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	$Ag. Fino/A. Total = 0.50$
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	513.04 kg/m^3
W_{af}	513.04 kg/m^3
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	513.66 kg/m^3
W_{afH}	523.51 kg/m^3
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	162.21 l/m^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 122: Diseño de mezcla "Factorial"- Charlie 8

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	480.00	480.00
Ignimbrita	513.04	513.66
Arena	513.04	523.51
Agua (l/m^3)	216.00	378.21

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.3.3.3 DISEÑO DE MEZCLA 3

Tabla 123: Método de Diseño "Factorial" – Charlie 9

DISEÑO DE MEZCLA CHARLIE 9	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 350 \text{ kg/cm}^2 \approx 35\text{MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	$(TMN) = 1/2''$
Selección del Asentamiento	$(Slump) = 3'' \text{ a } 4''$
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m^3
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_3 = 0.450$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 480.00 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.591 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	$Ag. Fino/A. Total = 0.60$
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	437.68 kg/m^3
W_{af}	656.53 kg/m^3
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	438.21 kg/m^3
W_{afH}	669.92 kg/m^3
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	136.31 l/m^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 124: Diseño de mezcla "Factorial"- Charlie 9

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	480.00	480.00
Ignimbrita	437.68	438.21
Arena	656.53	669.92
Agua (l/m^3)	216.00	352.31

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.4 DISEÑO DE MEZCLA CON MATERIAL DE PUNTO “DELTA”

4.2.1.4.1 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA $f'_c \approx 210$ KG/CM²

4.2.1.4.1.1 DISEÑO DE MEZCLA 1

1) Selección de la Resistencia

Para el presente diseño se trabajará con una resistencia mínima a la compresión aproximada sin incrementos al siguiente valor:

$$f'_c \approx 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_c \approx 21 \text{ MPa}$$

2) Selección del Tamaño Máximo Nominal

El Tamaño Máximo Nominal (TMN) para este diseño de mezcla no se obtuvo en base a su aplicación, más en el agregado que se obtuvo cumpliendo las dimensiones de la ASTM C 330.

$$\text{Tamaño Máximo Nominal (TMN)} = 1/2''$$

3) Selección del Asentamiento

Se tomará por selección un asentamiento que permita un concreto trabajable para la mayor parte de estructuras, cumpliendo una función estructural.

$$\text{Asentamiento (Slump)} = 3'' \text{ a } 4''$$

4) Selección del Volumen Unitario de Agua

Como se muestra en la Tabla 8 del ítem 3.2.1.4, el contenido de agua depende de 3 factores, del TMN, del asentamiento y de si se presenta aire incorporado. Dado que este diseño solo considera aire atrapado el volumen unitario de agua será el siguiente:

$$\text{Volumen Unitario de Agua} = 216 \text{ l/m}^3$$

5) Selección del Contenido de Aire

El contenido de aire, tal como se vio en el capítulo anterior, es una función del tamaño máximo nominal, dado lo anterior y que no se incorporará aire se obtiene lo siguiente según la Tabla 9:

$$\text{Contenido de Aire} = 2.5\%$$

6) Selección de la Relación Agua/Cemento

Con el propósito de obtener la resistencia a la compresión descrita anteriormente, es necesario aplicar una razón adecuada de cemento para la cantidad de agua previamente elegida.

Debido a que se tomó como referencias las resistencias de 210, 280 y 350 kg/cm², se buscó de una manera inicial calcular sus respectivas relaciones agua/cemento de acuerdo a la Tabla 11, en la sección sin aire incorporado, interpolando los valores que sean necesarios.

$$a/c_{210} = 0.684 \quad a/c_{280} = 0.578 \quad a/c_{350} = 0.480$$

Con el fin de uniformizar los valores a incrementos iguales, se decidió variar las relaciones agua/cemento para obtener crecimientos de 0.100, eligiéndose lo siguiente para este diseño de mezcla:

$$a/c_1 = 0.650$$

7) Selección del Contenido de Cemento

Dados los datos anteriormente calculados, es posible hallar la cantidad de cemento que es requerida para obtener los resultados de resistencia deseados de acuerdo a las recomendaciones de diseño propuestas en la ACI 211.

$$C = \frac{216 \text{ kg/m}^3}{0.65}$$

$$C = 332.31 \text{ kg/m}^3$$

8) Volumen de Agregados en Mezcla

Completados los pasos anteriores, es posible calcular el volumen de agregados necesarios para producir un metro cúbico de mezcla de concreto. Para ello se debe de restar a la unidad los volúmenes de los ingredientes ya contabilizados anteriormente.

$$v_{at} = 1 - \left(\frac{332.31 \text{ kg}}{2850 \text{ kg/m}^3} + \frac{216 \text{ l}}{1000 \text{ l/m}^3} + 2.50\% \times 1 \text{ m}^3 \right)$$

$$v_{at} = 1 - (0.117 + 0.216 + .025)$$

$$v_{at} = 0.642 \text{ m}^3$$

9) Selección del Contenido de Agregados

Conocido el volumen destinado a ser empleado de agregados en total, es requerido diferenciar la cantidad de cada uno de ellos. Para ello se vio adecuado usar en este diseño de mezcla la siguiente relación de agregados en masa:

$$\text{Agregado Fino/Agregado Total} = 0.40$$

Con ello es posible hallar una solución a las dos ecuaciones presentadas en el ítem 3.2.1.9 las cuales indicarán la cantidad en masa de cada uno de los agregados.

$$\frac{W_{ag}}{133.92 \text{ kg/m}^3} + \frac{W_{af}}{2592.56 \text{ kg/m}^3} = 0.642 \text{ m}^3$$

$$\frac{W_{af}}{W_{ag} + W_{af}} = 0.40$$

Aplicando un solucionador de ecuaciones es posible hallar los valores para el agregado grueso y para el agregado fino.

$$W_{ag} = 641.13 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{af} = 427.42 \text{ kg/m}^3$$

10) Ajustes por Corrección por Humedad

Debido a la capacidad de absorción de agua de los agregados grueso y fino, además de su contenido de humedad inicial, la cantidad de agua necesaria para el diseño de mezcla no será precisa, por ello es necesario tomar estos valores en consideración para añadir o retirar agua ya sea el caso además de corregir las cantidades de agregado en masa debido a su humedad interna.

Contenido de humedad del agregado grueso: 0.13%

Contenido de humedad del agregado fino: 2.04%

Absorción del agregado grueso: 32.04%

Absorción del agregado fino: 1.09%

$$W_{agH} = 641.13 \cdot \left(1 + \frac{0.13}{100}\right)$$

$$W_{agH} = 641.96 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{afH} = 427.42 \cdot \left(1 + \frac{2.04}{100}\right)$$

$$W_{afH} = 436.14 \text{ kg/m}^3$$

$$A_w = 641.13 \cdot \left(\frac{32.04 - 0.13}{100}\right) + 427.42 \cdot \left(\frac{1.09 - 2.04}{100}\right)$$

$$A_w = 200.54 \text{ l/m}^3$$

11) Diseño de Mezcla

Tabla 125: Diseño de mezcla "Factorial" - Delta 1

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	332.31	332.31
Ignimbrita	641.13	641.96
Arena	427.42	436.14
Agua (l/m ³)	216.00	416.54

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con el procedimiento mostrado para la realización de este diseño de mezcla, se procederá a indicar los siguientes diseños en tablas resúmenes, volviendo a realizar un diseño detallado ante cambios de metodología o insumos.

4.2.1.4.1.2 DISEÑO DE MEZCLA 2

Tabla 126: Método de Diseño "Factorial" – Delta 2

DISEÑO DE MEZCLA DELTA 2	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 210 \text{ kg/cm}^2 \approx 21\text{MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	(TMN) = 1/2"
Selección del Asentamiento	(Slump) = 3" a 4"
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m ³
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_1 = 0.650$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 332.31 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.642 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	Ag. Fino/A. Total = 0.50
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	566.34 kg/m ³
W_{af}	566.34 kg/m ³
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	567.08 kg/m ³
W_{afH}	577.90 kg/m ³
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	175.36 l/m ³

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 127: Diseño de mezcla "Factorial" - Delta 2

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	332.31	332.31
Ignimbrita	566.34	567.08
Arena	566.34	577.90
Agua (l/m ³)	216.00	391.36

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.4.1.3 DISEÑO DE MEZCLA 3

Tabla 128: Método de Diseño "Factorial" – Delta 3

DISEÑO DE MEZCLA DELTA 3	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 210 \text{ kg/cm}^2 \approx 21\text{MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	$(TMN) = 1/2''$
Selección del Asentamiento	$(Slump) = 3'' \text{ a } 4''$
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m^3
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_1 = 0.650$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 332.31 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.642 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	$Ag. Fino/A. Total = 0.60$
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	482.01 kg/m^3
W_{af}	723.02 kg/m^3
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	482.64 kg/m^3
W_{afH}	737.77 kg/m^3
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	146.96 l/m^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 129: Diseño de mezcla "Factorial" - Delta 3

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	332.31	332.31
Ignimbrita	482.01	482.64
Arena	723.02	737.77
Agua (l/m^3)	216.00	362.96

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.4.2 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA $f'_c \approx 280$ KG/CM²

4.2.1.4.2.1 DISEÑO DE MEZCLA 1

Tabla 130: Método de Diseño "Factorial" – Delta 4

DISEÑO DE MEZCLA DELTA 4	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 280 \text{ kg/cm}^2 \approx 28\text{MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	(TMN) = 1/2"
Selección del Asentamiento	(Slump) = 3" a 4"
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m ³
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_2 = 0.550$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 392.73 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.621 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	$Ag. Fino/A. Total = 0.40$
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	620.15 kg/m ³
W_{af}	413.44 kg/m ³
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	620.96 kg/m ³
W_{afH}	421.87 kg/m ³
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	193.98 l/m ³

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 131: Diseño de mezcla "Factorial" - Delta 4

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	392.73	392.73
Ignimbrita	620.15	620.96
Arena	413.44	421.87
Agua (l/m ³)	216.00	409.98

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.4.2.2 DISEÑO DE MEZCLA 2

Tabla 132: Método de Diseño "Factorial" – Delta 5

DISEÑO DE MEZCLA DELTA 5	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 280 \text{ kg/cm}^2 \approx 28\text{MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	$(TMN) = 1/2''$
Selección del Asentamiento	$(Slump) = 3'' \text{ a } 4''$
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m^3
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_2 = 0.550$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 392.73 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.621 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	$Ag. Fino/A. Total = 0.50$
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	547.88 kg/m^3
W_{af}	547.88 kg/m^3
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	548.59 kg/m^3
W_{afH}	559.06 kg/m^3
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	169.65 l/m^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 133: Diseño de mezcla "Factorial" - Delta 5

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	392.73	392.73
Ignimbrita	547.88	548.59
Arena	547.88	559.06
Agua (l/m^3)	216.00	385.65

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.4.2.3 DISEÑO DE MEZCLA 3

Tabla 134: Método de Diseño "Factorial" – Delta 6

DISEÑO DE MEZCLA DELTA 6	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 280 \text{ kg/cm}^2 \approx 28\text{MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	$(TMN) = 1/2''$
Selección del Asentamiento	$(Slump) = 3'' \text{ a } 4''$
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m^3
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_2 = 0.550$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 392.73 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.621 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	$Ag. Fino/A. Total = 0.60$
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	466.24 kg/m^3
W_{af}	699.37 kg/m^3
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	466.85 kg/m^3
W_{afH}	713.63 kg/m^3
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	142.16 l/m^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 135: Diseño de mezcla "Factorial" - Delta 6

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	392.73	392.73
Ignimbrita	466.24	466.85
Arena	699.37	713.63
Agua (l/m^3)	216.00	358.16

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.4.3 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA $f'_c \approx 350$ KG/CM²

4.2.1.4.3.1 DISEÑO DE MEZCLA 1

Tabla 136: Método de Diseño "Factorial" – Delta 7

DISEÑO DE MEZCLA DELTA 7	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 350 \text{ kg/cm}^2 \approx 35 \text{ MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	$(TMN) = 1/2''$
Selección del Asentamiento	$(Slump) = 3'' \text{ a } 4''$
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m^3
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_3 = 0.450$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 480.00 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.591 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	$Ag. Fino/A. Total = 0.40$
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	590.19 kg/m^3
W_{af}	393.46 kg/m^3
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	590.96 kg/m^3
W_{afH}	401.49 kg/m^3
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	184.61 l/m^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 137: Diseño de mezcla "Factorial" - Delta 7

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	480.00	480.00
Ignimbrita	590.19	590.96
Arena	393.46	401.49
Agua (l/m^3)	216.00	400.61

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.4.3.2 DISEÑO DE MEZCLA 2

Tabla 138: Método de Diseño "Factorial" – Delta 8

DISEÑO DE MEZCLA DELTA 8	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 350 \text{ kg/cm}^2 \approx 35\text{MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	$(TMN) = 1/2''$
Selección del Asentamiento	$(Slump) = 3'' \text{ a } 4''$
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m^3
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_3 = 0.450$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 480.00 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.591 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	$Ag. Fino/A. Total = 0.50$
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	521.35 kg/m^3
W_{af}	521.35 kg/m^3
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	522.03 kg/m^3
W_{afH}	531.99 kg/m^3
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	161.43 l/m^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 139: Diseño de mezcla "Factorial" - Delta 8

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	480.00	480.00
Ignimbrita	521.35	522.03
Arena	521.35	531.99
Agua (l/m^3)	216.00	377.43

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.4.3.3 DISEÑO DE MEZCLA 3

Tabla 140: Método de Diseño "Factorial" – Delta 9

DISEÑO DE MEZCLA DELTA 9	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 350 \text{ kg/cm}^2 \approx 35 \text{ MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	$(TMN) = 1/2''$
Selección del Asentamiento	$(Slump) = 3'' \text{ a } 4''$
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m^3
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_3 = 0.450$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 480.00 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.591 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	$Ag. Fino/A. Total = 0.60$
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	443.72 kg/m^3
W_{af}	665.58 kg/m^3
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	444.30 kg/m^3
W_{afH}	679.16 kg/m^3
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	135.29 l/m^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 141: Diseño de mezcla "Factorial" - Delta 9

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	480.00	480.00
Ignimbrita	443.72	444.30
Arena	665.58	679.16
Agua (l/m^3)	216.00	351.29

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.5 DISEÑO DE MEZCLA CON MATERIAL DE PUNTO “ECCO”

4.2.1.5.1 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA $f'c \approx 210$ KG/CM²

4.2.1.5.1.1 DISEÑO DE MEZCLA 1

1) Selección de la Resistencia

Para el presente diseño se trabajará con una resistencia mínima a la compresión aproximada sin incrementos al siguiente valor:

$$f'_c \approx 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_c \approx 21 \text{ MPa}$$

2) Selección del Tamaño Máximo Nominal

El Tamaño Máximo Nominal (TMN) para este diseño de mezcla no se obtuvo en base a su aplicación, más en el agregado que se obtuvo cumpliendo las dimensiones de la ASTM C 330.

$$\text{Tamaño Máximo Nominal (TMN)} = 1/2''$$

3) Selección del Asentamiento

Se tomará por selección un asentamiento que permita un concreto trabajable para la mayor parte de estructuras, cumpliendo una función estructural.

$$\text{Asentamiento (Slump)} = 3'' \text{ a } 4''$$

4) Selección del Volumen Unitario de Agua

Como se muestra en la Tabla 8 del ítem 3.2.1.4, el contenido de agua depende de 3 factores, del TMN, del asentamiento y de si se presenta aire incorporado. Dado que este diseño solo considera aire atrapado el volumen unitario de agua será el siguiente:

$$\text{Volumen Unitario de Agua} = 216 \text{ l/m}^3$$

5) Selección del Contenido de Aire

El contenido de aire, tal como se vio en el capítulo anterior, es una función del tamaño máximo nominal, dado lo anterior y que no se incorporará aire se obtiene lo siguiente según la Tabla 9:

$$\text{Contenido de Aire} = 2.5\%$$

6) Selección de la Relación Agua/Cemento

Con el propósito de obtener la resistencia a la compresión descrita anteriormente, es necesario aplicar una razón adecuada de cemento para la cantidad de agua previamente elegida.

Debido a que se tomó como referencias las resistencias de 210, 280 y 350 kg/cm², se buscó de una manera inicial calcular sus respectivas relaciones agua/cemento de acuerdo a la Tabla 11, en la sección sin aire incorporado, interpolando los valores que sean necesarios.

$$a/c_{210} = 0.684 \quad a/c_{280} = 0.578 \quad a/c_{350} = 0.480$$

Con el fin de uniformizar los valores a incrementos iguales, se decidió variar las relaciones agua/cemento para obtener crecimientos de 0.100, eligiéndose lo siguiente para este diseño de mezcla:

$$a/c_1 = 0.650$$

7) Selección del Contenido de Cemento

Dados los datos anteriormente calculados, es posible hallar la cantidad de cemento que es requerida para obtener los resultados de resistencia deseados de acuerdo a las recomendaciones de diseño propuestas en la ACI 211.

$$C = \frac{216 \text{ kg/m}^3}{0.65}$$

$$C = 332.31 \text{ kg/m}^3$$

8) Volumen de Agregados en Mezcla

Completados los pasos anteriores, es posible calcular el volumen de agregados necesarios para producir un metro cúbico de mezcla de concreto. Para ello se debe de restar a la unidad los volúmenes de los ingredientes ya contabilizados anteriormente.

$$v_{at} = 1 - \left(\frac{332.31 \text{ kg}}{2850 \text{ kg/m}^3} + \frac{216 \text{ l}}{1000 \text{ l/m}^3} + 2.50\% \times 1 \text{ m}^3 \right)$$

$$v_{at} = 1 - (0.117 + 0.216 + .025)$$

$$v_{at} = 0.642 \text{ m}^3$$

9) Selección del Contenido de Agregados

Conocido el volumen destinado a ser empleado de agregados en total, es requerido diferenciar la cantidad de cada uno de ellos. Para ello se vio adecuado usar en este diseño de mezcla la siguiente relación de agregados en masa:

$$\text{Agregado Fino/Agregado Total} = 0.40$$

Con ello es posible hallar una solución a las dos ecuaciones presentadas en el ítem 3.2.1.9 las cuales indicarán la cantidad en masa de cada uno de los agregados.

$$\frac{W_{ag}}{133.92 \text{ kg/m}^3} + \frac{W_{af}}{2592.56 \text{ kg/m}^3} = 0.642 \text{ m}^3$$

$$\frac{W_{af}}{W_{ag} + W_{af}} = 0.40$$

Aplicando un solucionador de ecuaciones es posible hallar los valores para el agregado grueso y para el agregado fino.

$$W_{ag} = 633.09 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{af} = 422.06 \text{ kg/m}^3$$

10) Ajustes por Corrección por Humedad

Debido a la capacidad de absorción de agua de los agregados grueso y fino, además de su contenido de humedad inicial, la cantidad de agua necesaria para el diseño de mezcla no será precisa, por ello es necesario tomar estos valores en consideración para añadir o retirar agua ya sea el caso además de corregir las cantidades de agregado en masa debido a su humedad interna.

Contenido de humedad del agregado grueso: 0.12%

Contenido de humedad del agregado fino: 2.04%

Absorción del agregado grueso: 32.45%

Absorción del agregado fino: 1.09%

$$W_{agH} = 633.09 \cdot \left(1 + \frac{0.12}{100}\right)$$

$$W_{agH} = 633.85 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{afH} = 422.06 \cdot \left(1 + \frac{2.04}{100}\right)$$

$$W_{afH} = 430.67 \text{ kg/m}^3$$

$$A_w = 633.09 \cdot \left(\frac{32.45 - 0.12}{100}\right) + 422.06 \cdot \left(\frac{1.09 - 2.04}{100}\right)$$

$$A_w = 200.68 \text{ l/m}^3$$

11) Diseño de Mezcla

Tabla 142: Diseño de mezcla "Factorial" - Ecco 1

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	332.31	332.31
Ignimbrita	633.09	633.85
Arena	422.06	430.67
Agua (l/m ³)	216.00	416.68

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con el procedimiento mostrado para la realización de este diseño de mezcla, se procederá a indicar los siguientes diseños en tablas resúmenes, volviendo a realizar un diseño detallado ante cambios de metodología o insumos.

4.2.1.5.1.2 DISEÑO DE MEZCLA 2

Tabla 143: Método de Diseño "Factorial" – Ecco 2

DISEÑO DE MEZCLA ECCO 2	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 210 \text{ kg/cm}^2 \approx 21\text{MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	$(TMN) = 1/2''$
Selección del Asentamiento	$(Slump) = 3'' \text{ a } 4''$
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m^3
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_1 = 0.650$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 332.31 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.642 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	$Ag. Fino/A. Total = 0.50$
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	560.07 kg/m^3
W_{af}	560.07 kg/m^3
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	560.74 kg/m^3
W_{afH}	571.49 kg/m^3
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	175.76 l/m^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 144: Diseño de mezcla "Factorial" - Ecco 2

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	332.31	332.31
Ignimbrita	560.07	560.74
Arena	560.07	571.49
Agua (l/m^3)	216.00	391.76

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.5.1.3 DISEÑO DE MEZCLA 3

Tabla 145: Método de Diseño "Factorial" – Ecco 3

DISEÑO DE MEZCLA ECCO 3	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 210 \text{ kg/cm}^2 \approx 21\text{MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	$(TMN) = 1/2''$
Selección del Asentamiento	$(Slump) = 3'' \text{ a } 4''$
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m^3
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_1 = 0.650$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 332.31 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.642 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	$Ag. Fino/A. Total = 0.60$
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	477.46 kg/m^3
W_{af}	716.18 kg/m^3
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	478.03 kg/m^3
W_{afH}	730.79 kg/m^3
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	147.57 l/m^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 146: Diseño de mezcla "Factorial" - Ecco 3

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	332.31	332.31
Ignimbrita	477.46	478.03
Arena	716.18	730.79
Agua (l/m^3)	216.00	363.57

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.5.2 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA $f'_c \approx 280$ KG/CM²

4.2.1.5.2.1 DISEÑO DE MEZCLA 1

Tabla 147: Método de Diseño "Factorial" – Ecco 4

DISEÑO DE MEZCLA ECCO 4	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 280 \text{ kg/cm}^2 \approx 28\text{MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	$(TMN) = 1/2''$
Selección del Asentamiento	$(Slump) = 3'' \text{ a } 4''$
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m^3
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_2 = 0.550$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 392.73 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.621 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	$Ag. Fino/A. Total = 0.40$
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	612.38 kg/m^3
W_{af}	408.26 kg/m^3
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	613.12 kg/m^3
W_{afH}	416.58 kg/m^3
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	194.11 l/m^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 148: Diseño de mezcla "Factorial" - Ecco 4

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	392.73	392.73
Ignimbrita	612.38	613.12
Arena	408.26	416.58
Agua (l/m^3)	216.00	410.11

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.5.2.2 DISEÑO DE MEZCLA 2

Tabla 149: Método de Diseño "Factorial" – Ecco 5

DISEÑO DE MEZCLA ECCO 5	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 280 \text{ kg/cm}^2 \approx 28\text{MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	$(TMN) = 1/2''$
Selección del Asentamiento	$(Slump) = 3'' \text{ a } 4''$
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m^3
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_2 = 0.550$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 392.73 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.621 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	$Ag. Fino/A. Total = 0.50$
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	541.75 kg/m^3
W_{af}	541.75 kg/m^3
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	542.40 kg/m^3
W_{afH}	552.80 kg/m^3
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	170.01 l/m^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 150: Diseño de mezcla "Factorial" - Ecco 5

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	392.73	392.73
Ignimbrita	541.75	542.40
Arena	541.75	552.80
Agua (l/m^3)	216.00	386.01

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.5.2.3 DISEÑO DE MEZCLA 3

Tabla 151: Método de Diseño "Factorial" – Ecco 6

DISEÑO DE MEZCLA ECCO 6	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 280 \text{ kg/cm}^2 \approx 28\text{MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	$(TMN) = 1/2''$
Selección del Asentamiento	$(Slump) = 3'' \text{ a } 4''$
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m^3
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_2 = 0.550$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 392.73 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.621 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	$Ag. Fino/A. Total = 0.60$
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	461.84 kg/m^3
W_{af}	692.76 kg/m^3
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	462.39 kg/m^3
W_{afH}	706.89 kg/m^3
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	142.74 l/m^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 152: Diseño de mezcla "Factorial" - Ecco 6

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	392.73	392.73
Ignimbrita	461.84	462.39
Arena	692.76	706.89
Agua (l/m^3)	216.00	358.74

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.5.3 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA $f'_c \approx 350$ KG/CM²

4.2.1.5.3.1 DISEÑO DE MEZCLA 1

Tabla 153: Método de Diseño "Factorial" – Ecco 7

DISEÑO DE MEZCLA ECCO 7	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 350 \text{ kg/cm}^2 \approx 35 \text{ MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	$(TMN) = 1/2''$
Selección del Asentamiento	$(Slump) = 3'' \text{ a } 4''$
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m^3
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_3 = 0.450$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 480.00 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.591 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	$Ag. Fino/A. Total = 0.40$
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	582.80 kg/m^3
W_{af}	388.53 kg/m^3
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	583.50 kg/m^3
W_{afH}	396.46 kg/m^3
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	184.74 l/m^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 154: Diseño de mezcla "Factorial" - Ecco 7

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	480.00	480.00
Ignimbrita	582.80	583.50
Arena	388.53	396.46
Agua (l/m ³)	216.00	400.74

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.5.3.2 DISEÑO DE MEZCLA 2

Tabla 155: Método de Diseño "Factorial" – Ecco 8

DISEÑO DE MEZCLA ECCO 8	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 350 \text{ kg/cm}^2 \approx 35\text{MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	$(TMN) = 1/2''$
Selección del Asentamiento	$(Slump) = 3'' \text{ a } 4''$
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m^3
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_3 = 0.450$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 480.00 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.591 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	$Ag. Fino/A. Total = 0.50$
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	515.56 kg/m^3
W_{af}	515.56 kg/m^3
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	516.18 kg/m^3
W_{afH}	526.07 kg/m^3
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	161.79 l/m^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 156: Diseño de mezcla "Factorial" - Ecco 8

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	480.00	480.00
Ignimbrita	515.56	516.18
Arena	515.56	526.07
Agua (l/m^3)	216.00	377.79

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.5.3.3 DISEÑO DE MEZCLA 3

Tabla 157: Método de Diseño "Factorial" – Ecco 9

DISEÑO DE MEZCLA ECCO 9	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 350 \text{ kg/cm}^2 \approx 35\text{MPa}$
Selección del Tamaño Máximo Nominal	$(TMN) = 1/2''$
Selección del Asentamiento	$(Slump) = 3'' \text{ a } 4''$
Selección del Volumen Unitario De Agua	216 l/m^3
Selección del Contenido De Aire	2.5%
Selección de La Relación Agua/Cemento	$a/c_3 = 0.450$
Selección del Contenido De Cemento	$C = 480.00 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Agregados En Mezcla	$v_{at} = 0.591 \text{ m}^3$
Relación Agregado Fino/Agregado Total	$Ag. Fino/A. Total = 0.60$
Selección De Contenido De Agregados	
W_{ag}	439.53 kg/m^3
W_{af}	659.29 kg/m^3
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	440.05 kg/m^3
W_{afH}	672.74 kg/m^3
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	135.85 l/m^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 158: Diseño de mezcla "Factorial" - Ecco 9

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	480.00	480.00
Ignimbrita	439.53	440.05
Arena	659.29	672.74
Agua (l/m^3)	216.00	351.85

Fuente: Elaboración Propia

4.2.2 MÉTODO DE CHANDRA Y BERNTSSON

Tras finalizar el vaciado de las probetas con material del punto “Charlie”, se observó que los diseños realizados no cumplían con resistencias cercanas a su resistencia mínima a la compresión de diseño. Aun los diseños con mayor proximidad en dosificación a los realizados por la tesis “Diseños Alternativos para Mezclas de Concreto y Diseño Estructural de Viviendas Unifamiliares en el Cono Norte de Arequipa” no alcanzaron resistencias comparables. El motivo de las variaciones pudo encontrarse en la metodología de diseño, la cual no contemplaba falla del concreto debido a fractura del agregado grueso, lo cual fue observado en todas las probetas ensayadas hasta ese momento por lo que se decidió incorporar dos variaciones descritas a continuación:

- 1) Modificar la metodología de diseño: Se procedió a completar los diseños restantes usando la metodología propuesta por Chandra y Berntsson en el libro “Lightweight Aggregate Concrete”.
- 2) Utilizar cemento Yura tipo HE, esto con el fin de otorgar al concreto resistencias iniciales de mayor valor, debido a los bajos incrementos de resistencia a la compresión observados en el concreto en el tiempo.

4.2.2.1 DISEÑO DE MEZCLA CON MATERIAL DE PUNTO “DELTA”

4.2.2.1.1 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA $f'_c = 210$ KG/CM²

1) Resistencia de Diseño

Para el presente diseño se trabajará con una resistencia mínima a la compresión aproximada:

$$f'_c \approx 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_c \approx 21 \text{ MPa}$$

2) Resistencia a la Compresión del Agregado

Según lo establecido en el capítulo 3, ítem 3.2.2.2 el valor promedio de la resistencia a la compresión de la ignimbrita es de:

$$f_{la} \approx 94.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{la} \approx 9.27 \text{ MPa}$$

3) Resistencia del Mortero

i) Volumen del agregado liviano (VI_a)

El volumen del agregado liviano debe ser 0.30 m^3 para 1 m^3 de concreto, según recomendaciones dadas por el Método de Chandra y Berntsson.

ii) Cálculo de la masa del agregado liviano (I_a)

En base al volumen seleccionado de agregado liviano y el peso específico del mismo es factible calcular la masa de agregado requerida para producir 1 m^3 de concreto:

$$Pe = 1357.23 \text{ kg/m}^3$$

$$I_a = VI_a \cdot Pe$$

$$I_a = 0.30 \cdot 1357.23$$

$$I_a = 407.17 \text{ kg}$$

iii) Resistencia del mortero

Se halla a partir de la siguiente fórmula:

$$\log f_M = (\log f_{con} - v_{la} \cdot \log f_{la}) / (1 - v_{la})$$

$$\log f_M = (\log(21) - 0.30 \cdot \log(9.27)) / (1 - 0.30)$$

$$\log f_M = 1.47$$

Resolviendo para f_M :

$$f_M = (10)^{1.47}$$

$$f_M = 29.81 \text{ MPa}$$

iv) Relación agua – cemento

Aplicando la fórmula establecida en la descripción del método y teniendo en consideración que el valor de la relación agua – cemento no debe ser menor que 0.30, tenemos:

$$W/C = \log(140/f_M)/0.87$$

$$W/C = \log(140/29.81)/0.87$$

$$W/C = 0.58$$

4) Volumen de la Pasta de Cemento (v_p)

El volumen de pasta de cemento o cementante debe de estar en el rango de $30 \pm 2\%$, por lo tanto, se decidió trabajar con el valor de:

$$v_p = 0.30 \text{ m}^3$$

5) Contenido de Cemento

El contenido de cemento se calcula usando la siguiente fórmula, el valor que hallaremos será para 1 m³ de concreto:

$$C = 1000 \cdot v_p / (0.31 + W/C)$$

$$C = 1000 \cdot 0.30 / (0.31 + 0.58)$$

$$C = 335.43 \text{ kg/m}^3$$

Para cálculos futuros se utilizará cemento Yura Tipo HE, el cual tiene un peso específico de 2940 kg/m³.

6) Volumen de Arena

El volumen de la arena se calcula de la fórmula:

$$v_s = 1 - (v_p + v_{la} + v_{air})$$

$$v_s = 1 - (0.30 + 0.30 + 0.025)$$

$$v_s = 0.375 \text{ m}^3$$

Para poder determinar la masa de arena necesaria para la producción de 1m³ de concreto se requiere hallar el producto del peso específico de la arena y el volumen de la misma.

$$W_A = P e_s \cdot v_s$$

$$W_A = 2521.019 \cdot 0.375$$

$$W_A = 945.38 \text{ kg/m}^3$$

7) Ajustes por Absorción y Humedad en los agregados

Debido a la humedad de los agregados, la cual varía constantemente es necesario realizar ajustes tanto en el peso de los agregados como en la cantidad de agua requerida.

Contenido de humedad del agregado grueso: 0.19%

Contenido de humedad del agregado fino: 0.13%

Absorción del agregado grueso: 32.04%

Absorción del agregado fino: 1.09%

i) Cantidad de agua necesaria

$$A_{wag} = W_a \cdot \left(\frac{Abs\% - W\%}{100} \right)$$

$$A_{wag} = 407.17 \cdot \left(\frac{32.04 - 0.19}{100} \right)$$

$$A_{wag} = 129.67 \text{ kg/m}^3$$

$$A_{waf} = W_a \cdot \left(\frac{Abs\% - W\%}{100} \right)$$

$$A_{waf} = 945.38 \cdot \left(\frac{1.09 - 0.13}{100} \right)$$

$$A_{waf} = 9.09 \text{ kg/m}^3$$

ii) Peso del agregado en estado húmedo

$$W_{agH} = W_a \cdot (1 + W\%/100)$$

$$W_{agH} = 407.17 \cdot (1 + 0.19/100)$$

$$W_{agH} = 407.94 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{afH} = W_a \cdot (1 + W\%/100)$$

$$W_{afH} = 945.38 \cdot (1 + 0.13/100)$$

$$W_{afH} = 946.61 \text{ kg/m}^3$$

8) Diseño de mezcla

Tabla 159: Diseño de mezcla "Chandra y Berntsson" - Delta 1

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	335.43	335.43
Ignimbrita	407.17	407.94
Arena	945.38	946.61
Agua (l/m ³)	196.02	334.80

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con el procedimiento mostrado para la realización de este diseño de mezcla, se procederá a indicar los siguientes diseños en tablas resúmenes, volviendo a realizar un diseño detallado ante cambios de metodología o insumos.

4.2.2.1.2 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA $f'_c = 280$
KG/CM²

Tabla 160: Método de Diseño " Chandra y Berntsson " – Delta 2

DISEÑO DE MEZCLA DELTA 2	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 280 \text{ kg/cm}^2 \approx 28 \text{ MPa}$
Resistencia a la Compresión del Agregado	$f_{la} \approx 94.5 \text{ kg/cm}^2 \approx 9.27 \text{ MPa}$
Resistencia del Mortero	
Volumen del Agregado Liviano	$V_{I_a} = 0.30 \text{ m}^3$
Cálculo de la Masa del Agregado	$I_a = 407.17 \text{ kg}$
Resistencia del Mortero	$f_M = 44.97 \text{ MPa}$
Relación Agua/Cemento	$W/C = 0.43$
Volumen de la Pasta de Cemento	$v_p = 0.30 \text{ m}^3$
Contenido de Cemento	$C = 405.90 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Arena	$v_s = 0.375 \text{ m}^3$
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	407.94 kg/m^3
W_{afH}	946.61 kg/m^3
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	138.77 l/m^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 161: Diseño de mezcla "Chandra y Berntsson" - Delta 2

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	405.90	405.90
Ignimbrita	407.17	407.94
Arena	945.38	946.61
Agua (l/m ³)	174.17	312.95

Fuente: Elaboración Propia

4.2.2.1.3 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA $f'_c = 350$ KG/CM²

Tabla 162: Método de Diseño " Chandra y Berntsson " – Delta 3

DISEÑO DE MEZCLA DELTA 3	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 350 \text{ kg/cm}^2 \approx 35 \text{ MPa}$
Resistencia a la Compresión del Agregado	$f_{la} \approx 94.5 \text{ kg/cm}^2 \approx 9.27 \text{ MPa}$
Resistencia del Mortero	
Volumen del Agregado Liviano	$V_{I_a} = 0.30 \text{ m}^3$
Cálculo de la Masa del Agregado	$I_a = 407.17 \text{ kg}$
Resistencia del Mortero	$f_M = 61.85 \text{ MPa}$
Relación Agua/Cemento	$W/C = 0.31$
Volumen de la Pasta de Cemento	$v_p = 0.30 \text{ m}^3$
Contenido de Cemento	$C = 484.92 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Arena	$v_s = 0.375 \text{ m}^3$
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	407.94 kg/m^3
W_{afH}	946.61 kg/m^3
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	138.77 l/m^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 163: Diseño de mezcla "Chandra y Berntsson" - Delta 3

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	484.92	484.92
Ignimbrita	407.17	407.94
Arena	945.38	946.61
Agua (l/m ³)	149.67	288.45

Fuente: Elaboración Propia

4.2.2.2 DISEÑO DE MEZCLA CON MATERIAL DE PUNTO “ECCO”

4.2.2.2.1 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA $f'_c = 210$ KG/CM²

1) Resistencia de Diseño

Para el presente diseño se trabajará con una resistencia mínima a la compresión aproximada:

$$f'_c \approx 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_c \approx 21 \text{ MPa}$$

2) Resistencia a la Compresión del Agregado

Según lo establecido en el capítulo 3, ítem 3.2.2.2 el valor promedio de la resistencia a la compresión de la ignimbrita es de:

$$f_{la} \approx 94.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{la} \approx 9.27 \text{ MPa}$$

3) Resistencia del Mortero

i) Volumen del agregado liviano (VI_a)

El volumen del agregado liviano debe ser 0.30 m^3 para 1 m^3 de concreto, según recomendaciones dadas por el Método de Chandra y Berntsson.

ii) Cálculo de la masa del agregado liviano (I_a)

En base al volumen seleccionado de agregado liviano y el peso específico del mismo es factible calcular la masa de agregado requerida para producir 1 m^3 de concreto:

$$Pe = 1357.23 \text{ kg/m}^3$$

$$I_a = VI_a \cdot Pe$$

$$I_a = 0.30 \cdot 1333.92$$

$$I_a = 400.18 \text{ kg}$$

iii) Resistencia del mortero

Se halla a partir de la siguiente fórmula:

$$\log f_M = (\log f_{con} - v_{la} \cdot \log f_{la}) / (1 - v_{la})$$

$$\log f_M = (\log(21) - 0.30 \cdot \log(9.27)) / (1 - 0.30)$$

$$\log f_M = 1.47$$

Resolviendo para f_M :

$$f_M = (10)^{1.47}$$

$$f_M = 29.81 \text{ MPa}$$

iv) Relación agua – cemento

Aplicando la fórmula establecida en la descripción del método y teniendo en consideración que el valor de la relación agua – cemento no debe ser menor que 0.30, tenemos:

$$W/C = \log(140/f_M)/0.87$$

$$W/C = \log(140/29.81)/0.87$$

$$W/C = 0.58$$

4) Volumen de la Pasta de Cemento (v_p)

El volumen de pasta de cemento o cementante debe de estar en el rango de $30 \pm 2\%$, por lo tanto, se decidió trabajar con el valor de:

$$v_p = 0.30 \text{ m}^3$$

5) Contenido de Cemento

El contenido de cemento se calcula usando la siguiente fórmula, el valor que hallaremos será para 1 m^3 de concreto:

$$C = 1000 \cdot v_p / (0.31 + W/C)$$

$$C = 1000 \cdot 0.30 / (0.31 + 0.58)$$

$$C = 335.43 \text{ kg/m}^3$$

Para cálculos futuros se utilizará cemento Yura Tipo HE, el cual tiene un peso específico de 2940 kg/m^3 .

6) Volumen de la Arena

El volumen de la arena se calcula de la fórmula:

$$v_s = 1 - (v_p + v_{la} + v_{air})$$

$$v_s = 1 - (0.30 + 0.30 + 0.025)$$

$$v_s = 0.375 \text{ m}^3$$

Para poder determinar la masa de arena necesaria para la producción de 1 m^3 de concreto se requiere hallar el producto del peso específico de la arena y el volumen de la misma.

$$W_A = P_{e_s} \cdot v_s$$

$$W_A = 2521.019 \cdot 0.375$$

$$W_A = 945.38 \text{ kg/m}^3$$

7) Ajustes por Absorción y Humedad en los agregados

Debido a la humedad de los agregados, la cual varía constantemente es necesario realizar ajustes tanto en el peso de los agregados como en la cantidad de agua requerida.

Contenido de humedad del agregado grueso:	0.19%
Contenido de humedad del agregado fino:	0.13%
Absorción del agregado grueso:	32.45%
Absorción del agregado fino:	1.09%

i) Cantidad de agua necesaria

$$A_{wag} = W_a \cdot \left(\frac{Abs\% - W\%}{100} \right)$$

$$A_{wag} = 400.18 \cdot \left(\frac{32.45 - 0.19}{100} \right)$$

$$A_{wag} = 129.10 \text{ kg/m}^3$$

$$A_{waf} = W_a \cdot \left(\frac{Abs\% - W\%}{100} \right)$$

$$A_{waf} = 945.38 \cdot \left(\frac{1.09 - 0.13}{100} \right)$$

$$A_{waf} = 9.09 \text{ kg/m}^3$$

ii) Peso del agregado en estado húmedo

$$W_{agH} = W_a \cdot (1 + W\%/100)$$

$$W_{agH} = 400.18 \cdot (1 + 0.19/100)$$

$$W_{agH} = 400.94 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{afH} = W_a \cdot (1 + W\%/100)$$

$$W_{afH} = 945.38 \cdot (1 + 0.13/100)$$

$$W_{afH} = 946.61 \text{ kg/m}^3$$

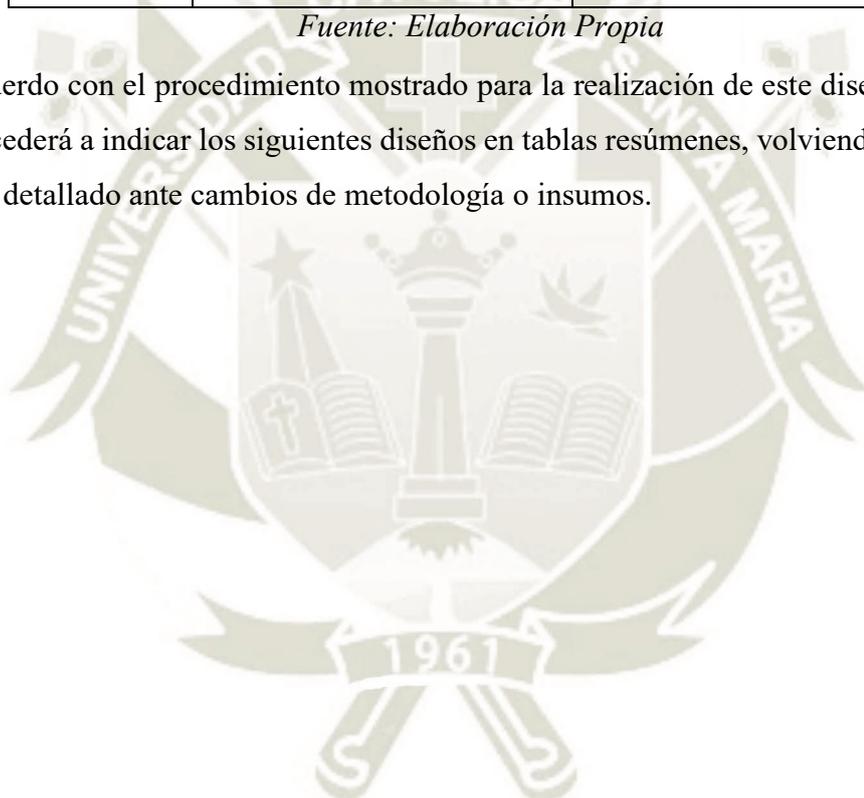
8) Diseño de mezcla

Tabla 164: Diseño de mezcla "Chandra y Berntsson" – Ecco 1

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	335.43	335.43
Ignimbrita	400.18	400.94
Arena	945.38	946.61
Agua (l/m ³)	196.02	334.21

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con el procedimiento mostrado para la realización de este diseño de mezcla, se procederá a indicar los siguientes diseños en tablas resúmenes, volviendo a realizar un diseño detallado ante cambios de metodología o insumos.



4.2.2.2.2 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA $f'_c = 280$ KG/CM²

Tabla 165: Método de Diseño " Chandra y Berntsson "– Ecco 2

DISEÑO DE MEZCLA ECCO 2	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 280 \text{ kg/cm}^2 \approx 28 \text{ MPa}$
Resistencia a la Compresión del Agregado	$f_{la} \approx 94.5 \text{ kg/cm}^2 \approx 9.27 \text{ MPa}$
Resistencia del Mortero	
Volumen del Agregado Liviano	$V_{I_a} = 0.30 \text{ m}^3$
Cálculo de la Masa del Agregado	$I_a = 400.18 \text{ kg}$
Resistencia del Mortero	$f_M = 44.97 \text{ MPa}$
Relación Agua/Cemento	$W/C = 0.43$
Volumen de la Pasta de Cemento	$v_p = 0.30 \text{ m}^3$
Contenido de Cemento	$C = 405.90 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Arena	$v_s = 0.375 \text{ m}^3$
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	400.94 kg/m^3
W_{afH}	946.61 kg/m^3
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	138.19 l/m^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 166: Diseño de mezcla "Chandra y Berntsson" – Ecco 2

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	405.90	405.90
Ignimbrita	400.18	400.94
Arena	945.38	946.61
Agua (l/m^3)	174.17	312.36

Fuente: Elaboración Propia

4.2.2.2.3 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO PARA $f'_c = 350$ KG/CM^2

Tabla 167: Método de Diseño " Chandra y Berntsson "– Ecco 3

DISEÑO DE MEZCLA ECCO 3	
Selección de la Resistencia	$f'_c \approx 350 \text{ kg/cm}^2 \approx 35 \text{ MPa}$
Resistencia a la Compresión del Agregado	$f_{la} \approx 94.5 \text{ kg/cm}^2 \approx 9.27 \text{ MPa}$
Resistencia del Mortero	
Volumen del Agregado Liviano	$V_{I_a} = 0.30 \text{ m}^3$
Cálculo de la Masa del Agregado	$I_a = 400.18 \text{ kg}$
Resistencia del Mortero	$f_M = 61.85 \text{ MPa}$
Relación Agua/Cemento	$W/C = 0.31$
Volumen de la Pasta de Cemento	$v_p = 0.30 \text{ m}^3$
Contenido de Cemento	$C = 484.92 \text{ kg/m}^3$
Volumen de Arena	$v_s = 0.375 \text{ m}^3$
Ajustes Por Humedad	
W_{agH}	400.94 kg/m^3
W_{afH}	946.61 kg/m^3
Cantidad de Agua Necesaria (A_w)	138.19 l/m^3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 168: Diseño de mezcla "Chandra y Berntsson" – Ecco 3

	Cantidades sin corrección por humedad metro cúbico en masa, kg	Cantidades con corrección por humedad metro cúbico en masa, kg
Cemento	484.92	484.92
Ignimbrita	400.18	400.94
Arena	945.38	946.61
Agua (l/m^3)	149.67	287.87

Fuente: Elaboración Propia

4.3 TABLAS RESUMEN DE DISEÑOS DE MEZCLA

Tabla 169: Resumen Diseño de Mezcla " Factorial"- Alpha

	Diseños de Mezcla con Material del Punto Alpha								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Cantidades en kg (Agua en l) por m ³ , sin corrección									
Cemento	332.31	332.31	332.31	392.73	392.73	392.73	480.00	480.00	480.00
Ignimbrita	633.09	560.07	477.46	612.38	541.75	461.84	582.80	515.56	439.53
Arena	422.06	560.07	716.18	408.26	541.75	692.76	388.53	515.56	659.29
Agua	216.00	216.00	216.00	216.00	216.00	216.00	216.00	216.00	216.00
Total	1603.46	1668.44	1741.95	1629.37	1692.22	1763.32	1667.33	1727.11	1794.82
Cantidades en kg (Agua en l) por m ³ , con corrección									
Cemento	332.31	332.31	332.31	392.73	392.73	392.73	480.00	480.00	480.00
Ignimbrita	634.42	561.24	478.46	613.67	542.88	462.81	584.02	516.64	440.45
Arena	430.67	571.49	730.79	416.58	552.80	706.89	396.46	526.07	672.74
Agua	413.16	388.65	360.92	406.71	383.00	356.18	397.50	374.93	349.41
Total	1810.56	1853.69	1902.48	1829.69	1871.41	1918.60	1857.98	1897.64	1942.60

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 170: Resumen Diseño de Mezcla " Factorial"- Bravo

	Diseños de Mezcla con Material del Punto Bravo								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Cantidades en kg (Agua en l) por m ³ , sin corrección									
Cemento	332.31	332.31	332.31	392.73	392.73	392.73	480.00	480.00	480.00
Ignimbrita	633.09	560.07	477.46	612.38	541.75	461.84	582.80	515.56	439.53
Arena	422.06	560.07	716.18	408.26	541.75	692.76	388.53	515.56	659.29
Agua	216.00	216.00	216.00	216.00	216.00	216.00	216.00	216.00	216.00
Total	1603.46	1668.44	1741.95	1629.37	1692.22	1763.32	1667.33	1727.11	1794.82
Cantidades en kg (Agua en l) por m ³ , con corrección									
Cemento	332.31	332.31	332.31	392.73	392.73	392.73	480.00	480.00	480.00
Ignimbrita	418.94	394.04	365.78	412.30	388.21	360.88	402.82	379.89	353.88
Arena	626.15	554.71	473.65	605.67	536.57	458.16	576.41	510.65	436.02
Agua	425.40	565.29	724.03	411.48	546.80	700.34	391.61	520.39	666.51
Total	1802.80	1846.35	1895.76	1822.19	1864.31	1912.10	1850.84	1890.92	1936.41

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 171: Resumen Diseño de Mezcla " Factorial"- Charlie

	Diseños de Mezcla con Material del Punto Charlie								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Cantidades en kg (Agua en l) por m ³ , sin corrección									
Cemento	332.31	332.31	332.31	392.73	392.73	392.73	480.00	480.00	480.00
Ignimbrita	629.58	557.31	475.45	608.98	539.08	459.90	579.56	513.04	437.68
Arena	419.72	557.31	713.18	405.99	539.08	689.85	386.38	513.04	656.53
Agua	216.00	216.00	216.00	216.00	216.00	216.00	216.00	216.00	216.00
Total	1597.61	1662.93	1736.94	1623.70	1686.89	1758.48	1661.94	1722.08	1790.21
Cantidades en kg (Agua en l) por m ³ , con corrección									
Cemento	332.31	332.31	332.31	392.73	392.73	392.73	480.00	480.00	480.00
Ignimbrita	417.04	392.21	364.07	410.47	386.44	359.23	401.07	378.21	352.31
Arena	630.33	557.98	476.02	609.71	539.73	460.45	580.26	513.66	438.21
Agua	428.28	568.68	727.73	414.27	550.08	703.93	394.26	523.51	669.92
Total	1807.96	1851.18	1900.13	1827.18	1868.98	1916.33	1855.59	1895.37	1940.44

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 172: Resumen Diseño de Mezcla " Factorial"- Delta

	Diseños de Mezcla con Material del Punto Delta								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Cantidades en kg (Agua en l) por m ³ , sin corrección									
Cemento	332.31	332.31	332.31	372.41	392.73	392.73	480.00	480.00	480.00
Ignimbrita	641.125	566.34	482.01	620.15	547.88	466.24	590.19	521.35	443.72
Arena	427.417	566.34	723.02	413.44	547.88	699.37	393.46	521.35	665.58
Agua	216.00	216.00	216.00	216.00	216.00	216.00	216.00	216.00	216.00
Total	1616.85	1680.99	1753.34	1622.00	1704.49	1774.34	1679.65	1738.70	1805.30
Cantidades en kg (Agua en l) por m ³ , con corrección									
Cemento	332.31	332.31	332.31	372.41	392.73	392.73	480.00	480.00	480.00
Ignimbrita	416.54	391.36	362.96	409.98	385.65	358.16	400.61	377.43	351.29
Arena	641.96	567.08	482.64	620.96	548.59	466.85	590.96	522.03	444.30
Agua	436.14	577.90	737.77	421.87	559.06	713.63	401.49	531.99	679.16
Total	1826.95	1868.65	1915.67	1825.23	1886.03	1931.37	1873.06	1911.45	1954.74

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 173: Resumen Diseño de Mezcla " Factorial"- Ecco

	Diseños de Mezcla con Material del Punto Ecco								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Cantidades en kg (Agua en l) por m ³ , sin corrección									
Cemento	332.31	332.31	332.31	392.73	392.73	392.73	480.00	480.00	480.00
Ignimbrita	633.092	560.07	477.46	612.38	541.75	461.84	582.80	515.56	439.53
Arena	422.061	560.07	716.18	408.26	541.75	692.76	388.53	515.56	659.29
Agua	216.00	216.00	216.00	216.00	216.00	216.00	216.00	216.00	216.00
Total	1603.46	1668.45	1741.95	1629.37	1692.23	1763.33	1667.33	1727.12	1794.82
Cantidades en kg (Agua en l) por m ³ , con corrección									
Cemento	332.31	332.31	332.31	392.73	392.73	392.73	480.00	480.00	480.00
Ignimbrita	416.68	391.76	363.57	410.11	386.01	358.74	400.74	377.79	351.85
Arena	633.85	560.74	478.03	613.12	542.40	462.39	583.50	516.18	440.05
Agua	430.67	571.49	730.79	416.58	552.80	706.89	396.46	526.07	672.74
Total	1813.51	1856.30	1904.70	1832.54	1873.93	1920.75	1860.69	1900.04	1944.64

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 174: Resumen Diseño de mezcla "Chandra y Berntsson" – Delta

	Diseños de Mezcla con Material del Punto Delta		
	I	II	III
Cantidades en kg (Agua en l) por m ³ , sin corrección			
Cemento	335.43	405.90	484.92
Ignimbrita	407.17	407.17	407.17
Arena	945.38	945.38	945.38
Agua	196.02	174.17	149.67
Total	1883.99	1932.62	1987.15
Cantidades en kg (Agua en l) por m ³ , con corrección			
Cemento	335.43	405.90	484.92
Ignimbrita	407.94	407.94	407.94
Arena	946.61	946.61	946.61
Agua	334.80	312.95	288.45
Total	2024.78	2073.40	2127.93

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 175: Resumen Diseño de mezcla "Chandra y Berntsson" – Ecco

	Diseños de Mezcla con Material del Punto Ecco		
	I	II	III
Cantidades en kg (Agua en l) por m ³ , sin corrección			
Cemento	335.43	405.90	484.92
Ignimbrita	400.18	400.18	400.18
Arena	945.38	945.38	945.38
Agua	196.02	174.17	149.67
Total	1877.00	1925.63	1980.15
Cantidades en kg (Agua en l) por m ³ , con corrección			
Cemento	335.43	405.90	484.92
Ignimbrita	400.94	400.94	400.94
Arena	946.61	946.61	946.61
Agua	334.21	312.36	287.87
Total	2017.18	2065.81	2120.33

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 CONCRETO FRESCO

5.1.1 PESO UNITARIO Y RENDIMIENTO

El peso unitario o densidad es un ensayo utilizado para la determinación de la masa de la mezcla de concreto por cada unidad de volumen, con ella también se puede determinar el rendimiento entre la densidad calculada y la densidad medida.

Entre los elementos requeridos para la realización de este ensayo se encontraron, una balanza, una barra compactadora de 600 mm de largo y 16 mm de diámetro, además de un recipiente de medida, el cual cumpla con los requisitos de la NTP 400.017, el tamaño del recipiente deberá estar de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 176: Capacidad de los recipientes de medición

Tamaño máximo nominal del agregado grueso		Capacidad del recipiente de medición ^A	
pulg	mm	pie ³	L
1	25,0	0,2	6
1 ½	37,5	0,4	44
2	50	0,5	14
3	75	1,0	28
4 ½	112	2,5	70
6	150	3,5	100

^A Tamaños indicados de recipientes de medición que se usarán para ensayar hormigón (concreto) que contiene agregados de tamaño máximo nominal igual o más pequeño que los listados. El volumen real del recipiente será por lo menos 95 % del volumen nominal listado.

Fuente: (INDECOPI, 2008, pág. 5)

Por ello se consideró adecuado utilizar un recipiente de medición con un volumen listado de 1/3 de pie cúbico (pie³) para la realización de este ensayo.

La mezcla debe de ser incorporada en el recipiente con la ayuda de una cuchara, teniendo en cuenta de llenar en incrementos de tercios del volumen. Después de llenar cada tercio, se deberá apisonar con la barra en forma de espiral con 25 golpes y una vez finalizado utilizar un mazo de goma para golpear las paredes del recipiente entre 10 y 15 veces para poder cerrar cualquier espacio que haya quedado abierto debido a la acción de la barra

compactadora. Finalmente se deberá enrasar el recipiente para evitar vacíos en la parte superior de la mezcla y se deberá limpiar cualquier rastro de concreto del recipiente, este deberá ser pesado vacío y con la mezcla de concreto.

Para poder realizar los cálculos necesarios, la NTP 339.046 ofrece las siguientes variables:

M_c	masa del recipiente de medida lleno de hormigón (concreto), en kg
M_m	masa del recipiente de medida, en kg
V_m	volumen del recipiente de medida, en m ³
D	densidad (peso unitario) del hormigón (concreto), en kg/m ³
M	masa total de todos los materiales en la tanda, en kg
Y	rendimiento, volumen de hormigón (concreto) producido por tanda, en m ³
Y_d	volumen de diseño de hormigón (concreto) por tanda, en m ³
R_y	rendimiento relativo
C_b	masa de cemento en el lote, en kg
C	contenido actual de cemento, en kg/m ³

Los cálculos de las características de los distintos diseños de mezcla se llevarán a cabo siguiendo las pautas de las ecuaciones indicadas en la misma norma.

1) Densidad

$$D = (M_c - M_m) / V_m$$

2) Rendimiento

$$Y = M / D$$

3) Rendimiento relativo

$$R_y = Y / Y_d$$

4) Contenido de cemento

$$C = C_b / Y$$

Tabla 177: Peso Unitario y Rendimiento - Alpha

Material	Diseño	$M_c - M_m$ kg	V_m m^3	D kg/m^3	M kg	Y m^3	Y_d m^3	R_y	C_b kg	C kg/m^3
Alpha	1	16.825	0.0094389	1782.508	1809.61	1.015	1.000	1.016	332.31	327.33
	2	17.295		1832.301	1832.33	1.000	0.951	1.051	332.31	332.30
	3	17.705		1875.739	1885.69	1.005	0.984	1.022	332.31	330.56
	4	16.510		1749.135	1828.77	1.046	1.000	1.046	392.73	375.63
	5	16.950		1795.751	1870.37	1.042	1.000	1.042	392.73	377.06
	6	17.570		1861.436	1917.42	1.030	1.000	1.030	392.73	381.26
	7	16.940		1794.691	1857.11	1.035	1.000	1.034	480.00	463.87
	8	17.475		1851.371	1896.65	1.024	1.000	1.024	480.00	468.54
	9	17.600		1864.614	1941.47	1.041	1.000	1.041	480.00	461.00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 178: Peso Unitario y Rendimiento - Bravo

Material	Diseño	$M_c - M_m$ kg	V_m m^3	D kg/m^3	M kg	Y m^3	Y_d m^3	R_y	C_b kg	C kg/m^3
Bravo	1	16.263	0.0094389	1722.989	1801.46	1.046	1.000	1.046	332.31	317.83
	2	16.992		1800.242	1844.92	1.025	1.000	1.025	332.31	324.26
	3	17.243		1826.802	1894.24	1.037	1.000	1.037	332.31	320.48
	4	16.670		1766.136	1820.89	1.031	1.000	1.031	392.73	380.92
	5	16.868		1787.111	1862.93	1.042	1.000	1.043	392.73	376.74
	6	17.464		1850.194	1910.64	1.033	1.000	1.033	392.73	380.30
	7	17.052		1806.575	1849.60	1.024	1.000	1.024	480.00	468.83
	8	17.469		1850.701	1889.61	1.021	1.000	1.021	480.00	470.12
	9	17.961		1902.808	1935.01	1.017	1.000	1.017	480.00	472.01

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 179: Peso Unitario y Rendimiento - Charlie

Material	Diseño	$M_c - M_m$ kg	V_m m ³	D kg/m ³	M kg	Y m ³	Y_d m ³	R_y	C_b kg	C kg/m ³
Charlie	1	16.522	0.0094389	1750.417	1806.67	1.032	1.000	1.032	332.31	321.96
	2	16.778		1777.577	1849.80	1.041	1.000	1.041	332.31	319.34
	3	17.651		1870.032	1898.66	1.015	1.000	1.016	332.31	327.30
	4	16.782		1777.904	1825.93	1.027	1.000	1.027	392.73	382.40
	5	16.880		1788.288	1857.33	1.039	1.000	1.039	392.73	378.13
	6	17.309		1833.752	1901.71	1.037	1.000	1.037	392.73	378.69
	7	16.707		1769.978	1847.01	1.044	1.000	1.043	480.00	459.98
	8	17.505		1854.562	1884.29	1.016	1.000	1.016	480.00	472.43
	9	17.825		1888.497	1926.52	1.020	1.000	1.020	480.00	470.53

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 180: Peso Unitario y Rendimiento - Delta

Material	Diseño	$M_c - M_m$ kg	V_m m ³	D kg/m ³	M kg	Y m ³	Y_d m ³	R_y	C_b kg	C kg/m ³
Delta	1	18.695	0.0094389	1980.623	2022.78	1.021	1.014	1.007	335.43	328.44
	2	18.930		2005.520	2085.14	1.040	1.017	1.023	405.90	390.40
	3	19.140		2027.768	2154.36	1.062	1.020	1.042	484.92	456.43

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 181: Unitario y Rendimiento – Ecco

Material	Diseño	$M_c - M_m$ kg	V_m m ³	D kg/m ³	M kg	Y m ³	Y_d m ³	R_y	C_b kg	C kg/m ³
Ecco	1	18.589	0.0094389	1969.393	2015.20	1.023	1.014	1.009	335.43	327.81
	2	18.796		1991.323	2063.82	1.036	1.017	1.019	405.90	391.64
	3	18.936		2006.156	2137.31	1.065	1.020	1.045	484.92	455.16

Fuente: Elaboración Propia

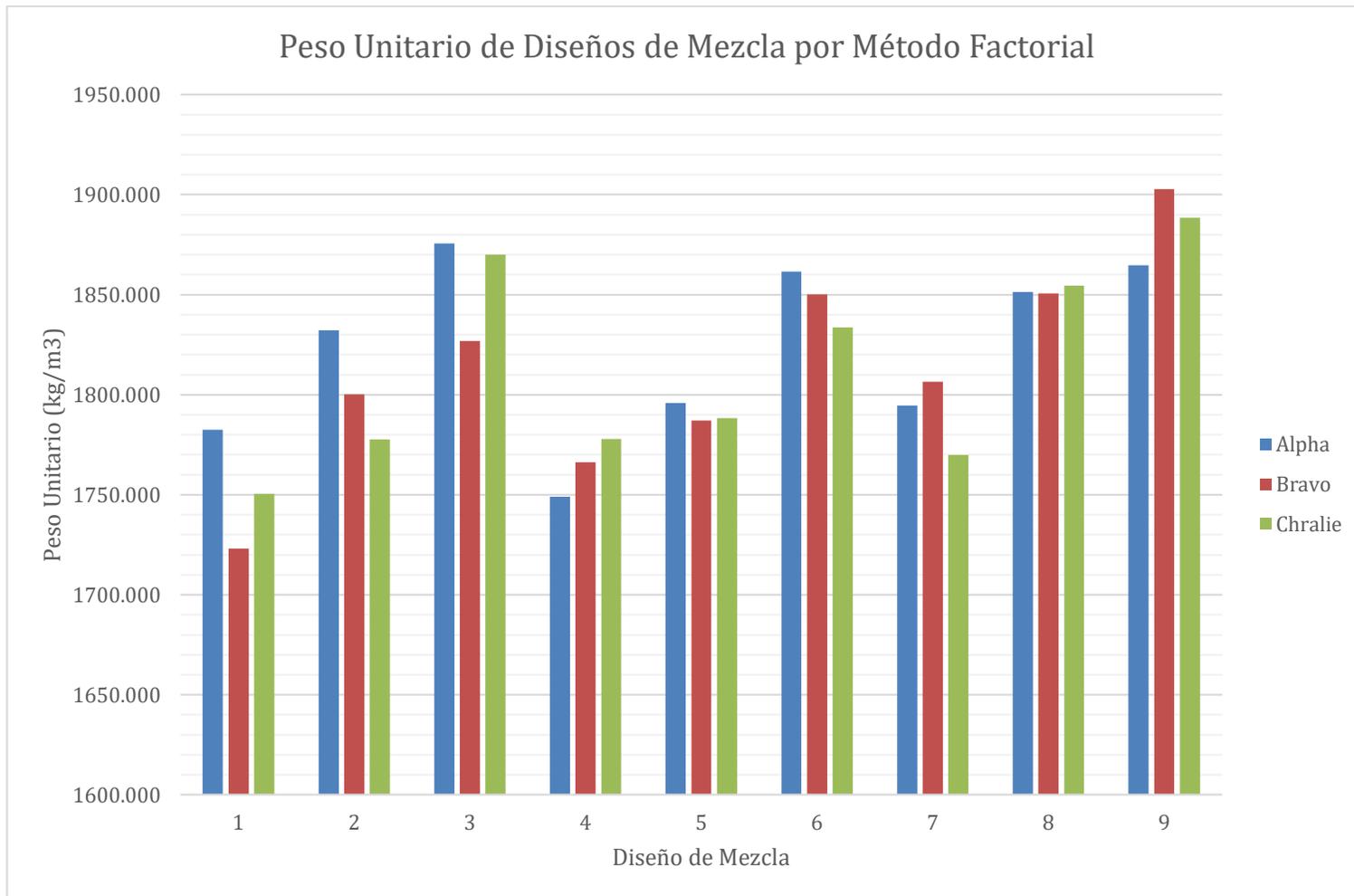


Ilustración 21: Comparación Pesos Unitarios para Diseños de Mezcla por Método Factorial

Fuente: Elaboración Propia

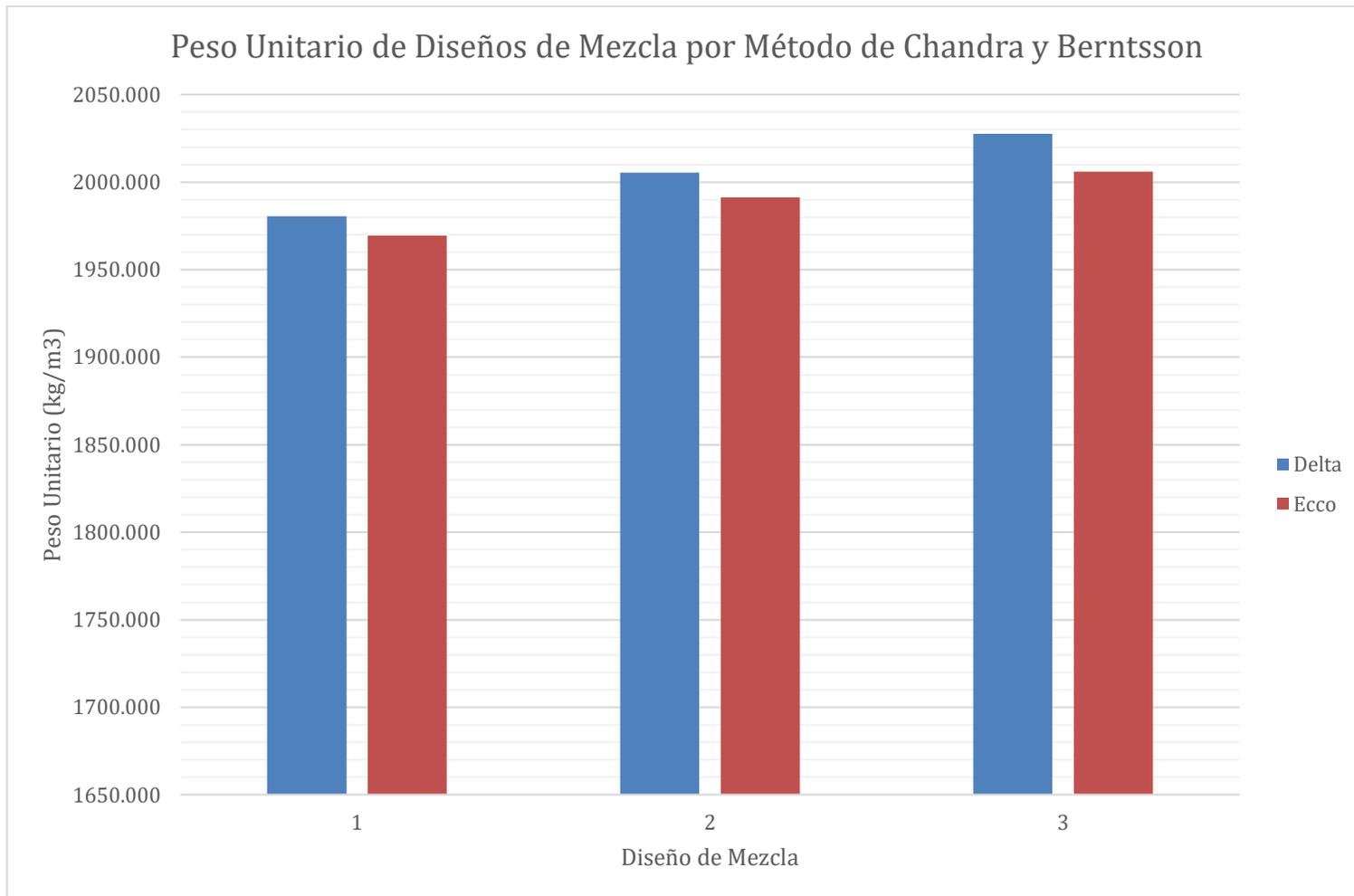


Ilustración 22: Comparación Pesos Unitarios para Diseños de Mezcla por Método de Chandra y Berntsson

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede apreciar en los cuadros de densidad y de rendimiento las densidades de los distintos concretos, sin importar su metodología de diseño, son muy dependientes de las propiedades de los agregados y de su dosificación en la mezcla. Además, se puede evidenciar que los resultados de densidad son mucho más consistentes cuando se trabaja con la metodología de diseño propuesta por Chandra y Berntsson. Por último, en todos los casos el rendimiento relativo de la mezcla se encuentra por encima de la unidad, indicando una sobreproducción de concreto en cada tanda realizada.

5.1.2 CONTENIDO DE AIRE

La determinación del contenido de aire en la mezcla de concreto se deberá realizar para controlar el porcentaje en volumen de aire introducido en la mezcla. Para ello se deberá seguir las pautas establecidas en la NTP 339.083 para su desarrollo de acuerdo al método de presión o a la NTP 339.081 en caso de utilizar el método volumétrico.

Por estos motivos de no contar con los equipos para poder realizar el ensayo anterior se vio la necesidad de aplicar los procedimientos descritos en la NTP 339.046 para la determinación del contenido de aire por método gravimétrico. Este método emplea los datos de cálculo provenientes de los ensayos de peso unitario y rendimiento de la mezcla. Se tomarán en adición las siguientes variables:

V volumen absoluto total de los ingredientes componentes de la mezcla, en m^3

T densidad teórica del hormigón (concreto) calculada sobre una base libre de aire, en kg/m^3

A contenido de aire (porcentaje de poros) en el hormigón (concreto)

Aplicándolas de la siguiente manera:

1) Densidad Teórica

$$T = M/V$$

2) Contenido de Aire

$$A = [(T - D)/T] \times 100$$

Demostrados en las tablas descritas a continuación:

Tabla 182: Contenido de Aire – Alpha

Material	Diseño	D kg/m ³	T kg/m ³	A %
Alpha	1	1782.508	1986.50	10.27%
	2	1832.301	1987.36	7.80%
	3	1875.739	2015.57	6.94%
	4	1749.135	1998.70	12.49%
	5	1795.751	2018.86	11.05%
	6	1861.436	2041.66	8.83%
	7	1794.691	2017.08	11.03%
	8	1851.371	2036.21	9.08%
	9	1864.614	2057.96	9.39%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 183: Contenido de Aire – Bravo

Material	Diseño	D kg/m ³	T kg/m ³	A %
Bravo	1	1722.989	1983.56	13.14%
	2	1800.242	2004.50	10.19%
	3	1826.802	2028.27	9.93%
	4	1766.136	1995.85	11.51%
	5	1787.111	2016.11	11.36%
	6	1850.194	2039.10	9.26%
	7	1806.575	2014.37	10.32%
	8	1850.701	2033.65	9.00%
	9	1902.808	2055.53	7.43%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 184: Contenido de Aire – Charlie

Material	Diseño	D kg/m ³	T kg/m ³	A %
Charlie	1	1750.417	1986.82	11.90%
	2	1777.577	2007.52	11.45%
	3	1870.032	2030.96	7.92%
	4	1777.904	1999.01	11.06%
	5	1788.288	2008.86	10.98%
	6	1833.752	2028.71	9.61%
	7	1769.978	2010.09	11.95%
	8	1854.562	2026.76	8.50%
	9	1888.497	2045.64	7.68%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 185: Contenido de Aire – Delta

Material	Diseño	D kg/m ³	T kg/m ³	A %
Delta	1	1980.623	2131.16	7.06%
	2	2005.520	2192.59	8.53%
	3	2027.768	2260.77	10.31%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 186: Contenido de Aire – Ecco

Material	Diseño	D kg/m ³	T kg/m ³	A %
Ecco	1	1969.393	2123.10	7.24%
	2	1991.323	2170.99	8.28%
	3	2006.156	2243.38	10.57%

Fuente: Elaboración Propia

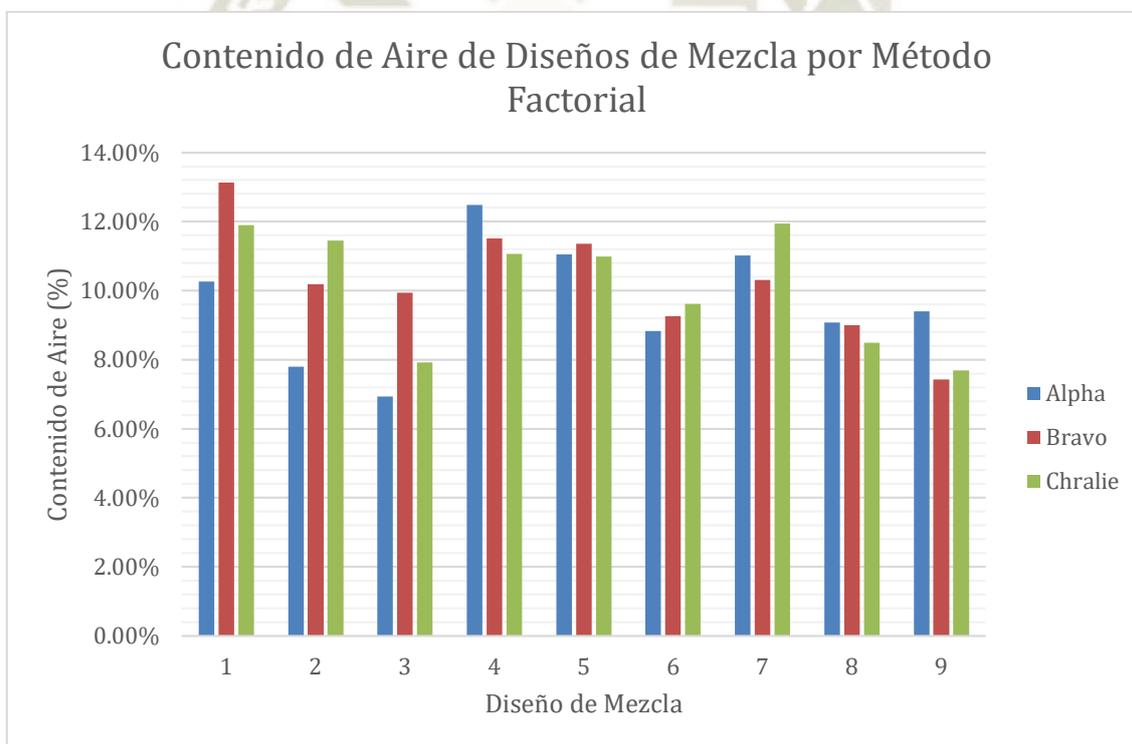


Ilustración 23: : Comparación de Contenidos de Aire en Diseños por Método Factorial

Fuente: Elaboración Propia

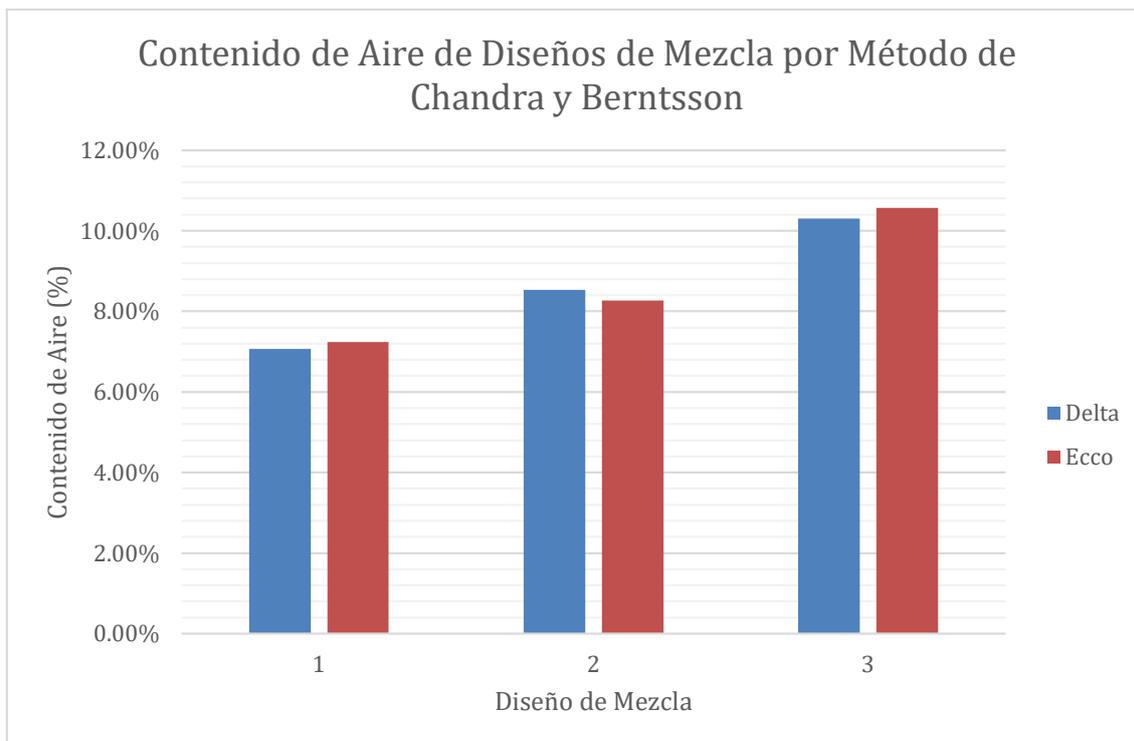


Ilustración 24: Comparación de Contenidos de Aire en Diseños por Método de Chandra y Berntsson

Fuente: Elaboración Propia

En los resultados del primer método, diseño por método factorial, se observa que dentro de cada una de las resistencias de diseño elegidas los diseños con mayor contenido de aire son generalmente los que cuentan con una menor cantidad de agregados finos en relación a los agregados totales, disminuyendo a medida que se reducía también la relación de agua – cemento.

Para el segundo juego de resultados, los desarrollados a través del método de Chandra y Berntsson, se observa que los porcentajes de aire dependen al igual que en lo anterior al agregado usado, pero además al trabajar con esta metodología los porcentajes de aire aumentan a medida que se reduce la relación de agua – cemento.

5.1.3 ASENTAMIENTO

El asentamiento del concreto se medirá a través de la prueba del cono Abrams, la cual se encuentra normada en la NTP 339.035 y la ASTM C 143. Para ello se utilizará, además del cono de Abrams, una base metálica, una barra compactadora de 600 mm de largo y 16 mm de diámetro y una regla metálica para poder determinar el asentamiento.

El procedimiento para llevar a cabo este ensayo consiste en colocar el cono humedecido sobre una base plana que no sea absorbente. Inmediatamente después se procede a llenar

el molde en intervalos de un tercio de su volumen con la ayuda de un cucharón y compactándola con la barra compactadora en forma de 25 golpes distribuidos en espiral. Una vez terminada la última capa se enrasa el cono de Abrams y se levanta hasta una altura de 300 mm en un tiempo de 5 ± 2 s en un solo movimiento. Colocando el cono en forma invertida al lado del cono de concreto se medirá la diferencia de altura entre ambos, siendo este su asentamiento.

Tabla 187: Tabla de Asentamientos por Cono de Abrams

Asentamiento de la Mezcla por Cono de Abrams (pulg)								
Alpha	1	6.20	Bravo	1	6.10	Charlie	1	6.20
	2	5.80		2	6.00		2	5.90
	3	6.00		3	6.00		3	6.00
	4	5.60		4	5.90		4	5.60
	5	5.80		5	5.70		5	5.80
	6	5.50		6	5.80		6	5.60
	7	4.20		7	4.10		7	4.30
	8	4.00		8	4.00		8	4.40
	9	4.30		9	4.10		9	4.40
Delta	1	2.00	Ecco	1	2.10			
	2	3.20		2	3.00			
	3	1.80		3	2.00			

Fuente: Elaboración Propia

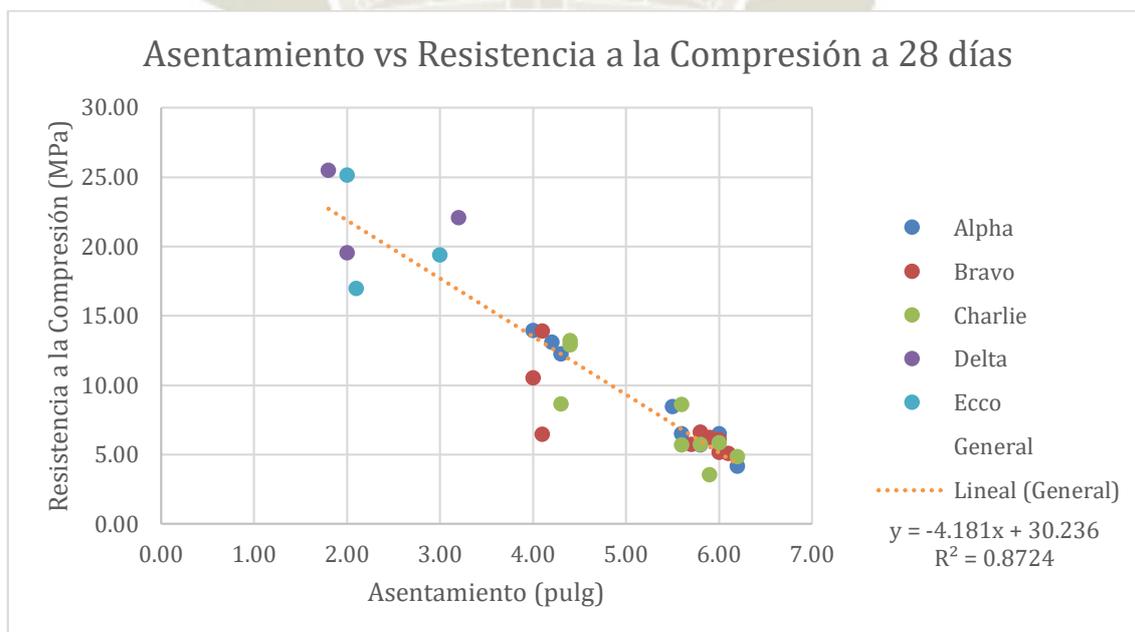


Ilustración 25: Comparación entre el Asentamiento y la Resistencia a la Compresión

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede ver, existe una relación lineal entre la resistencia que un concreto desarrolla a 28 días con el asentamiento del concreto en estado fresco.

5.2 CURADO DE MUESTRAS DE CONCRETO

“El curado es un proceso que consiste en mantener húmedo al concreto por varios días después de su colocación, con el fin de permitir la reacción química entre el cemento y el agua (hidratación del cemento).” (Abanto Castillo, 2009, pág. 235)

El fraguado del concreto al ser una reacción exotérmica evapora el agua necesaria para completa hidratación de las células de cemento del concreto. Por ellos es necesario mantener la muestra de concreto en un ambiente que le permita reponer la humedad perdida siendo posible un cuarto de curado o una poza de curado.

La resistencia del concreto se desarrolla principalmente durante su primera semana, alcanzando el 70% de lo establecido. Sin embargo, este valor se podrá afectar debido a condiciones de humedad y temperatura.

Al realizar la experimentación se observó que el proceso de secado de las probetas realizadas con ignimbrita posee un tiempo más extenso debido a la alta porosidad del material y la alta retención de agua que presenta siendo estos factores perjudiciales ya que debilitan la estructura de la ignimbrita y por ende la resistencia del concreto.

“Para evitar estos peligros, el concreto debe protegerse de las pérdidas de humedad al menos durante SIETE DIAS y, en trabajos más delicados hasta CATORCE DIAS. Cuando se utilizan cementos de alta resistencia inicial pueden reducirse a la mitad.” (Abanto Castillo, 2009, pág. 235)

Por lo mencionado las probetas de concreto permanecieron en la poza de curado por un tiempo de 7 días, permitiendo un tiempo de secado mínimo de 7 días previo a su ensayo a la compresión; siendo la excepción las probetas a ser ensayadas a 7 días las cuales sólo permanecieron expuestas a la intemperie por un periodo de 24 horas.

5.3 CONCRETO ENDURECIDO

5.3.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Es la propiedad mecánica que representa la condición de carga en la que el concreto evidencia su capacidad para soportar esfuerzos; esta se puede utilizar para la aceptación

del concreto, el control de calidad, mezclado, proporciones, colocación; así como el cumplimiento de las especificaciones.

El método consiste en aplicar una carga de compresión axial a los cilindros moldeados o extracciones diamantinas a una velocidad normalizada en un rango prescrito mientras ocurre la falla. La resistencia a la compresión de la probeta es calculada por división de la carga máxima alcanzada durante el ensayo, entre el área de la sección recta de la probeta. (INDECOPI, 2008, pág. 3)

Los lineamientos para el desarrollo de este ensayo se encuentran descritos en la norma NTP 339.034. HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas.

A continuación, se presentarán cuadros resumen de los resultados promedios obtenidos de las pruebas a compresión de probetas de concreto de dimensiones 10cm x 20cm, a resistencias de 21, 28, y 35 MPa y a edades de 7, 14, 21, y 28 días.

El método Factorial se desarrolló con un total de 9 diseños por cada tipo de agregado, teniendo 12 probetas en cada diseño presentado; variando factores como a/c y Af/At. Siendo el total de probetas ensayadas 324.

El método Chandra y Berntsson se desarrolló con un total de 3 diseños por cada tipo de agregado teniendo 36 probetas en cada diseño presentado; siendo el total de probetas ensayadas 216.

Con esto se realizó un total de 540 probetas de concreto para evaluar las propiedades de 33 diseños. A parte de ello se realizó 18 diseños adicionales por el método Factorial, no obstante, no fueron ensayados debido al pobre desempeño de este método.

Tabla 188: Resistencia a la Compresión - Método "Factorial" 1

Método Factorial 1 – Relación Af/At = 0.40				
Tipo De Agregado	Relación A/C	Resistencia De Diseño f'_c (MPa)	Resistencia Obtenida f'_c (MPa)	Días De Curado
Alpha	0.65	21	2.80	7
			4.37	14
			3.22	21
			4.15	28
Bravo	0.65	21	4.65	7
			4.60	14
			5.10	21
			5.07	28
Charlie	0.65	21	4.55	7
			5.13	14
			4.57	21
			4.85	28

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que el diseño de mezclas utilizando el Método Factorial 1 obtiene resultados de resistencia menor a la estimada, aproximadamente un 20% a menos.

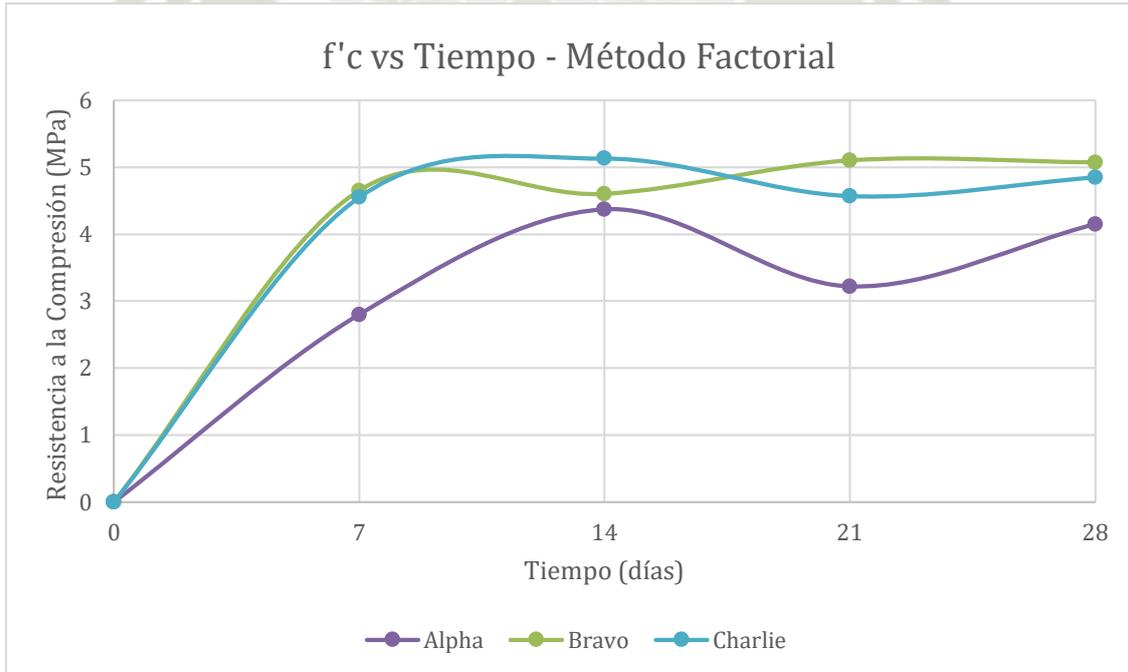


Ilustración 26: Resistencia a la Compresión ($f'_c \approx 21\text{MPa}$) vs Tiempo - Método Factorial 1

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 189: Resistencia a la Compresión - Método "Factorial" 2

Método Factorial 2 – Relación Af/At = 0.50				
Tipo De Agregado	Relación A/C	Resistencia De Diseño f'_c (MPa)	Resistencia Obtenida f'_c (MPa)	Días De Curado
Alpha	0.60	21	4.22	7
			4.80	14
			5.84	21
			5.68	28
Bravo	0.65	21	4.80	7
			5.61	14
			6.00	21
			5.15	28
Charlie	0.65	21	2.95	7
			3.36	14
			3.34	21
			3.56	28

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que el diseño de mezclas utilizando el Método Factorial 2 obtiene resultados de resistencia menor a la estimada, aproximadamente un 30% a menos.

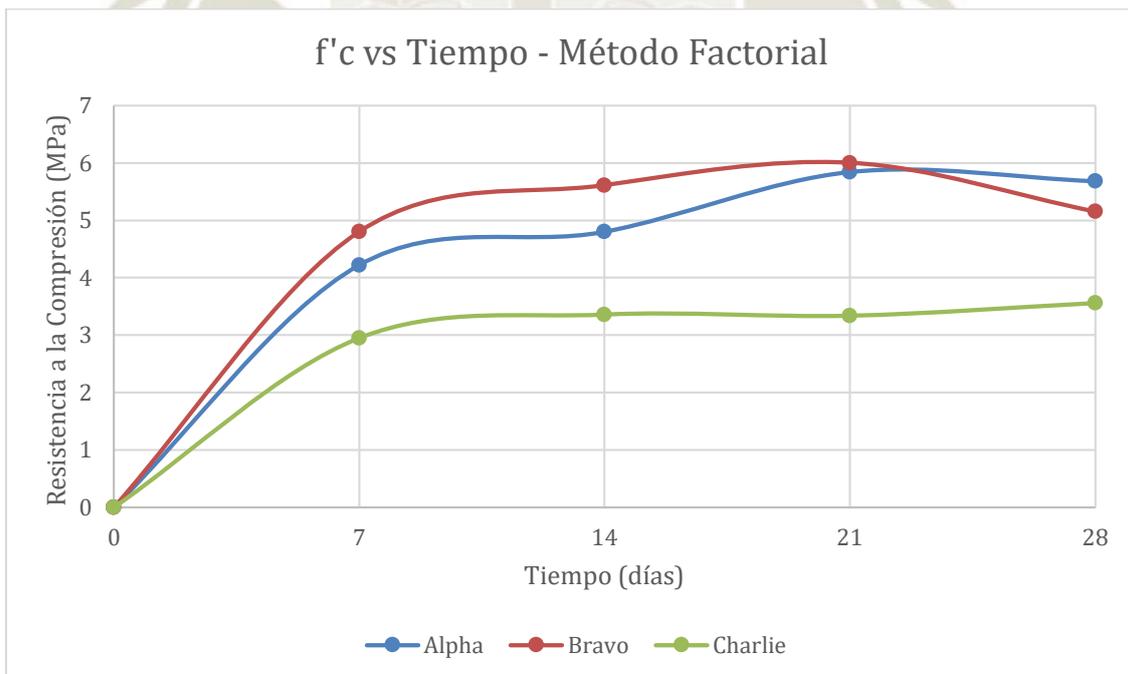


Ilustración 27: Resistencia a la Compresión ($f'_c \approx 21\text{MPa}$) vs Tiempo - Método Factorial 2

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 190: Resistencia a la Compresión - Método "Factorial" 3

Método Factorial 3 – Relación Af/At = 0.60				
Tipo De Agregado	Relación A/C	Resistencia De Diseño f'_c (MPa)	Resistencia Obtenida f'_c (MPa)	Dias De Curado
Alpha	0.61	21	5.62	7
			6.49	14
			7.39	21
			6.49	28
Bravo	0.65	21	5.81	7
			6.11	14
			6.79	21
			6.07	28
Charlie	0.65	21	4.95	7
			5.21	14
			5.06	21
			5.83	28

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que el diseño de mezclas utilizando el Método Factorial 3 obtiene resultados de resistencia menor a la estimada, aproximadamente un 30% a menos.

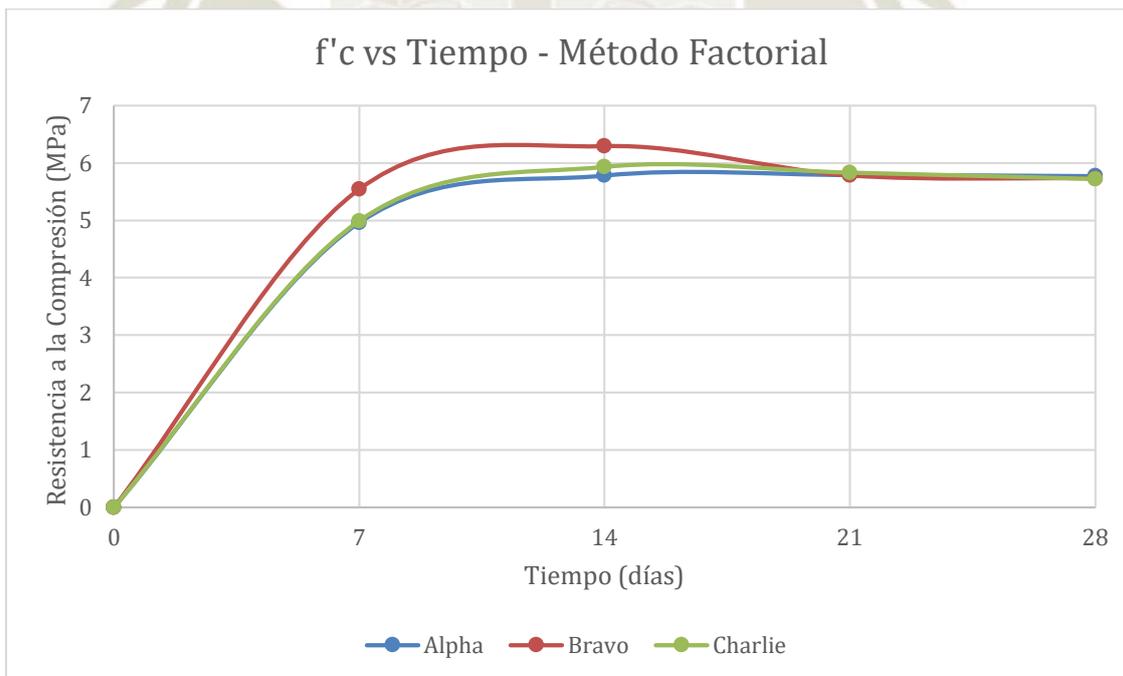


Ilustración 28: Resistencia a la Compresión ($f'_c \approx 21\text{MPa}$) vs Tiempo - Método Factorial 3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 191: Resistencia a la Compresión - Método "Factorial" 4

Método Factorial 4 – Relación Af/At = 0.40				
Tipo De Agregado	Relación A/C	Resistencia De Diseño f'_c (MPa)	Resistencia Obtenida f'_c (MPa)	Días De Curado
Alpha	0.55	28	4.79	7
			5.98	14
			5.81	21
			6.51	28
Bravo	0.55	28	5.20	7
			5.51	14
			6.02	21
			6.24	28
Charlie	0.55	28	5.02	7
			5.75	14
			5.70	21
			5.70	28

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que el diseño de mezclas utilizando el Método Factorial 4 obtiene resultados de resistencia menor a la estimada, aproximadamente un 23% a menos.

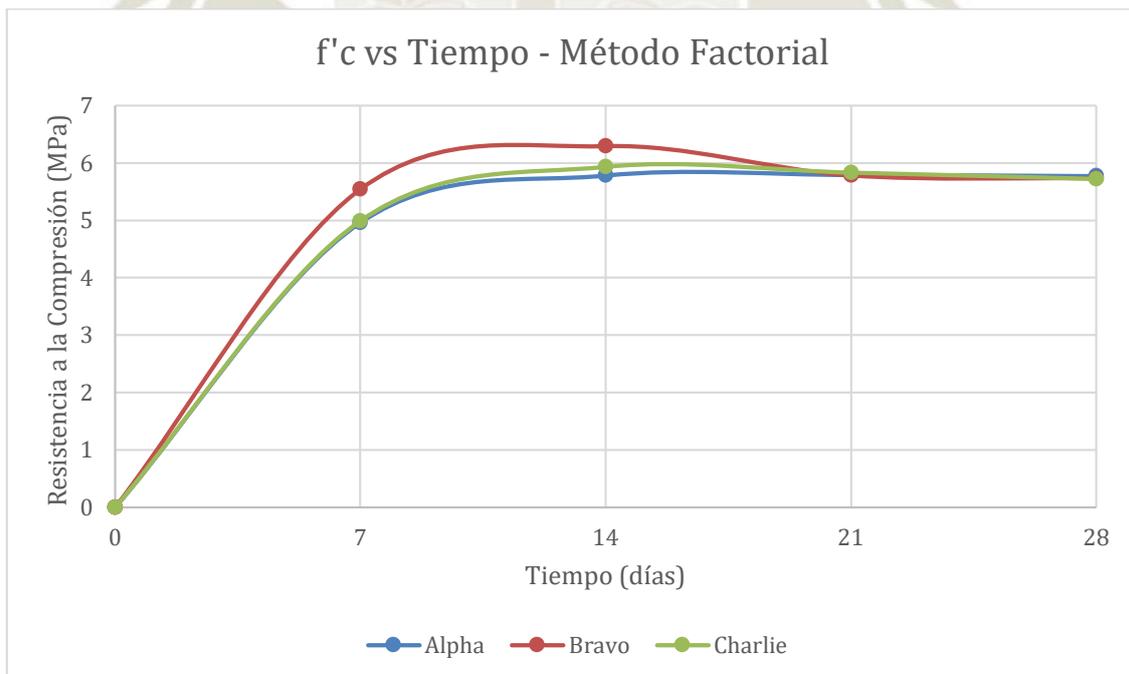


Ilustración 29: Resistencia a la Compresión ($f'_c \approx 28\text{MPa}$) vs Tiempo - Método Factorial 4

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 192: Resistencia a la Compresión - Método "Factorial" 5

Método Factorial 5 – Relación Af/At = 0.50				
Tipo De Agregado	Relación A/C	Resistencia De Diseño f'_c (MPa)	Resistencia Obtenida f'_c (MPa)	Días De Curado
Alpha	0.55	28	4.96	7
			5.78	14
			5.79	21
			5.77	28
Bravo	0.55	28	5.54	7
			6.29	14
			5.78	21
			5.73	28
Charlie	0.55	28	4.99	7
			5.93	14
			5.83	21
			5.72	28

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que el diseño de mezclas utilizando el Método Factorial 5 obtiene resultados de resistencia menor a la estimada, aproximadamente un 23% a menos.

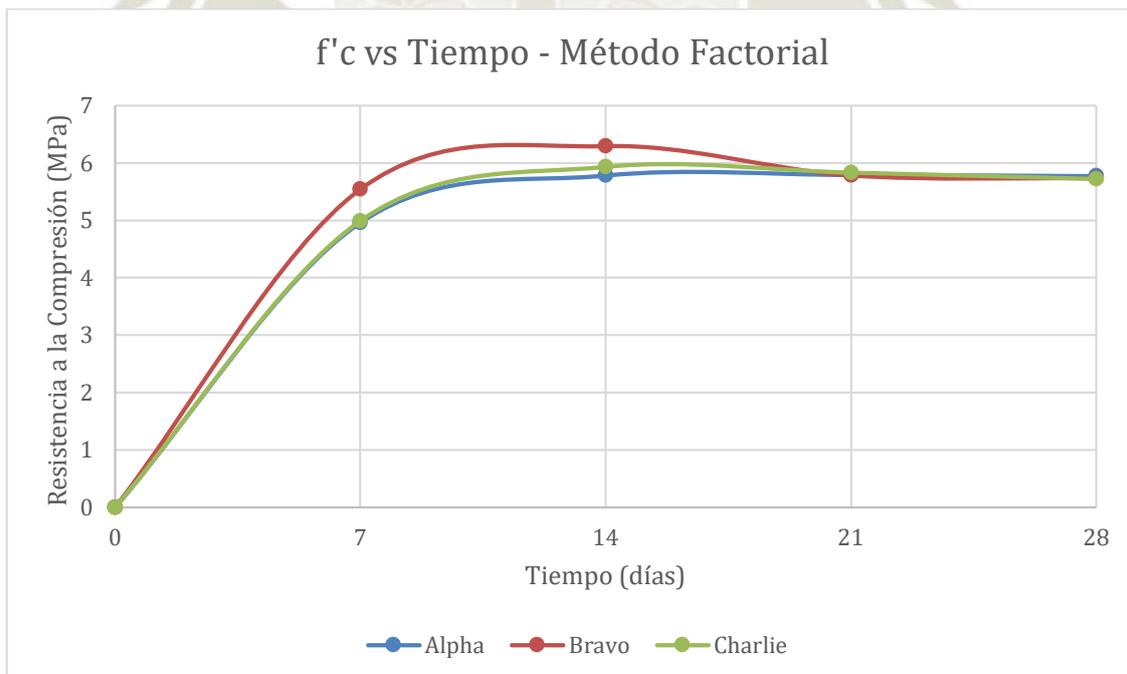


Ilustración 30: Resistencia a la Compresión ($f'_c \approx 28\text{MPa}$) vs Tiempo - Método Factorial 5

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 193: Resistencia a la Compresión - Método "Factorial" 6

Método Factorial 6 – Relación Af/At = 0.60				
Tipo De Agregado	Relación A/C	Resistencia De Diseño f'_c (MPa)	Resistencia Obtenida f'_c (MPa)	Días De Curado
Alpha	0.55	28	5.45	7
			6.20	14
			6.59	21
			8.46	28
Bravo	0.55	28	6.09	7
			7.26	14
			6.27	21
			6.60	28
Charlie	0.55	28	5.73	7
			6.16	14
			6.66	21
			8.62	28

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que el diseño de mezclas utilizando el Método Factorial 6 obtiene resultados de resistencia menor a la estimada, aproximadamente un 31% a menos.

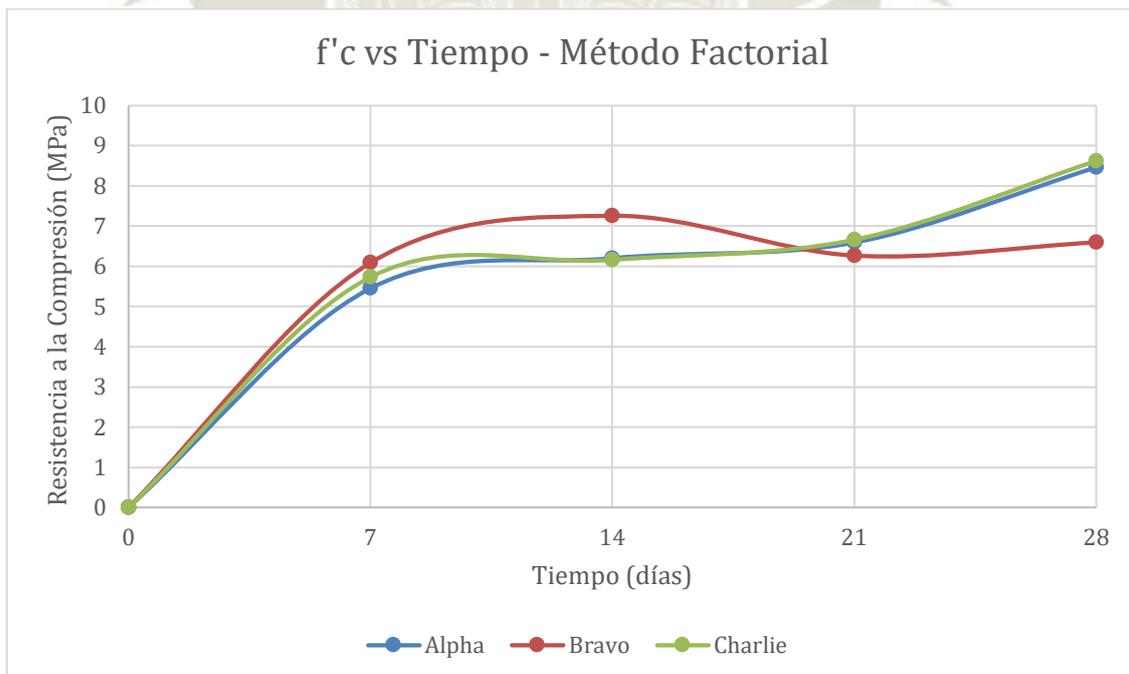


Ilustración 31: Resistencia a la Compresión ($f'_c \approx 28\text{MPa}$) vs Tiempo - Método Factorial 6

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 194: Resistencia a la Compresión - Método "Factorial" 7

Método Factorial 7 – Relación Af/At = 0.40				
Tipo De Agregado	Relación A/C	Resistencia De Diseño f'_c (MPa)	Resistencia Obtenida f'_c (MPa)	Días De Curado
Alpha	0.45	35	9.82	7
			9.14	14
			10.51	21
			13.11	28
Bravo	0.45	35	6.91	7
			5.99	14
			6.97	21
			6.45	28
Charlie	0.45	35	9.21	7
			7.65	14
			9.90	21
			8.65	28

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que el diseño de mezclas utilizando el Método Factorial 7 obtiene resultados de resistencia menor a la estimada, aproximadamente un 40% a menos.

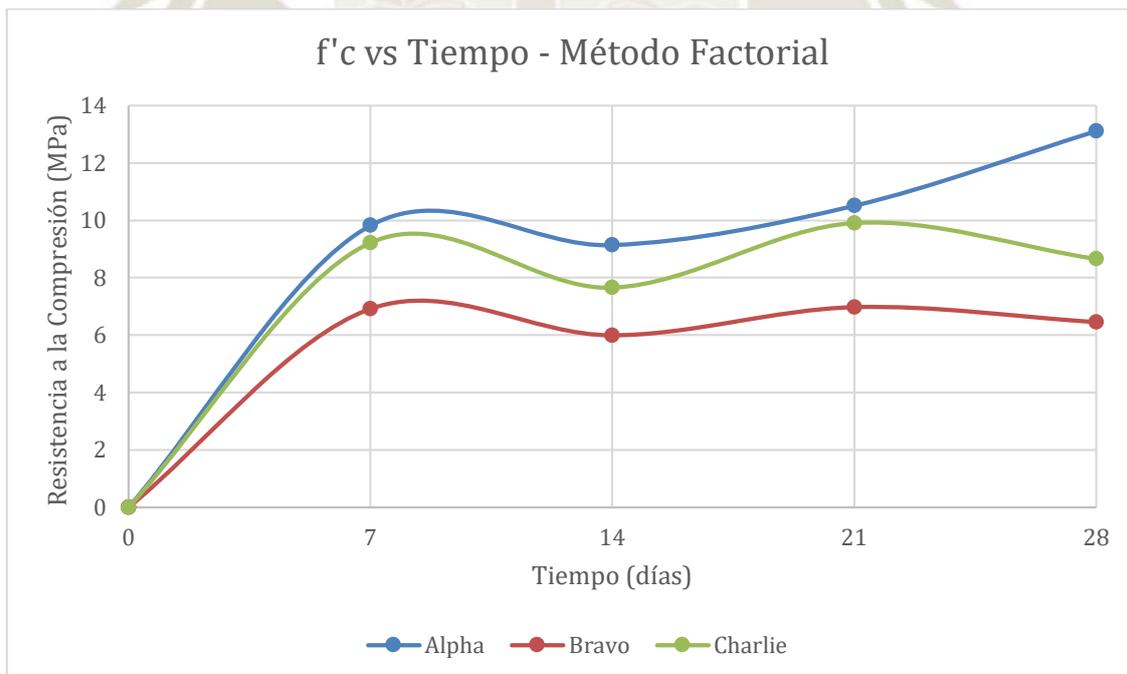


Ilustración 32: Resistencia a la Compresión ($f'_c \approx 35\text{MPa}$) vs Tiempo - Método Factorial 7

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 195: Resistencia a la Compresión - Método "Factorial" 8

Método Factorial 8 – Relación Af/At = 0.50				
Tipo De Agregado	Relación Af/At	Resistencia De Diseño f'_c (MPa)	Resistencia Obtenida f'_c (MPa)	Días De Curado
Alpha	0.45	35	9.16	7
			10.16	14
			12.02	21
			13.94	28
Bravo	0.45	35	8.73	7
			9.41	14
			10.28	21
			10.53	28
Charlie	0.45	35	9.03	7
			9.80	14
			10.80	21
			12.92	28

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que el diseño de mezclas utilizando el Método Factorial 8 obtiene resultados de resistencia menor a la estimada, aproximadamente un 40% a menos.

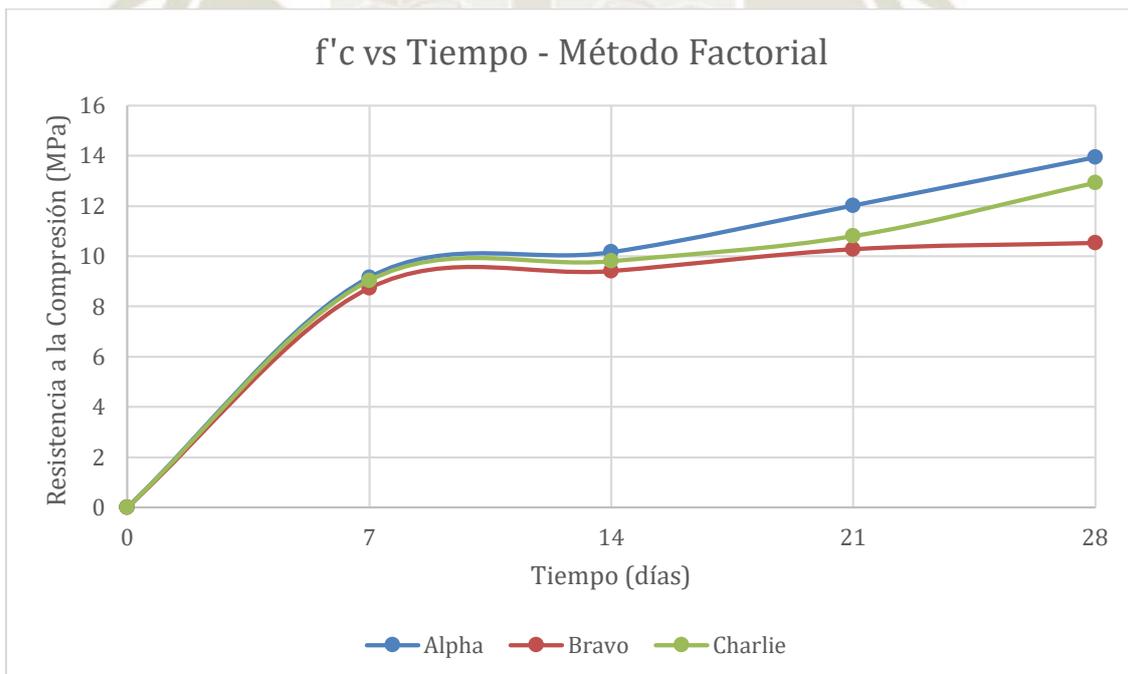


Ilustración 33: Resistencia a la Compresión ($f'_c \approx 35$ MPa) vs Tiempo - Método Factorial 8

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 196: Resistencia a la Compresión - Método "Factorial" 9

Método Factorial 9 – Relación Af/At = 0.60				
Tipo De Agregado	Relación Af/At	Resistencia De Diseño f'_c (MPa)	Resistencia Obtenida f'_c (MPa)	Días De Curado
Alpha	0.45	35	9.94	7
			9.86	14
			10.60	21
			12.24	28
Bravo	0.45	35	11.43	7
			10.89	14
			10.93	21
			13.91	28
Charlie	0.45	35	10.55	7
			10.48	14
			10.79	21
			13.22	28

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que el diseño de mezclas utilizando el Método Factorial 9 obtiene resultados de resistencia menor a la estimada, aproximadamente un 40% a menos.

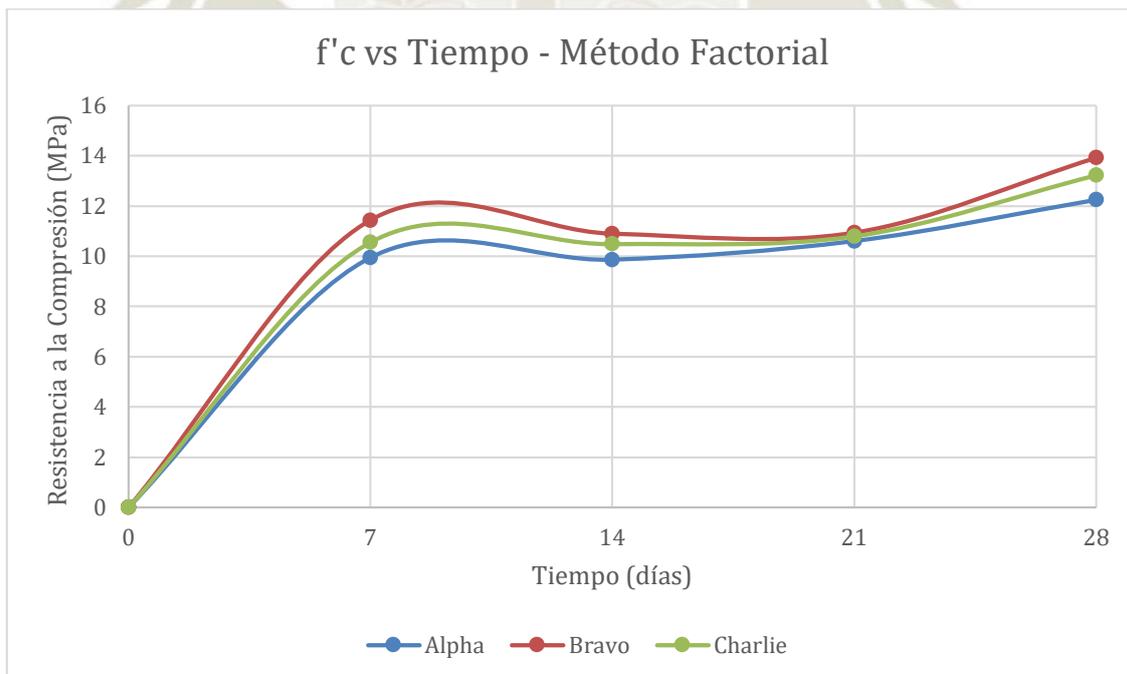


Ilustración 34: Resistencia a la Compresión ($f'_c \approx 35\text{MPa}$) vs Tiempo - Método Factorial 9

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 197: Resistencia a la Compresión - Método "Chandra y Berntsson" 1

Método Chandra Y Berntsson 1			
Tipo De Agregado	Resistencia De Diseño f'_c (MPa)	Resistencia Obtenida f'_c (MPa)	Días De Curado
Delta	21	13.01	7
		14.50	14
		17.99	21
		19.52	28
Ecco	21	9.61	7
		12.58	14
		14.26	21
		16.98	28

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que el diseño de mezclas utilizando el Método Chandra y Berntsson 1 obtiene resultados de resistencia cercanos a la estimada, aproximadamente un 93% a menos.

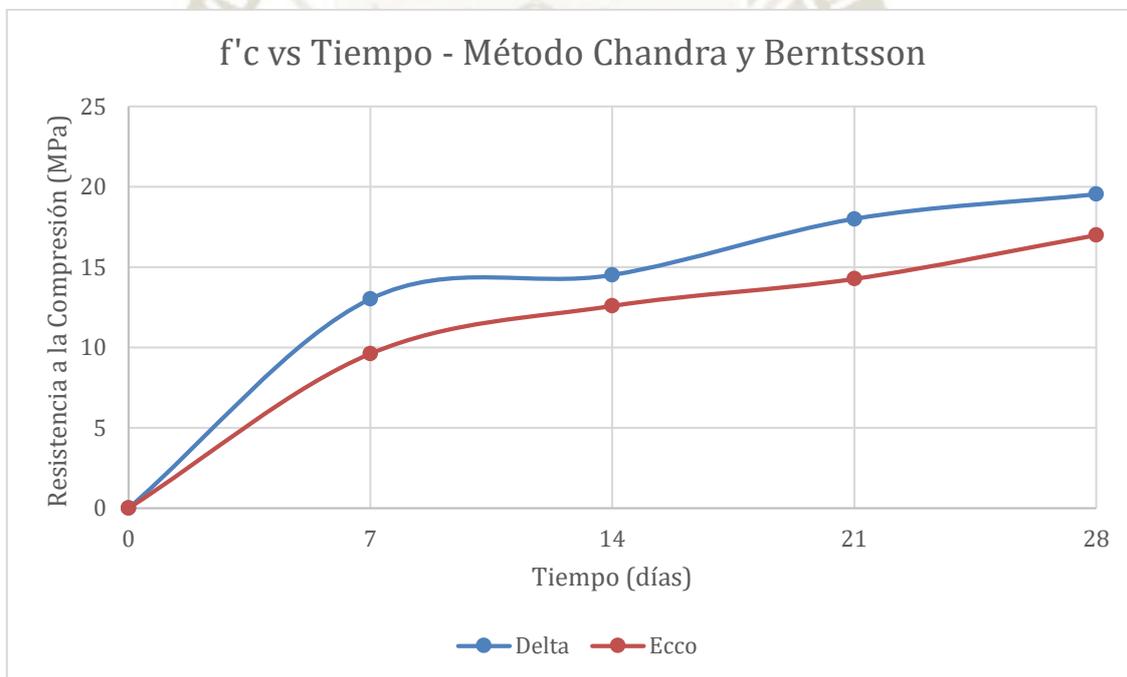


Ilustración 35: Resistencia a la Compresión ($f'_c \approx 21$ MPa) vs Tiempo - Método "Chandra y Berntsson"1

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 198: Resistencia a la Compresión - Método "Chandra y Berntsson" 2

Método Chandra Y Berntsson 2			
Tipo De Agregado	Resistencia De Diseño f'_c (MPa)	Resistencia Obtenida f'_c (MPa)	Días De Curado
Delta	28	14.91	7
		19.00	14
		19.63	21
		22.06	28
Ecco	28	15.39	7
		19.03	14
		20.59	21
		19.39	28

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que el diseño de mezclas utilizando el Método Chandra y Berntsson 1 obtiene resultados de resistencia cercanos a la estimada, aproximadamente un 80% a menos

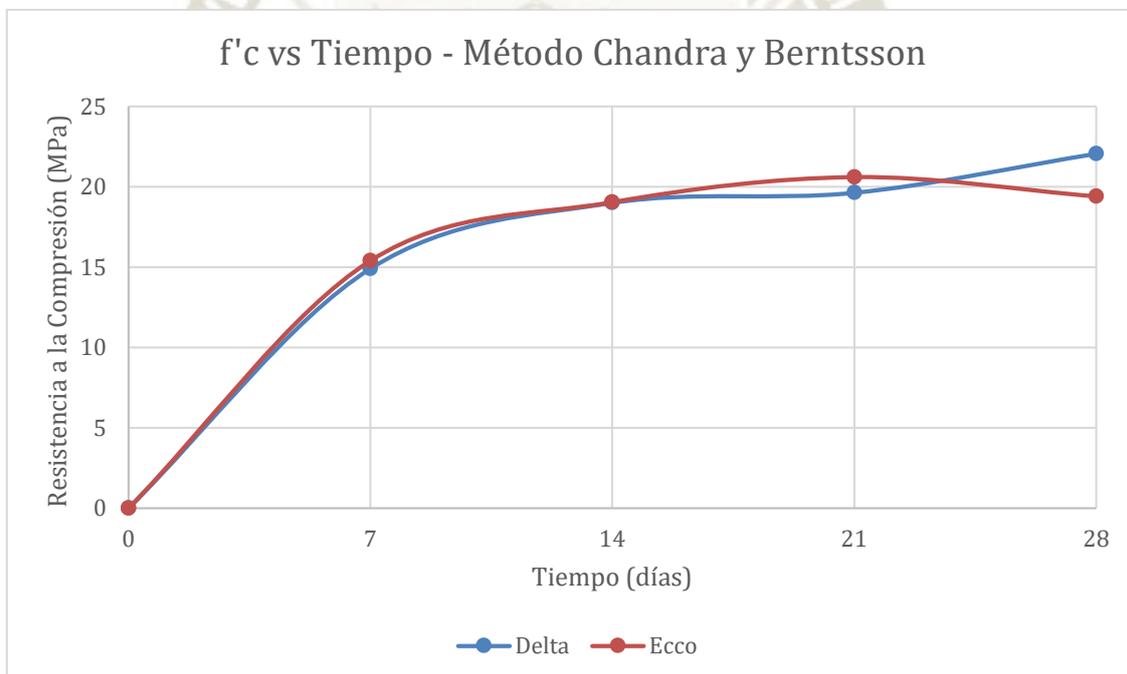


Ilustración 36: Resistencia a la Compresión ($f'_c \approx 28\text{MPa}$) vs Tiempo - Método "Chandra y Berntsson"2

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 199: Resistencia a la Compresión - Método "Chandra y Berntsson" 3

Método Chandra Y Berntsson 3			
Tipo De Agregado	Resistencia De Diseño f'_c (MPa)	Resistencia Obtenida f'_c (MPa)	Días De Curado
Delta	35	18.04	7
		23.63	14
		25.03	21
		25.47	28
Ecco	35	18.02	7
		22.60	14
		23.00	21
		25.12	28

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que el diseño de mezclas utilizando el Método Chandra y Berntsson 1 obtiene resultados de resistencia menor a la estimada, aproximadamente un 73% a menos

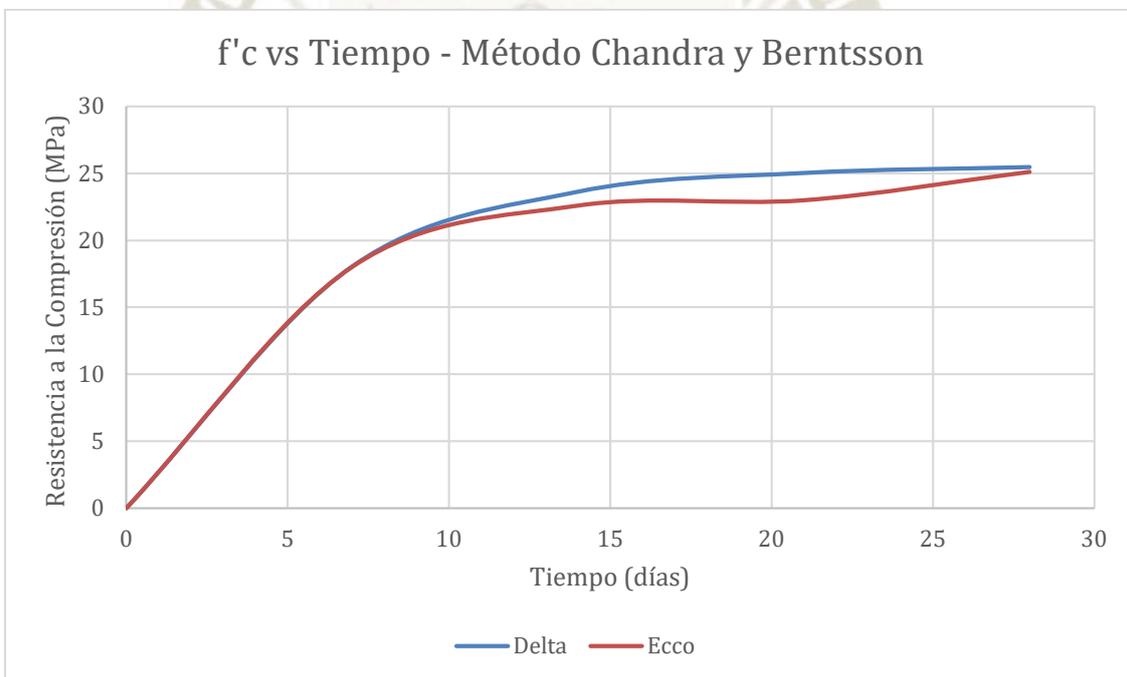


Ilustración 37: Resistencia a la Compresión ($f'_c \approx 35$ MPa) vs Tiempo - Método "Chandra y Berntsson"3

Fuente: Elaboración Propia

5.3.2 PESO UNITARIO

Debido a que el concreto puede perder agua durante su periodo de endurecimiento, el peso unitario o densidad deberá ser evaluado una vez más, esta vez en las muestras de concreto endurecido. Para realizar este ensayo es vital que el concreto ya haya perdido toda el agua que permaneció dentro de él después del periodo de curado.

Para ello se procedió a hallar la densidad dada por el cociente del peso de las unidades de ensayo y de su volumen, siendo los siguientes los resultados.

Tabla 200: Peso Unitario Promedio para Diseño por Método Factorial

Peso Unitario Promedio para Diseño por Método Factorial, en kg/m ³								
Alpha	1	1614.66	Bravo	1	1530.51	Charlie	1	1546.05
	2	1681.04		2	1590.18		2	1715.42
	3	1744.52		3	1654.30		3	1756.27
	4	1721.27		4	1711.86		4	1742.79
	5	1747.62		5	1753.71		5	1750.66
	6	1786.79		6	1844.47		6	1772.61
	7	1734.85		7	1728.27		7	1737.09
	8	1759.37		8	1704.07		8	1740.48
	9	1835.35		9	1795.25		9	1819.50

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 201: Peso Unitario Promedio para Diseño por Método de Chandra y Berntsson

Peso Unitario Promedio para Diseño por Método de Chandra y Berntsson, en kg/m ³					
Delta	1	1874.20	Ecco	1	1793.24
	2	1889.64		2	1861.31
	3	1952.03		3	1878.67

Fuente: Elaboración Propia

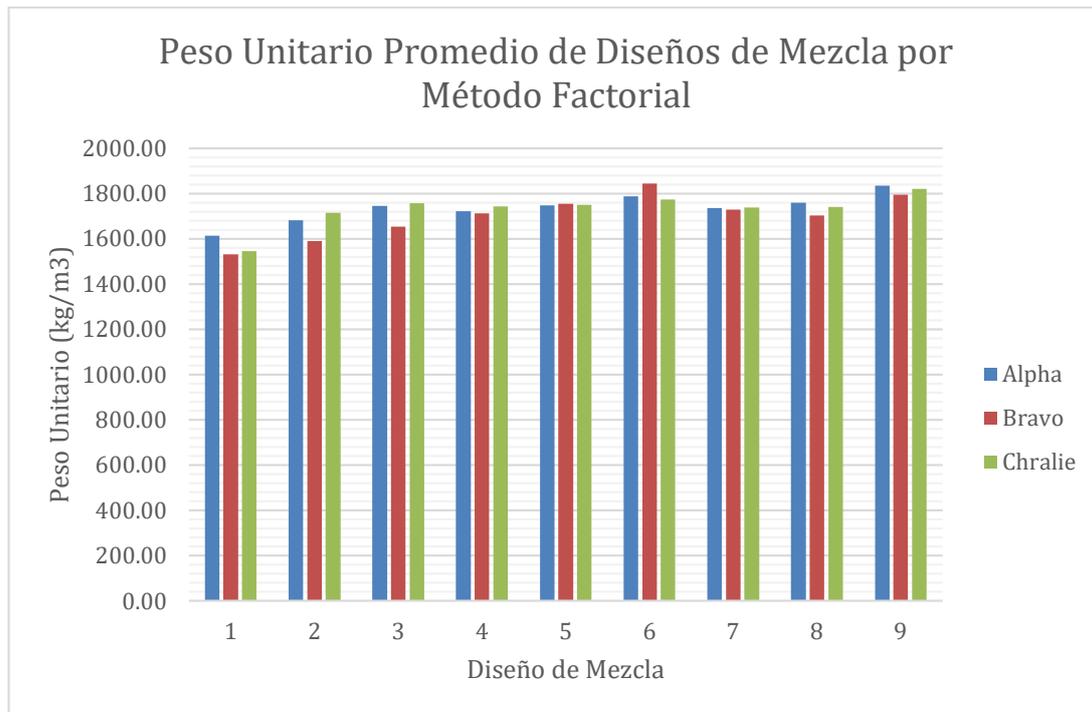


Ilustración 38: Comparación de Pesos Unitarios en Diseños por Método Factorial
Fuente: Elaboración Propia

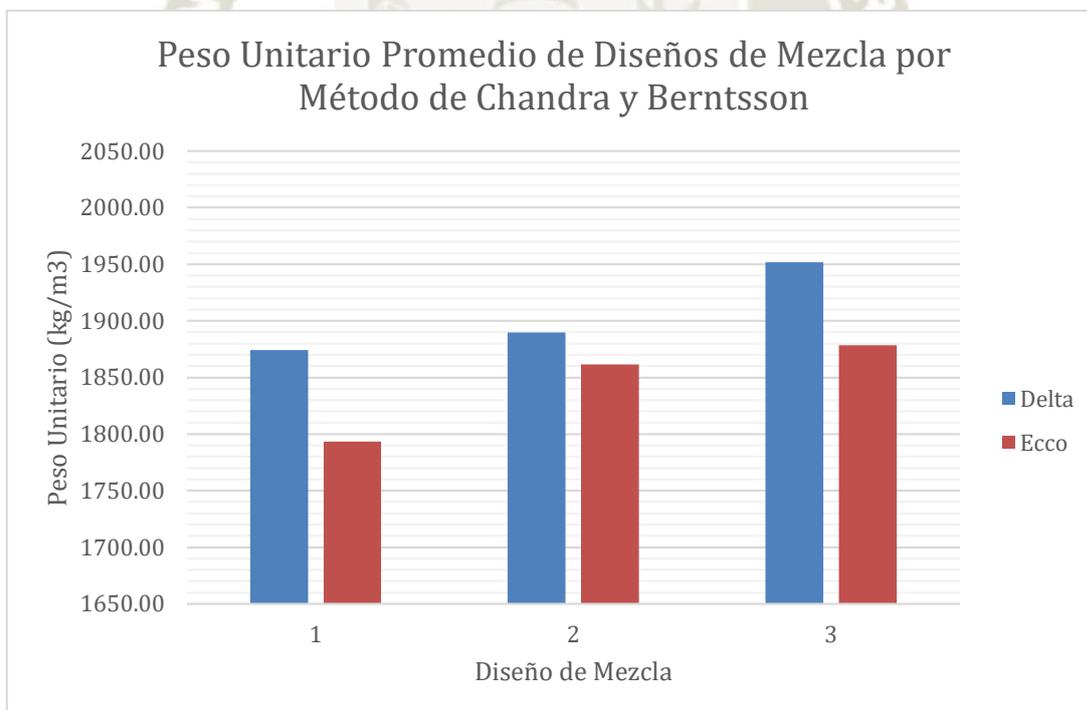


Ilustración 39: Comparación de Pesos Unitarios en Diseños por Método de Chandra y Berntsson

Fuente: Elaboración Propia

5.4 ANÁLISIS COMPARATIVO

5.4.1 ANÁLISIS DE LA RELACIÓN a/c VS RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Tabla 202: Relación a/c vs Resistencia a la compresión - Alpha

a/c	Material	Af/At	Tiempo (días)	f'c (MPa)	a/c	Material	Af/At	Tiempo (días)	f'c (MPa)	a/c	Material	Af/At	Tiempo (días)	f'c (MPa)
0.65	Alpha	0.40	0	0.00	0.55	Alpha	0.40	0	0.00	0.45	Alpha	0.40	0	0.00
			7	2.80				7	4.79				7	9.82
			14	4.37				14	5.98				14	9.14
			21	3.22				21	5.81				21	10.51
			28	4.15				28	6.51				28	13.11
		0.50	0	0.00			0.50	0	0.00			0.50	0	0.00
			7	4.22				7	4.96				7	9.16
			14	4.80				14	5.78				14	10.16
			21	5.84				21	5.79				21	12.02
			28	5.68				28	5.77				28	13.94
		0.60	0	0.00			0.60	0	0.00			0.60	0	0.00
			7	5.62				7	5.45				7	9.94
			14	6.49				14	6.20				14	9.86
			21	7.39				21	6.59				21	10.60
			28	6.49				28	8.46				28	12.24

Fuente: Elaboración Propia

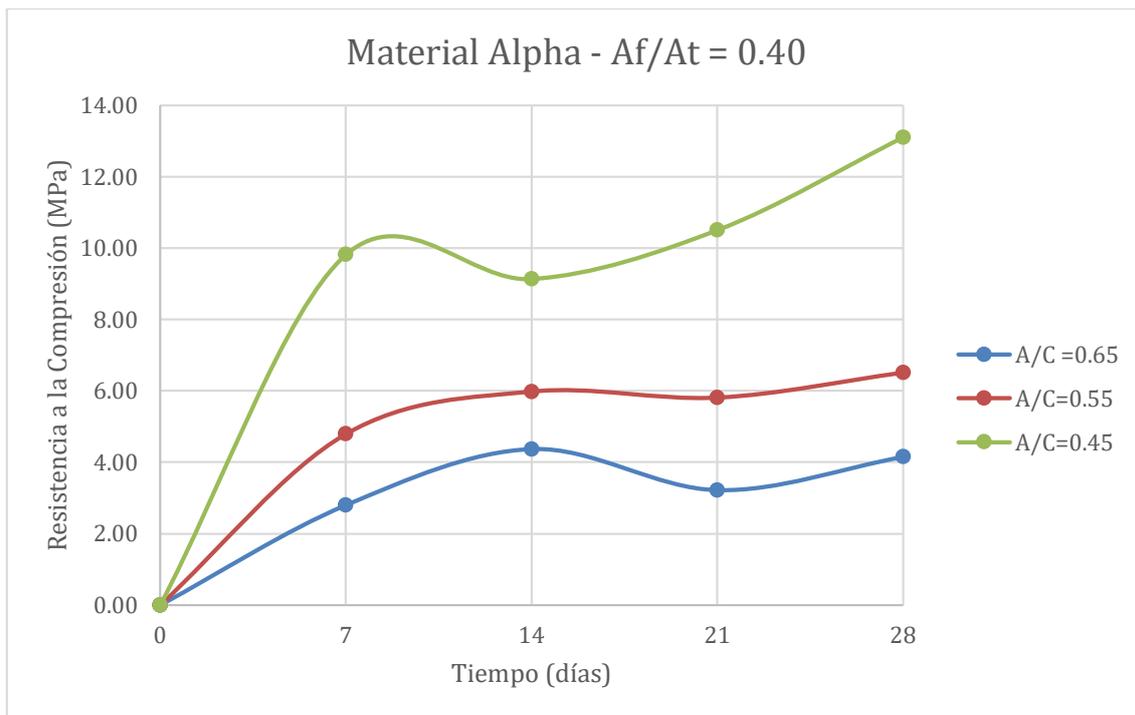


Ilustración 40: Comparación de f_c para $A_f/A_t = 0.40$ – Alpha

Fuente: Elaboración Propia

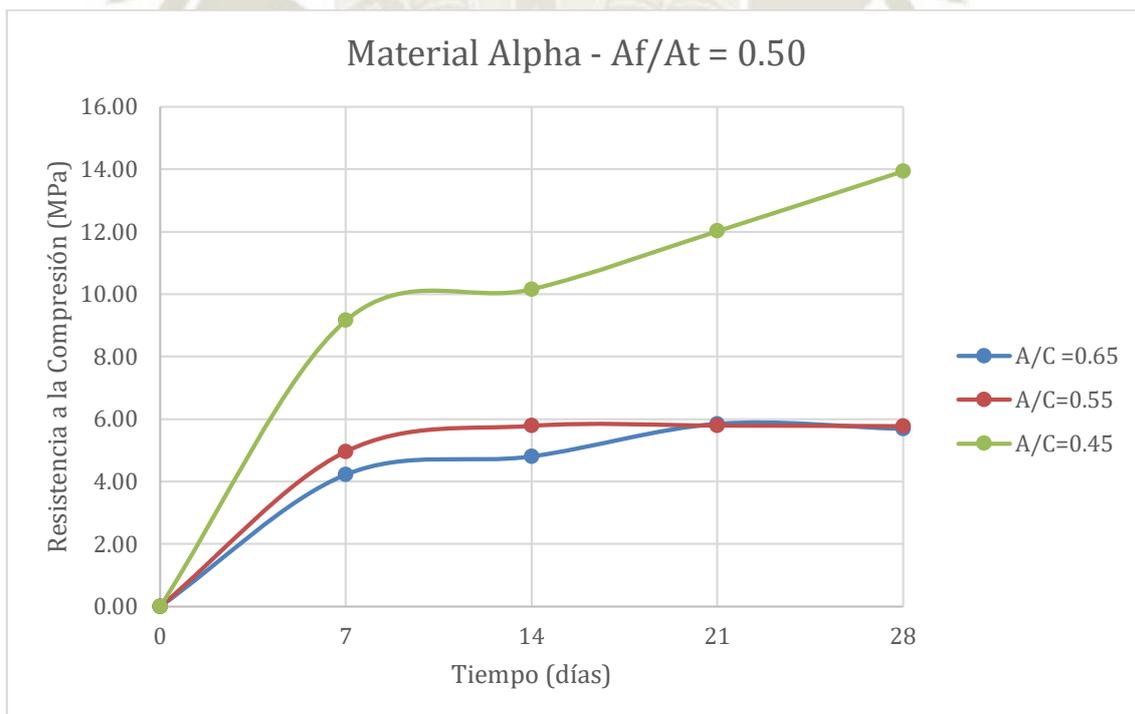


Ilustración 41: Comparación de f_c para $A_f/A_t = 0.50$ – Alpha

Fuente: Elaboración Propia

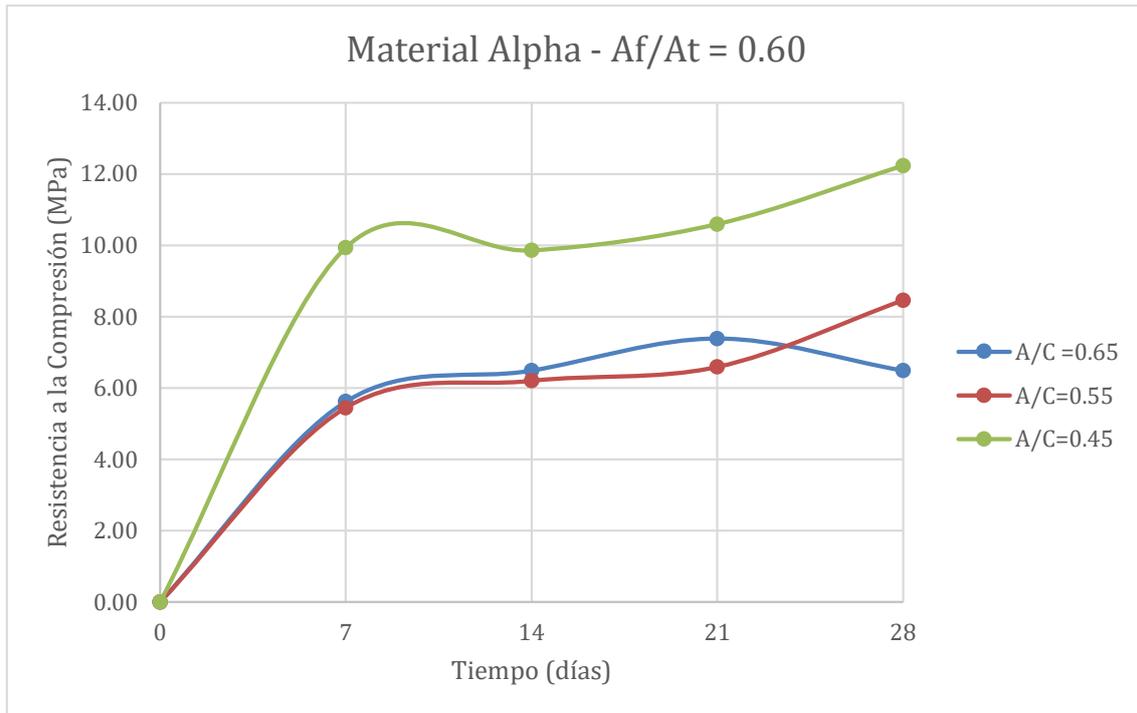


Ilustración 42: Comparación de f_c para $A_f/A_t = 0.60$ – Alpha

Fuente: Elaboración Propia

Es visible en las gráficas que la resistencia a la compresión para el agregado liviano del punto Alpha si es dependiente de la relación Agua/Cemento, sin embargo, esto se da principalmente entre intervalos grandes de este valor. La diferencia de resistencia entre los valores de 0.45 y 0.55 sólo es de un valor importante en el diseño con una relación de agregado fino/agregado total de 0.40, uniformizándose de allí en más.

Tabla 203: Relación a/c vs Resistencia a la compresión - Bravo

a/c	Material	Af/At	Tiempo (días)	f'c (MPa)	a/c	Material	Af/At	Tiempo (días)	f'c (MPa)	a/c	Material	Af/At	Tiempo (días)	f'c (MPa)
0.65	Bravo	0.40	0	0.00	0.55	Bravo	0.40	0	0.00	0.45	Bravo	0.40	0	0.00
			7	4.65				7	5.20				7	6.91
			14	4.60				14	5.51				14	5.99
			21	5.10				21	6.02				21	6.97
			28	5.07				28	6.24				28	6.45
		0.50	0	0.00			0.50	0	0.00			0.50	0	0.00
			7	4.80				7	5.54				7	8.73
			14	5.61				14	6.29				14	9.41
			21	6.00				21	5.78				21	10.28
			28	5.15				28	5.73				28	10.53
		0.60	0	0.00			0.60	0	0.00			0.60	0	0.00
			7	5.81				7	6.09				7	11.43
			14	6.11				14	7.26				14	10.89
			21	6.79				21	6.27				21	10.93
			28	6.07				28	6.60				28	13.91

Fuente: Elaboración Propia

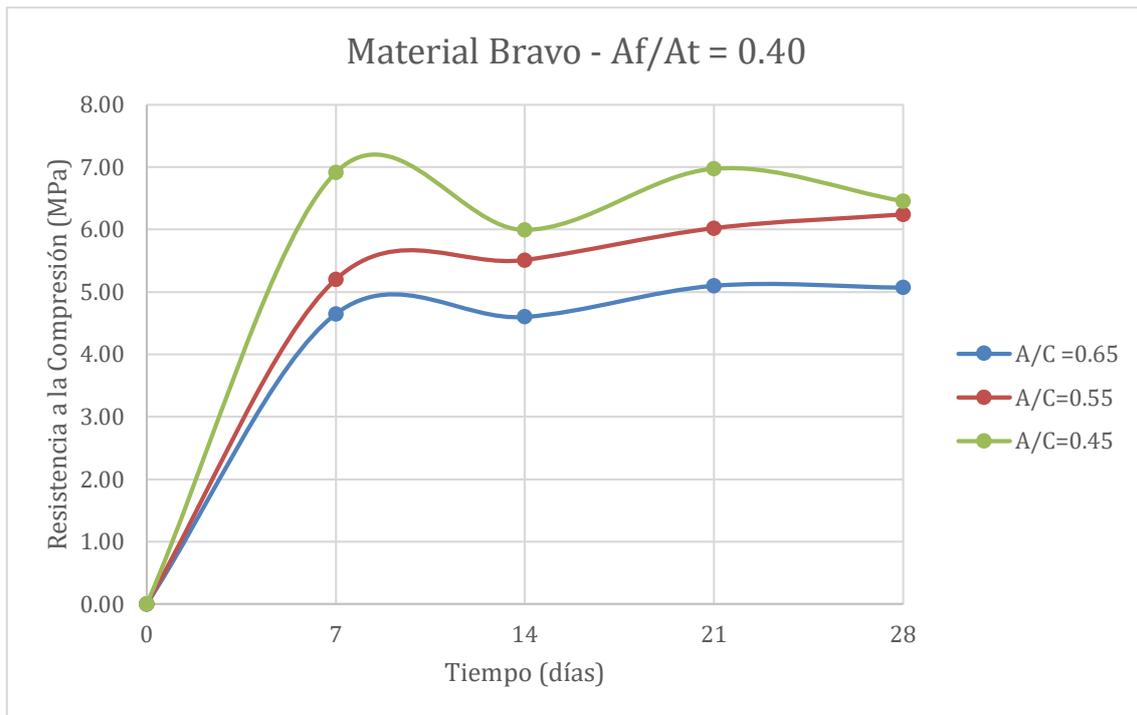


Ilustración 43: Comparación de f_c para Af/At = 0.40 – Bravo

Fuente: Elaboración Propia

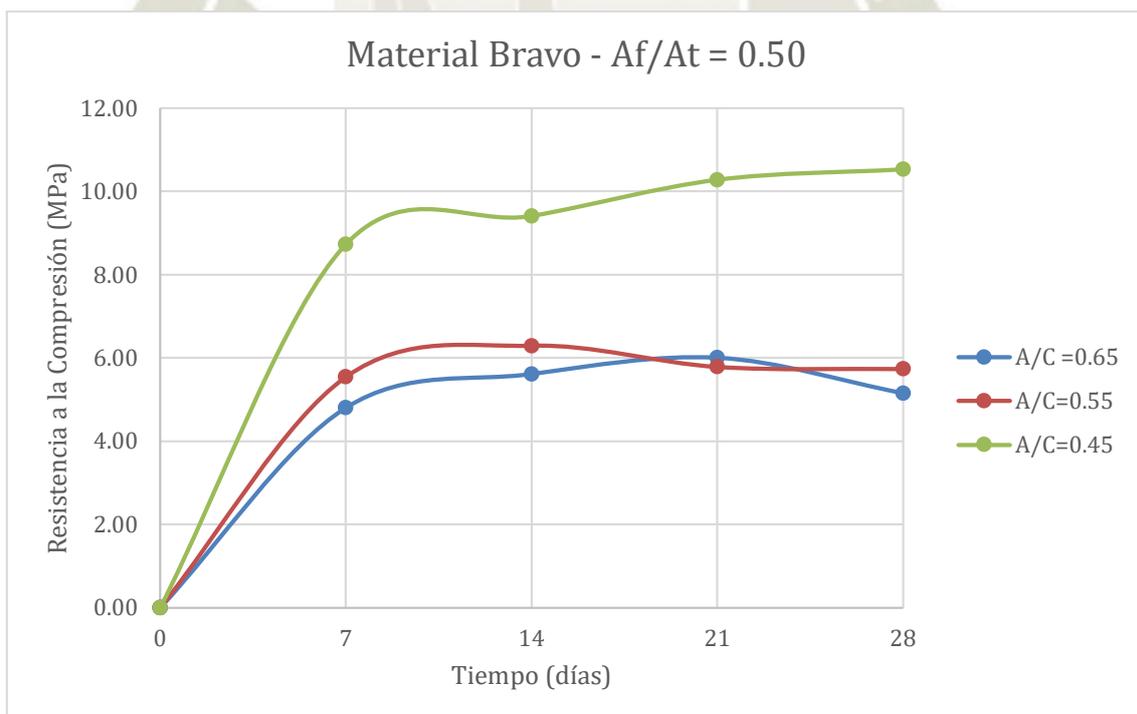


Ilustración 44: Comparación de f_c para Af/At = 0.50 – Bravo

Fuente: Elaboración Propia

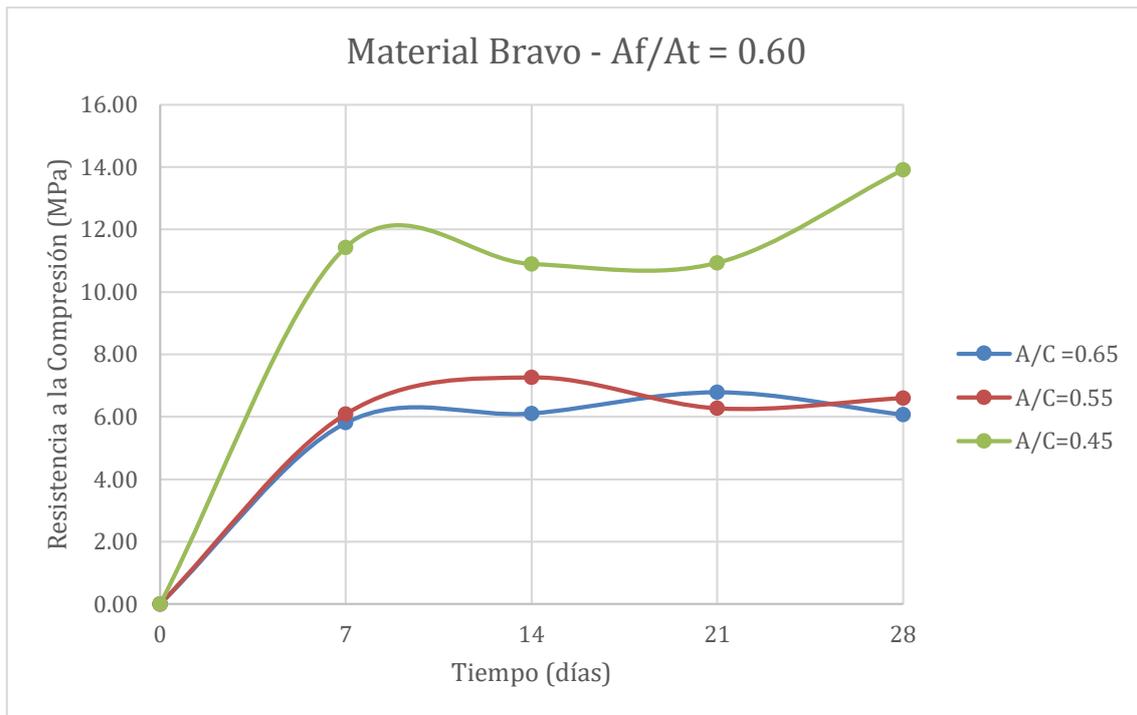


Ilustración 45: Comparación de f_c para $A_f/A_t = 0.60$ – Bravo

Fuente: Elaboración Propia

De forma análoga a la serie de datos anteriores, estos producen resultados que permiten una clara diferenciación de las resistencias a la compresión entre las relaciones de agua /cemento solo ante la presencia de un 40% de agregado fino, para otros valores las relaciones de agua/cemento producirán resultados con valores casi indistinguibles uno del otro.

Tabla 204: Relación a/c vs Resistencia a la compresión - Charlie

a/c	Material	Af/At	Tiempo (días)	f'c (MPa)	a/c	Material	Af/At	Tiempo (días)	f'c (MPa)	a/c	Material	Af/At	Tiempo (días)	f'c (MPa)
0.65	Charlie	0.40	0	0.00	0.55	Charlie	0.40	0	0.00	0.45	Charlie	0.40	0	0.00
			7	4.55				7	5.02				7	9.21
			14	5.13				14	5.75				14	7.65
			21	4.57				21	5.70				21	9.90
			28	4.85				28	5.70				28	8.65
		0.50	0	0.00			0.50	0	0.00			0.50	0	0.00
			7	2.95				7	4.99				7	9.03
			14	3.36				14	5.93				14	9.80
			21	3.34				21	5.83				21	10.80
			28	3.56				28	5.72				28	12.92
		0.60	0	0.00			0.60	0	0.00			0.60	0	0.00
			7	4.95				7	5.73				7	10.55
			14	5.21				14	6.16				14	10.48
			21	5.06				21	6.66				21	10.79
			28	5.83				28	8.62				28	13.22

Fuente: Elaboración Propia

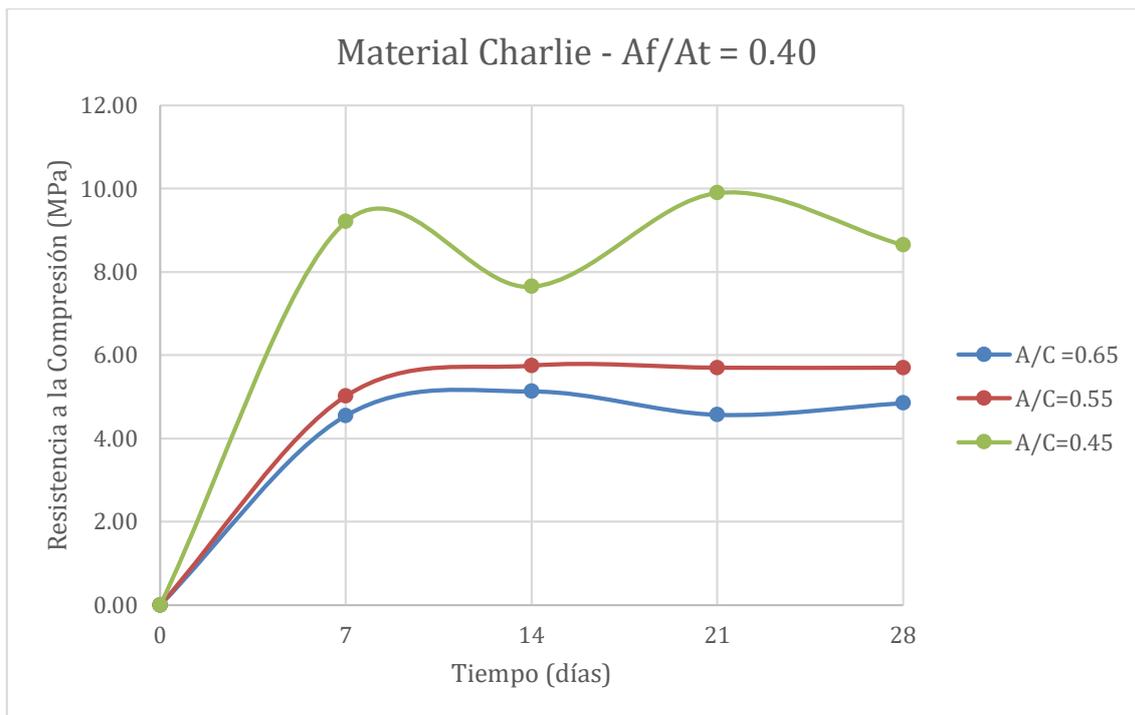


Ilustración 46: Comparación de f_c para $A_f/A_t = 0.40$ – Charlie

Fuente: Elaboración Propia

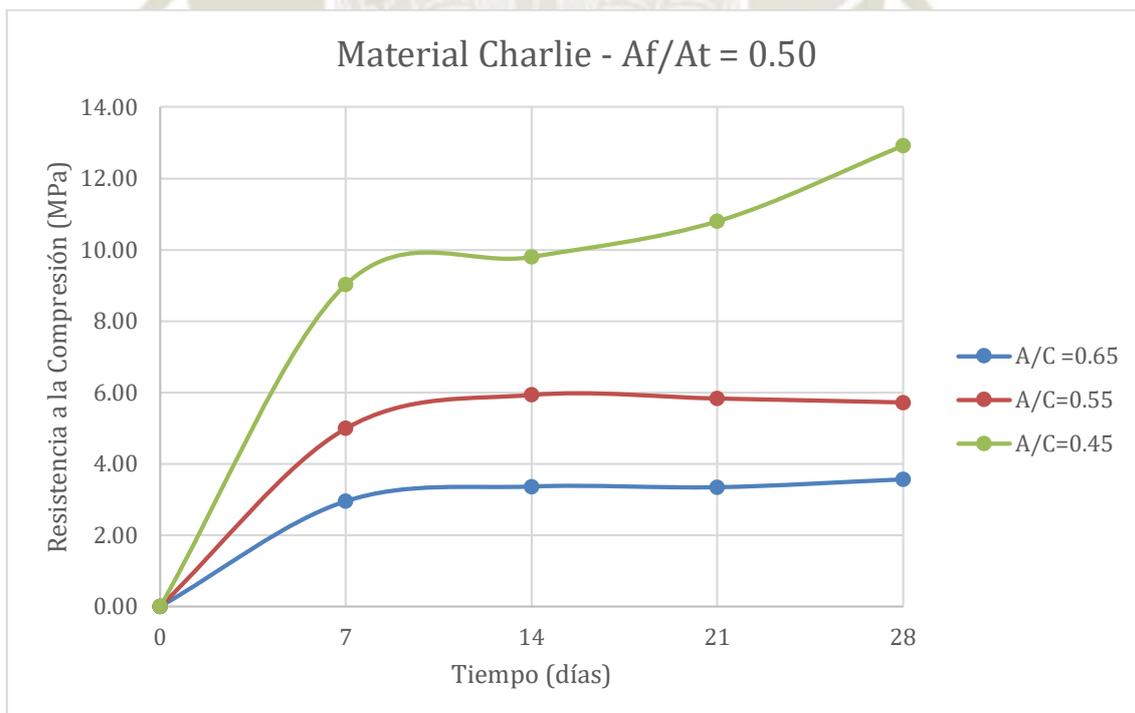


Ilustración 47: Comparación de f_c para $A_f/A_t = 0.50$ – Charlie

Fuente: Elaboración Propia

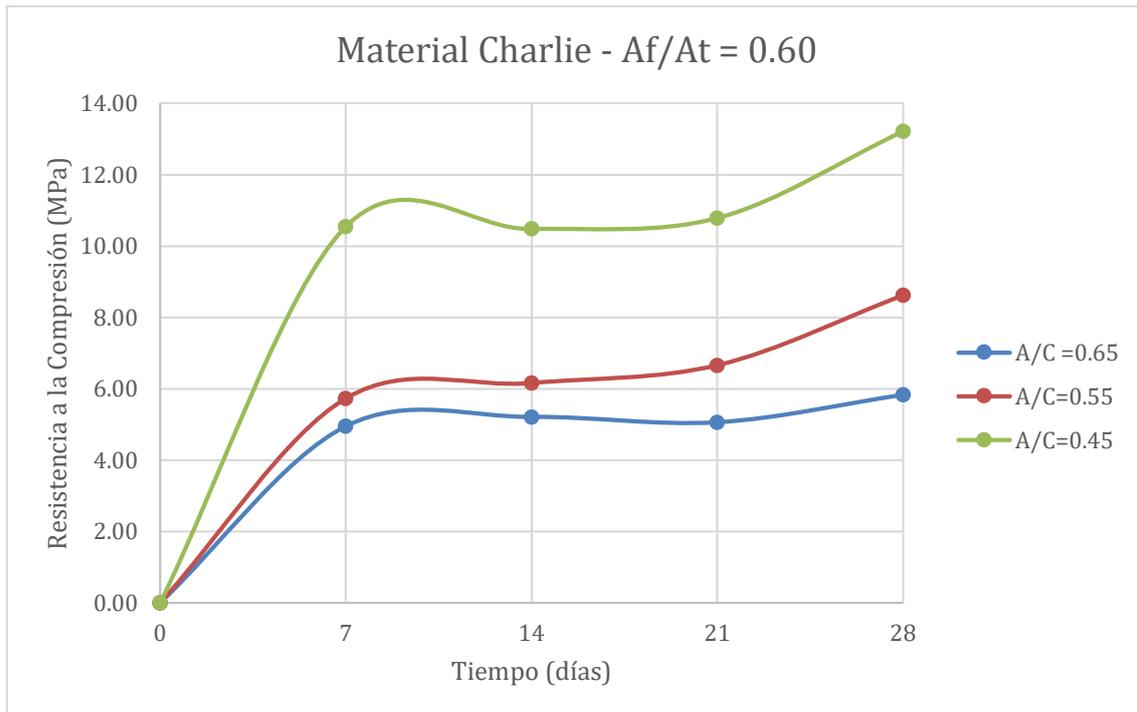


Ilustración 48: Comparación de f_c para $A_f/A_t = 0.60$ – Charlie

Fuente: Elaboración Propia

Dentro de los diseños de mezcla realizado a través del método factorial, el cual cuenta con agregado liviano del punto de obtención “Charlie” presentan una distinción más clara de las resistencias a la compresión ante diferentes relaciones de agua/cemento, enfatizando su relación inversamente proporcional a la resistencia del concreto la cual se mantiene casi constante después de los 7 días de endurecimiento del concreto.

Tabla 205: Relación a/c vs Resistencia a la compresión – Delta/Ecco

a/c	Af/At	Material	Tiempo (días)	f'c (MPa)	a/c	Af/At	Material	Tiempo (días)	f'c (MPa)	a/c	Af/At	Material	Tiempo (días)	f'c (MPa)
0.58	0.70	Delta	0	0.00	0.43	0.70	Delta	0	0.00	0.31	0.70	Delta	0	0.00
			7	13.01				7	14.91				7	18.04
			14	14.50				14	19.00				14	23.63
			21	17.99				21	19.63				21	25.03
			28	19.52				28	22.06				28	25.47
			0	0.00				Ecco	0				0.00	Ecco	0	0.00
		7	9.61	7			15.39		7			18.08		
		14	12.58	14			19.03		14			22.60		
		21	14.26	21			20.59		21			23.00		
		28	16.98	28			19.39		28			25.12		

Fuente: Elaboración Propia

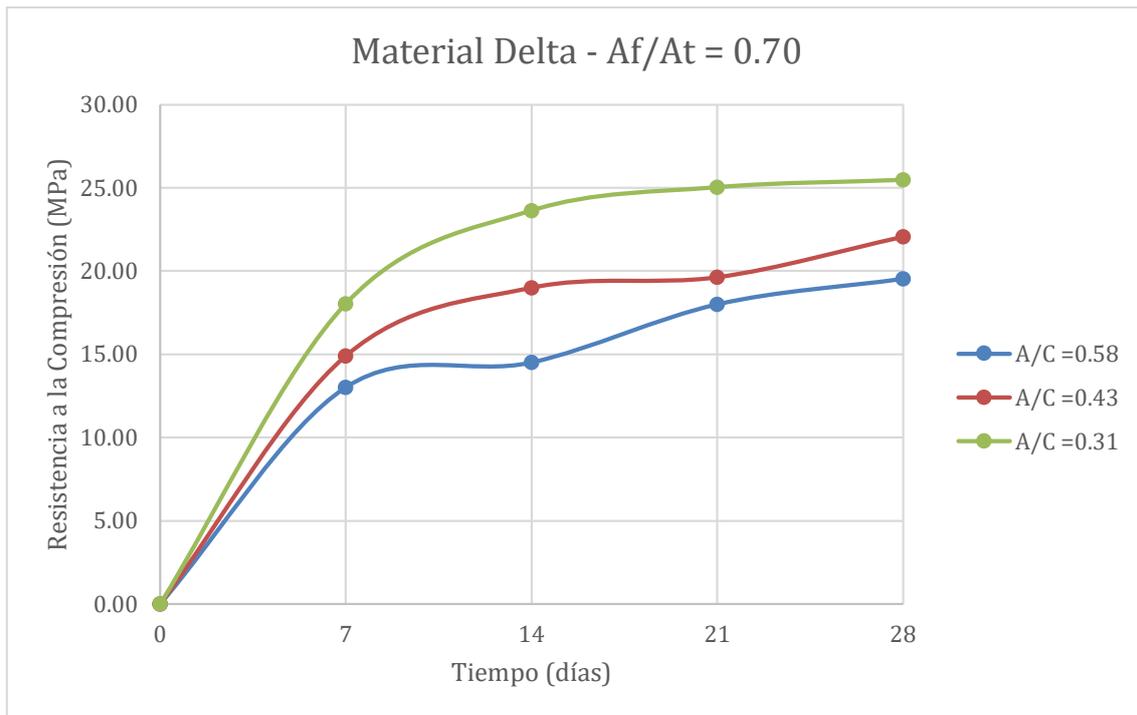


Ilustración 49: Comparación de f_c para $A_f/A_t = 0.70$ – Delta

Fuente: Elaboración Propia

La gráfica anterior señala una dependencia entre la resistencia a la compresión y la relación de Agua/Cemento más tradicional, incrementándose la primera a medida que se reduce la segunda. Las curvas generadas mantienen comportamientos con menos variaciones a lo largo del tiempo, posiblemente por no haber sido diseñados por el método factorial como en los casos pasado, más por el método de Chandra y Berntsson.

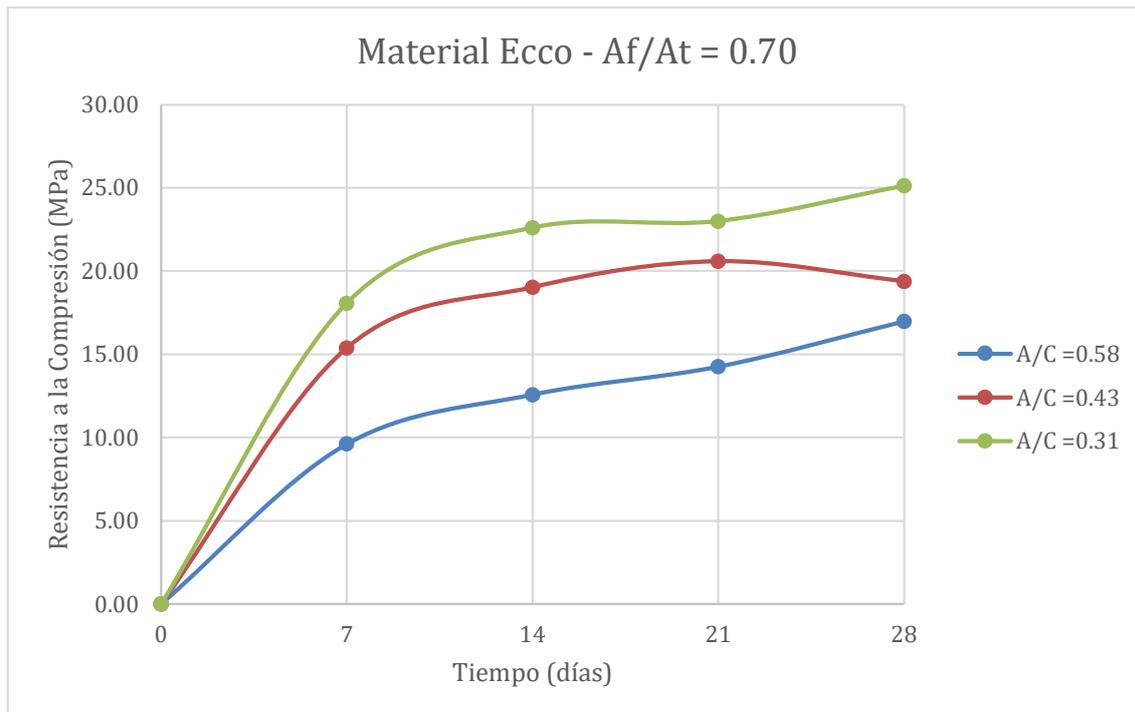


Ilustración 50: Comparación de f_c para $Af/At = 0.70$ – Ecco

Fuente: Elaboración Propia

En esta última comparación arroja resultados muy similares a la realizada para el concreto con material obtenido del punto “Delta”. Se mantienen curvas de crecimiento bien definidas a lo largo del abanico de relaciones a/c, reduciéndose notoriamente la resistencia a medida que se aumentaba la cantidad de agua en mezcla en relación a la cantidad de cemento.

5.4.2 ANÁLISIS DE LA RELACIÓN AGREGADO FINO/AGREGADO TOTAL VS RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Los diseños de mezcla, de igual forma que en el caso anterior, respondieron al cambio de algunos de los parámetros clave en su diseño, entre ellos la variación de la relación agregado fino/agregado total, en otras palabras, el porcentaje de agregado fino en masa en base a la masa total de agregados. Como se podrá ver en los gráficos siguientes, este parámetro si presenta cambios importantes en la mezcla al ser variado, aunque estos son más notorios mientras menor sea la relación de Agua/Cemento.

Tabla 206: Resistencias a la Compresión para distintos Af/At - Factorial 1

a/c	Material	Af/At	Tiempo días	f'c MPa
0.65	Alpha	0.40	7	2.80
			14	4.37
			21	3.22
			28	4.15
		0.50	7	4.22
			14	4.80
			21	5.84
			28	5.68
		0.60	7	5.62
			14	6.49
			21	7.39
			28	6.49
	Bravo	0.40	7	4.65
			14	4.60
			21	5.10
			28	5.07
		0.50	7	4.80
			14	5.61
			21	6.00
			28	5.15
		0.60	7	5.81
			14	6.11
			21	6.79
			28	6.07
Charlie	0.40	7	4.55	
		14	5.13	
		21	4.57	
		28	4.85	
	0.50	7	2.95	
		14	3.36	
		21	3.34	
		28	3.56	
	0.60	7	4.95	
		14	5.21	
		21	5.06	
		28	5.83	

Fuente: Elaboración Propia

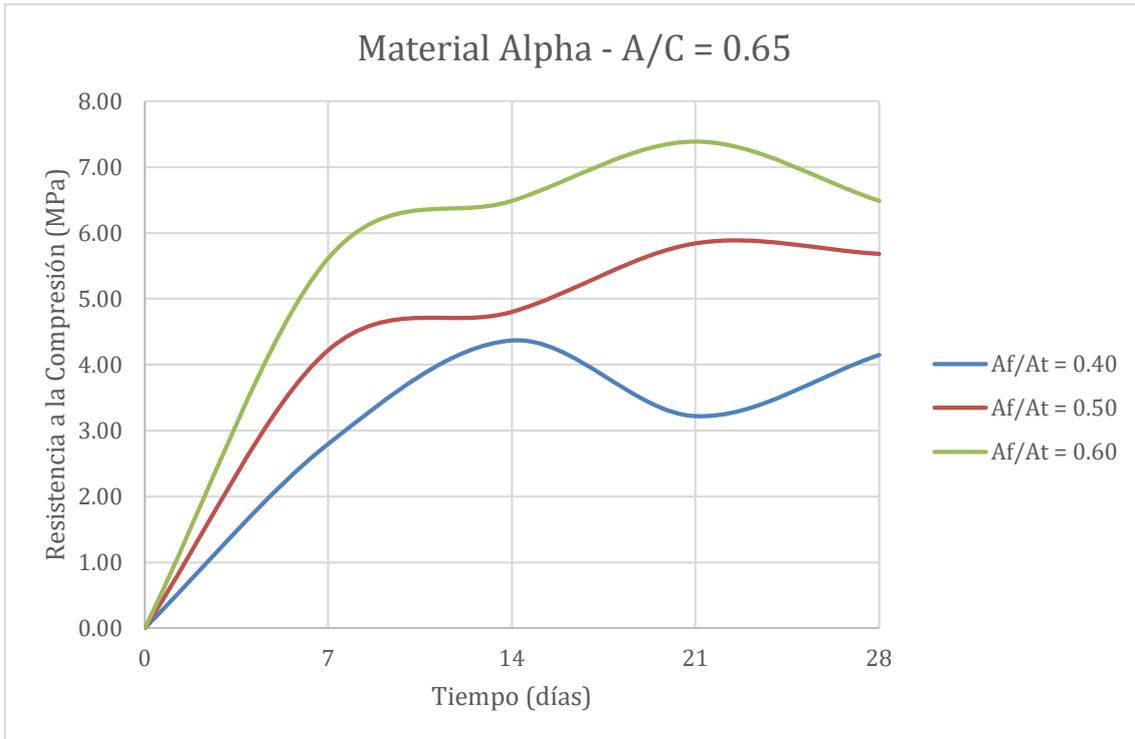


Ilustración 51: Comparación de f_c para $a/c = 0.65$ – Alpha

Fuente: Elaboración Propia

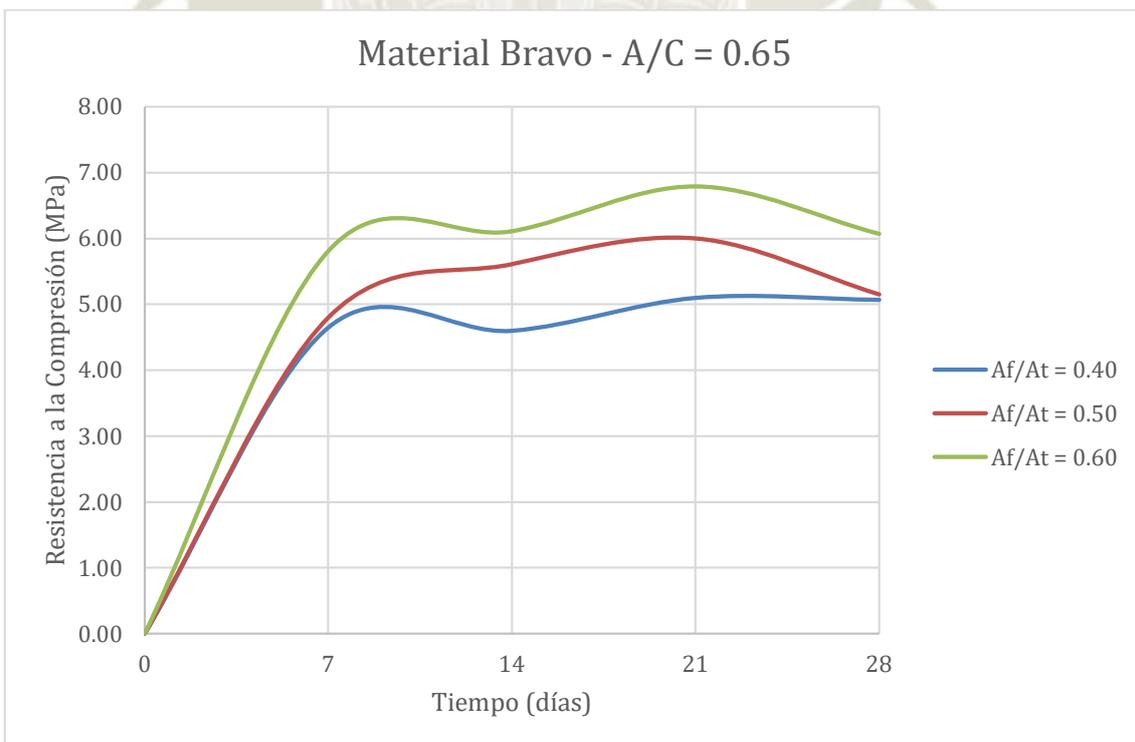


Ilustración 52: Comparación de f_c para $a/c = 0.65$ – Bravo

Fuente: Elaboración Propia

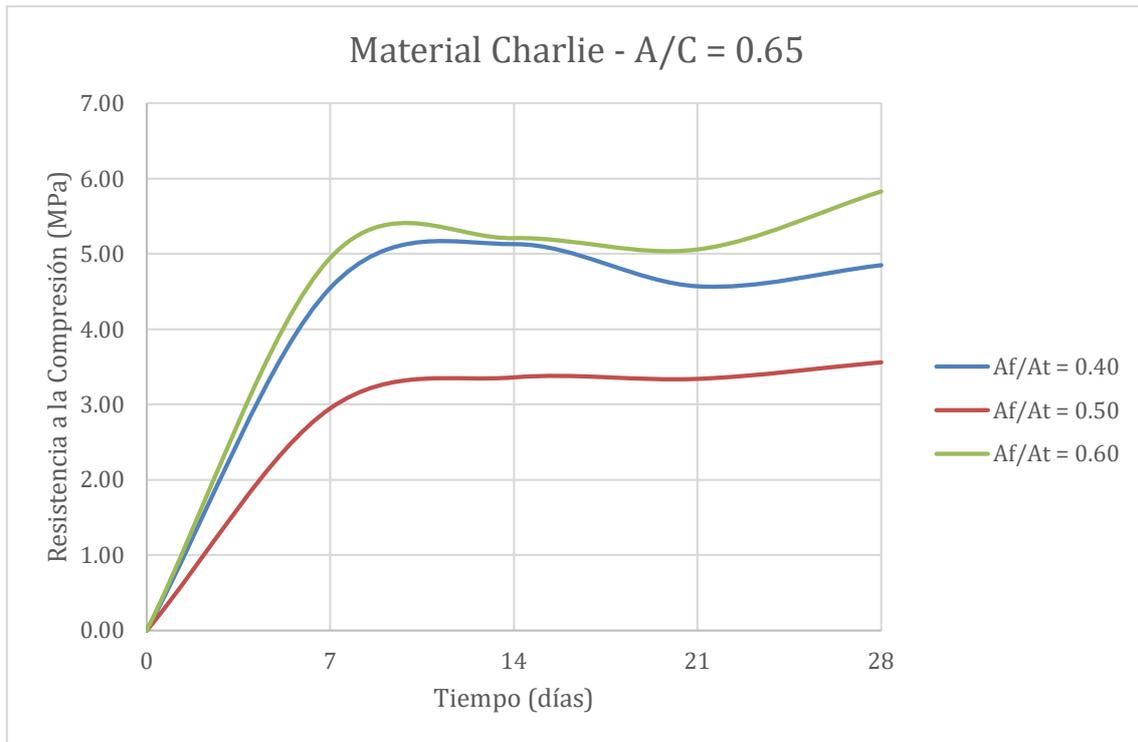


Ilustración 53: Comparación de f_c para $a/c = 0.65$ – Charlie

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 207: Resistencias a la Compresión para distintos Af/At - Factorial 2

a/c	Material	Af/At	Tiempo días	f'c MPa
0.55	Alpha	0.40	7	4.79
			14	5.98
			21	5.81
			28	6.51
		0.50	7	4.96
			14	5.78
			21	5.79
			28	5.77
		0.60	7	5.45
			14	6.20
			21	6.59
			28	8.46
	Bravo	0.40	7	5.20
			14	5.51
			21	6.02
			28	6.24
		0.50	7	5.54
			14	6.29
			21	5.78
			28	5.73
		0.60	7	6.09
			14	7.26
			21	6.27
			28	6.60
Charlie	0.40	7	5.02	
		14	5.75	
		21	5.70	
		28	5.70	
	0.50	7	4.99	
		14	5.93	
		21	5.83	
		28	5.72	
	0.60	7	5.73	
		14	6.16	
		21	6.66	
		28	8.62	

Fuente: Elaboración Propia

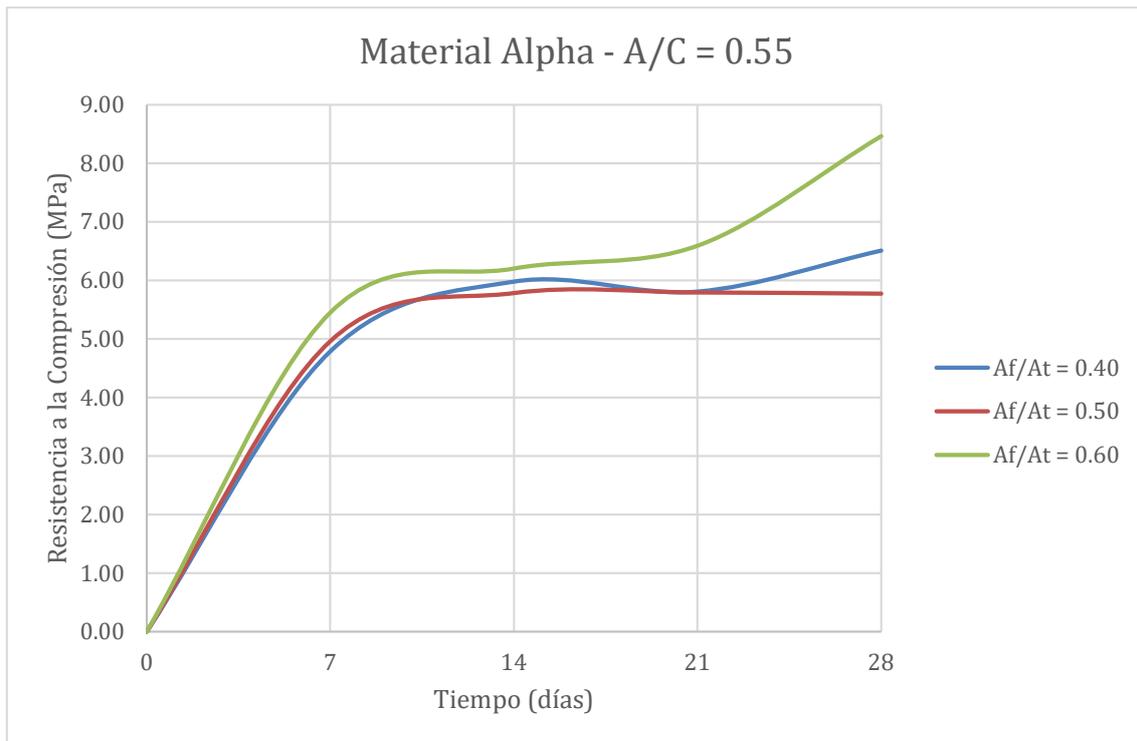


Ilustración 54: Comparación de f_c para $a/c = 0.55$ – Alpha

Fuente: Elaboración Propia

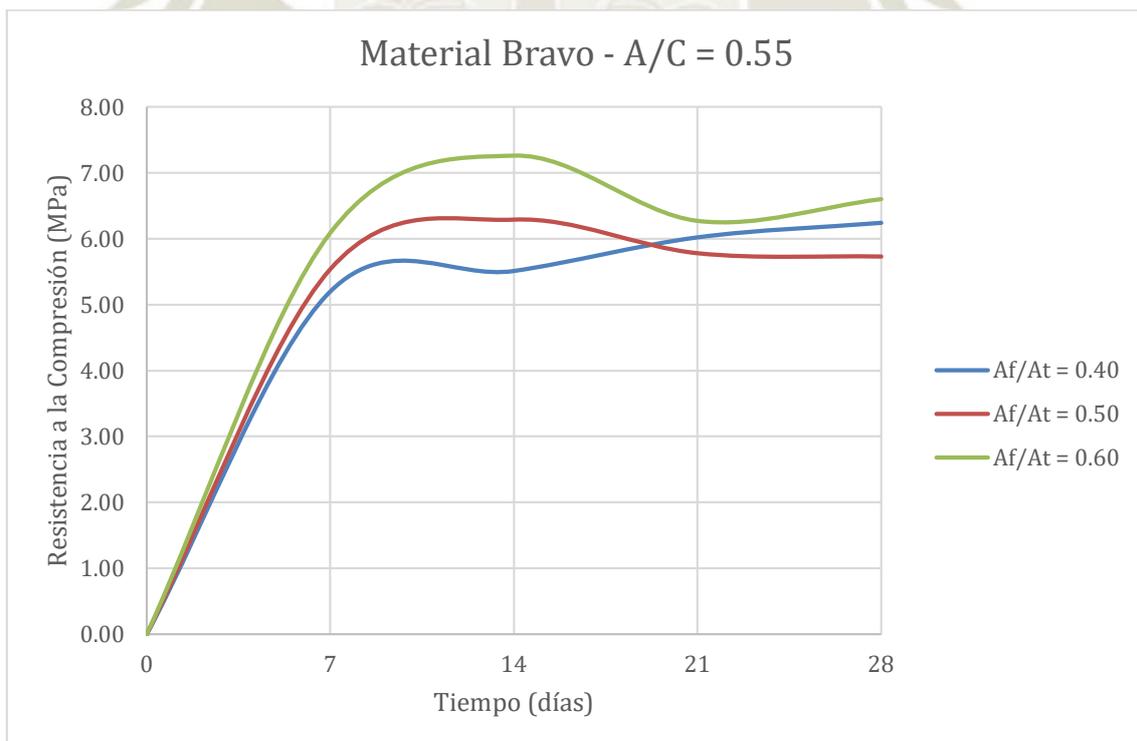


Ilustración 55: Comparación de f_c para $a/c = 0.55$ – Bravo

Fuente: Elaboración Propia

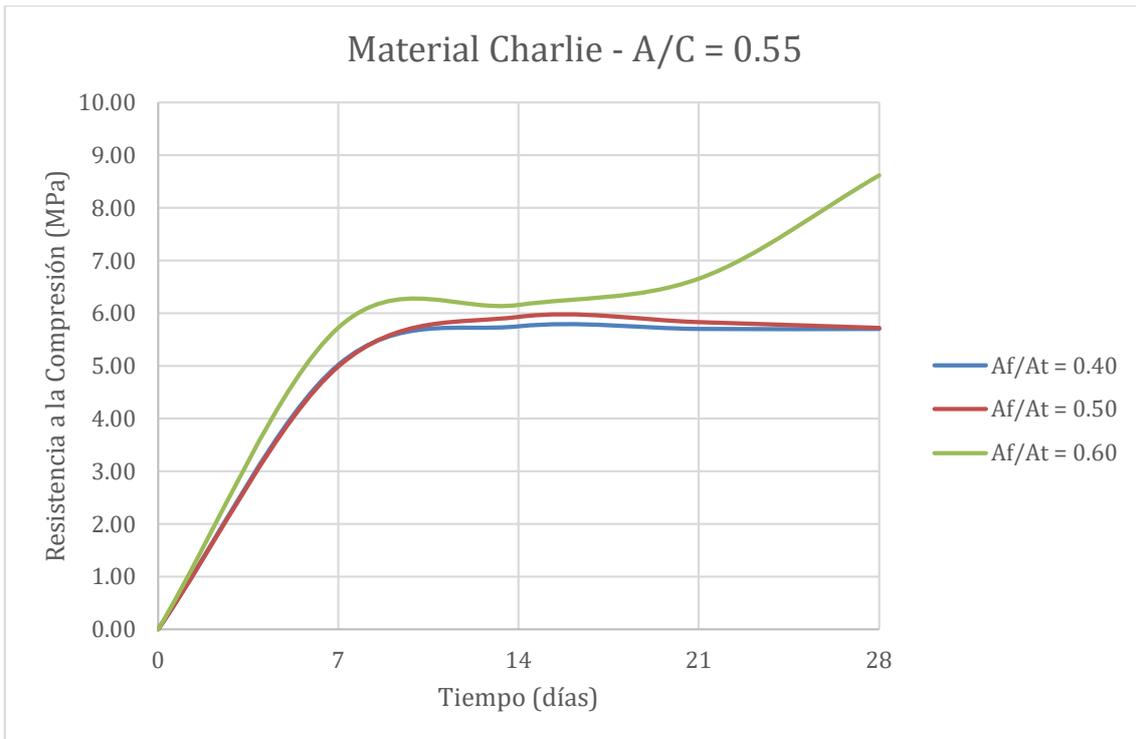


Ilustración 56: Comparación de $f'c$ para $a/c = 0.55$ – Charlie

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 208: Resistencias a la Compresión para distintos Af/At - Factorial 3

a/c	Material	Af/At	Tiempo días	f'c MPa
0.45	Alpha	0.40	7	9.82
			14	9.14
			21	10.51
			28	13.11
		0.50	7	9.16
			14	10.16
			21	12.02
			28	13.94
		0.60	7	9.94
			14	9.86
			21	10.60
			28	12.24
	Bravo	0.40	7	6.91
			14	5.99
			21	6.97
			28	6.45
		0.50	7	8.73
			14	9.41
			21	10.28
			28	10.53
		0.60	7	11.43
			14	10.89
			21	10.93
			28	13.91
Charlie	0.40	7	9.21	
		14	7.65	
		21	9.90	
		28	8.65	
	0.50	7	9.03	
		14	9.80	
		21	10.80	
		28	12.92	
	0.60	7	10.55	
		14	10.48	
		21	10.79	
		28	13.22	

Fuente: Elaboración Propia

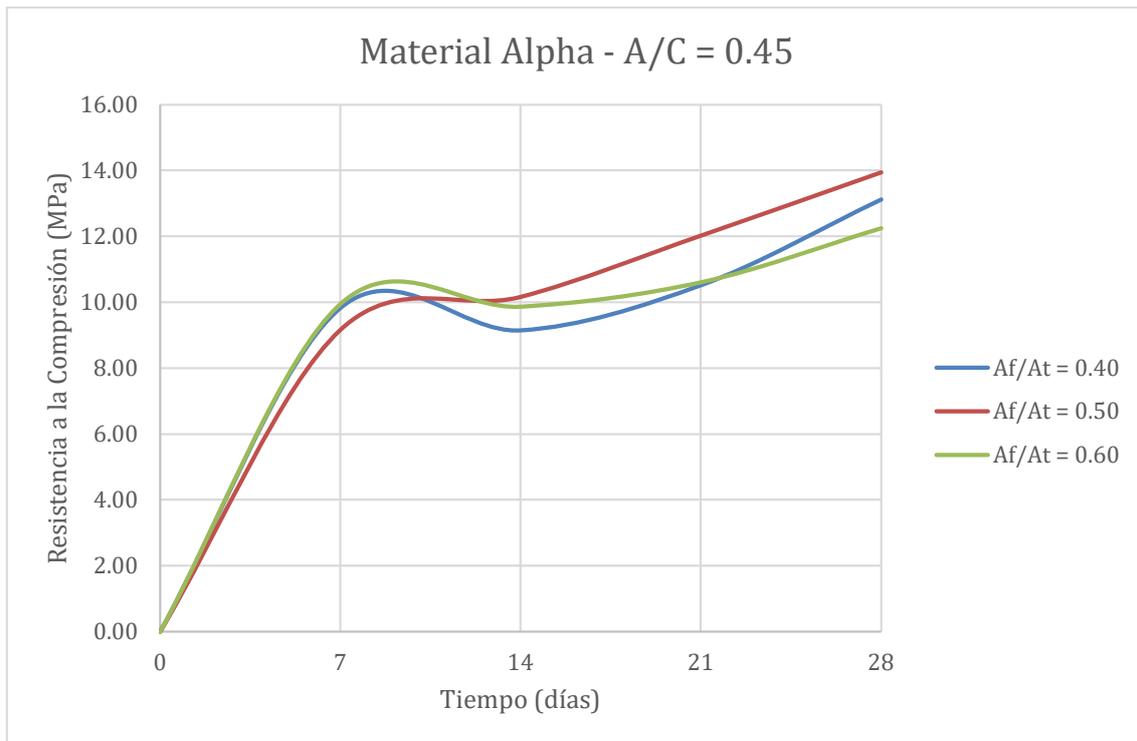


Ilustración 57: Comparación de f_c para $a/c = 0.45$ – Alpha

Fuente: Elaboración Propia

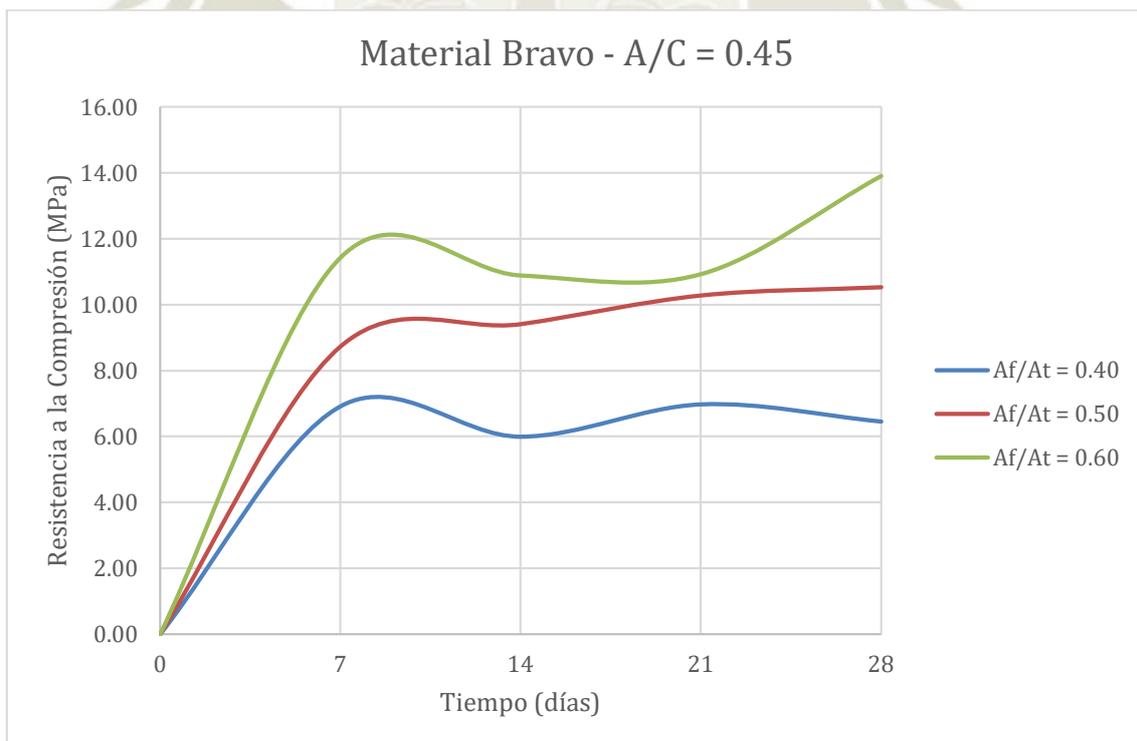


Ilustración 58: Comparación de f_c para $a/c = 0.45$ – Bravo

Fuente: Elaboración Propia

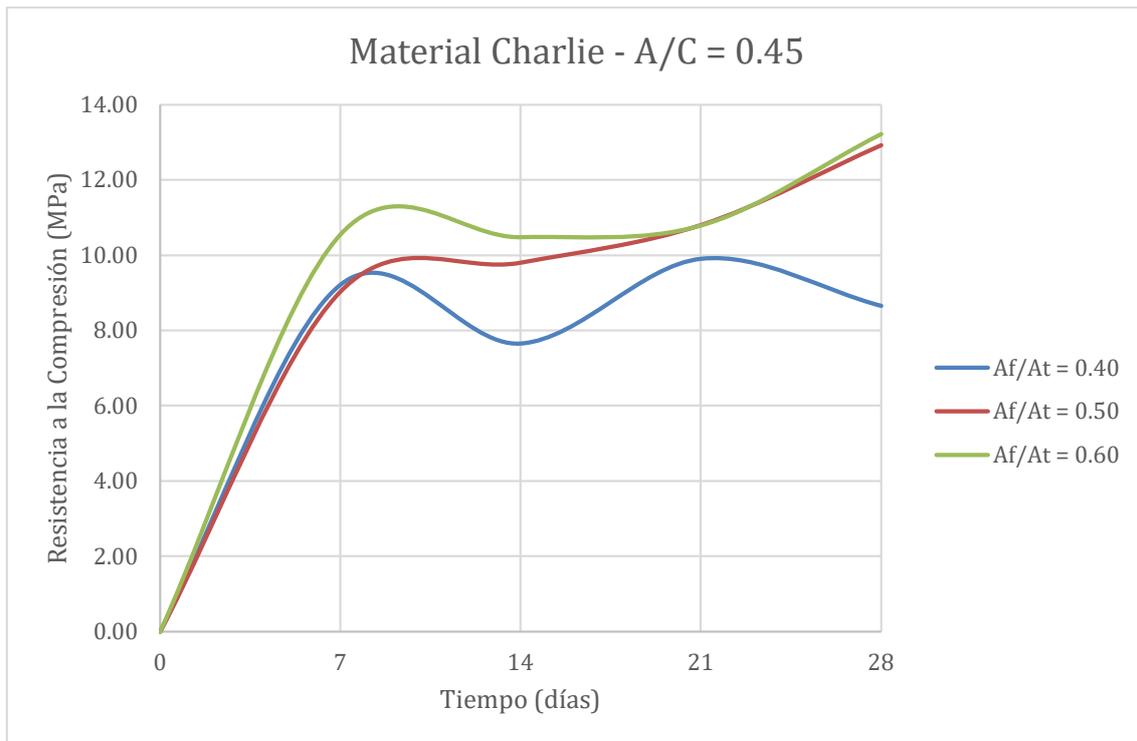


Ilustración 59: Comparación de f_c para $a/c = 0.45$ – Charlie

Fuente: Elaboración Propia

En luz de los datos mostrados, se puede observar que la relación entre agregados, específicamente la relación entre agregado fino y agregado total en masa tiene una relación directamente proporcional con la resistencia a la compresión. Casi en la totalidad de los casos se verá un orden de crecimiento liderando la relación de 60% de arena, seguida por la de 50% y finalmente la de 40%.

Tabla 209: Resistencias a la Compresión para $Af/At = 0.70$ - Chandra y Berntsson 1

a/c	Af/At	Material	Tiempo días	f'c Mpa
0.58	0.70	Delta	7	13.01
			14	14.50
			21	17.99
			28	19.52
		Ecco	7	9.61
			14	12.58
			21	14.26
			28	16.98

Fuente: Elaboración Propia

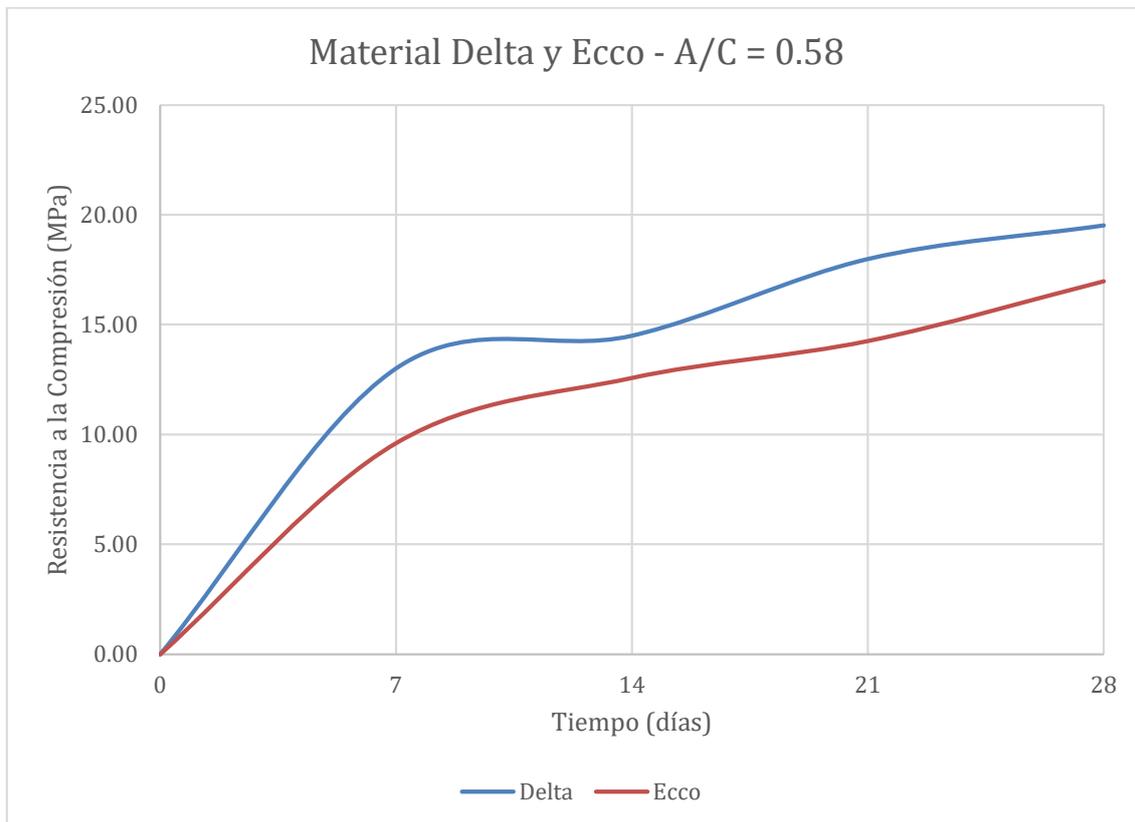


Ilustración 60: Comparación de f'c para $a/c = 0.58$

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 210: Resistencias a la Compresión para $A_f/A_t = 0.70$ - Chandra y Berntsson 2

a/c	A_f/A_t	Material	Tiempo días	f'_c Mpa
0.43	0.70	Delta	7	14.91
			14	19.00
			21	19.63
			28	22.06
		Ecco	7	15.39
			14	19.03
			21	20.59
			28	19.39

Fuente: Elaboración Propia

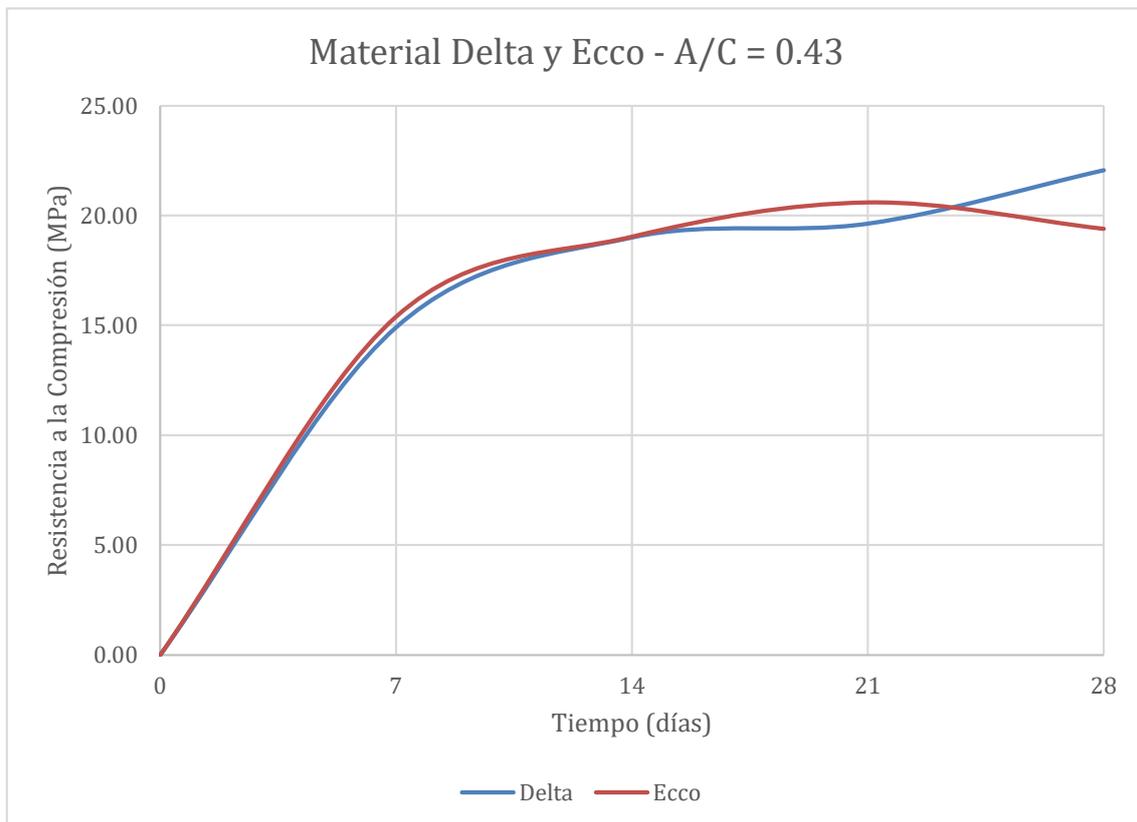


Ilustración 61: Comparación de f'_c para $a/c = 0.43$

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 211: Resistencias a la Compresión para $A_f/A_t = 0.70$ - Chandra y Berntsson 3

a/c	A_f/A_t	Material	Tiempo días	f'_c Mpa
0.31	0.70	Delta	7	18.04
			14	23.63
			21	25.03
			28	25.47
		Ecco	7	18.08
			14	22.60
			21	23.00
			28	25.12

Fuente: Elaboración Propia

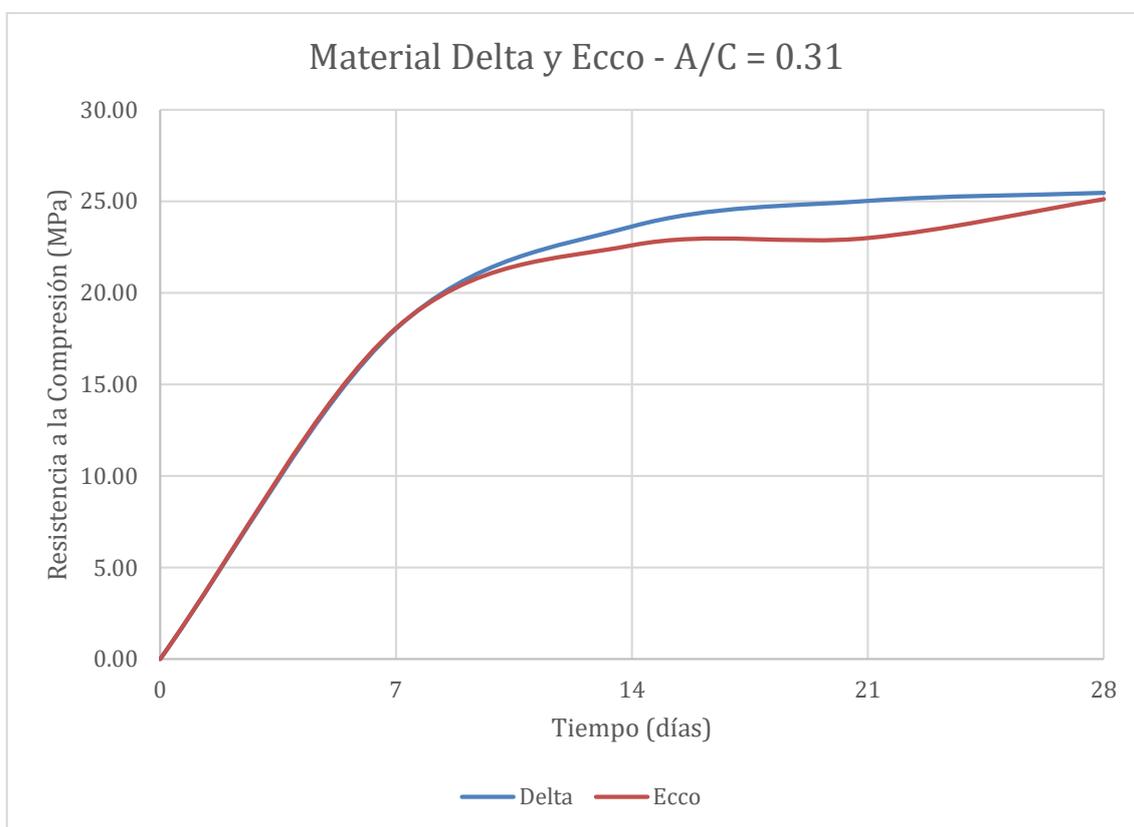


Ilustración 62: Comparación de f'_c para $a/c = 0.31$

Fuente: Elaboración Propia

Se observa de los gráficos y cuadros anteriores, que los diseños de mezcla por el método de Chandra y Berntsson se aproximan más a las resistencias de diseños que el método anterior. A pesar de ello, los límites de resistencia de la ignimbrita deben de ser

observados, llegando en resistencias promedios ligeramente por debajo de 20 MPa para una resistencia de diseño de 21 MPa y una resistencia máxima desarrollada en promedio de 25.47 MPa para un diseño de 35 MPa, aun siendo aplicable en elementos de concreto estructural pero haciendo necesario ajustes al f'_{cr} a la hora de realizar su diseño.

5.4.3 COMPARACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO POR DISEÑO DE MÉTODO FACTORIAL Y DE CHANDRA Y BERNTSSON

En base a los distintos diseños de mezcla, incorporando tanto la metodología factorial de diseño de mezcla como de Chandra y Berntsson se pudo llegar a distintos grados de éxito a lo largo de los ensayos de resistencia a la compresión, siendo los de mejores resultados los realizados mediante el método de Chandra y Berntsson alcanzando la resistencia a compresión máxima a 28 días de 27.72 MPa y una resistencia a compresión promedio máxima a 28 días de 25.47 MPa.

Además, es claro al observar las gráficas, que el método propuesto por la comisión 211 del ACI, utilizado de forma exitosa en la investigación precedente “Diseños Alternativos para Mezclas de Concreto y Diseño Estructural de Viviendas Unifamiliares en el Cono Norte de Arequipa” no es la forma más adecuada de diseñar este tipo de mezcla, siendo preferible la propuesta por Chandra y Berntsson.

La Ilustración 49 muestra el crecimiento de la resistencia a la compresión promedio para los distintos diseños de mezcla, desarrollados para una resistencia aproximada a 21 MPa, de acuerdo a su metodología. Se puede notar una diferencia en las resistencias promedios para ambos métodos, siendo esta de 5.21 MPa para el método factorial y 18.25 MPa para el método de Chandra y Berntsson. Esta variación puede deberse a las diferencias entre los parámetros de ambos diseños, siendo notable que a medida que aumentaban las relaciones de agregado fino/agregado total, la resistencia a la compresión respondió de forma análoga, sin embargo, los resultados que más se acercaron a la resistencia de diseño fueron los que combinaron la relación de 70% de agregado compuesto por agregado fino con la secuencia de diseño propuesta por Chandra y Berntsson.

La gráfica siguiente, la Ilustración 50, muestra resultados similares, elevando la resistencia promedio del método factorial hasta 6.59 MPa y la de Chandra y Berntsson a 20.73 MPa. Se puede notar como, a medida que aumenta las resistencias de diseño aumenta también la diferencia de resistencia a la compresión entre los elementos producido por estas dos metodologías, sin embargo, esta ventaja se reduce conforme se

acercan a los 28 días, esto también es debido a la utilización de un cemento de distintas características, siendo este el de Tipo HE.

La última ilustración, la número 50, señala las resistencias promedio a la compresión desarrolladas para probetas diseñadas a 35 MPa, en esta gráfica al igual que la anterior se puede observar la diferencia temprana inicial entre ambas metodologías debido a los dos factores descritos anteriormente, pero además se puede observar una mayor consistencia en los resultados a las distintas edades de ensayo, esto se puede deber a las consideraciones para reforzar al agregado liviano planteadas en el método de Chandra y Berntsson.



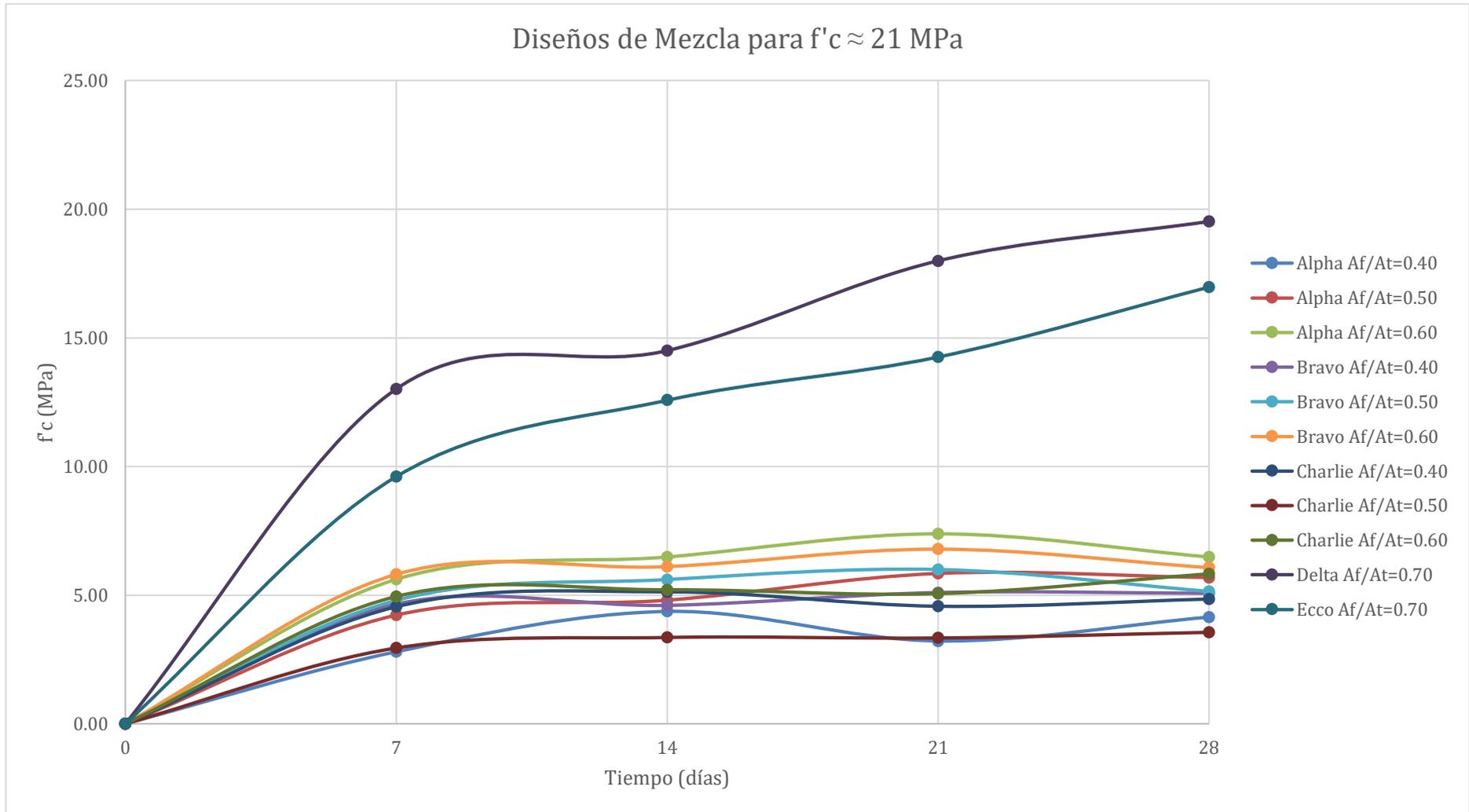


Ilustración 63: Comparación de Diseños de Mezcla para $f'_c \approx 21$ MPa

Fuente: Elaboración Propia

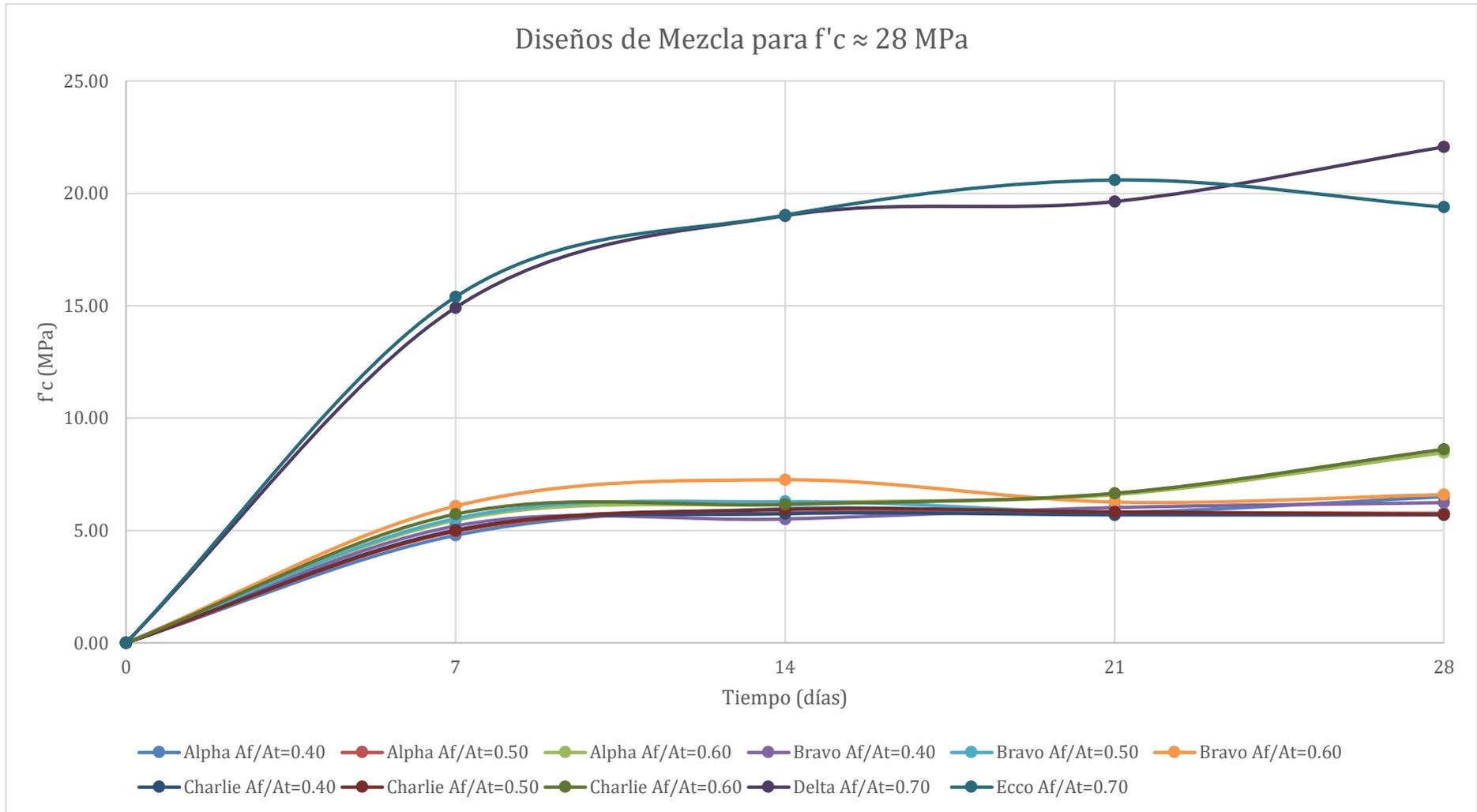


Ilustración 64: Comparación de Diseños de Mezcla para $f'c \approx 28$ MPa

Fuente: Elaboración Propia

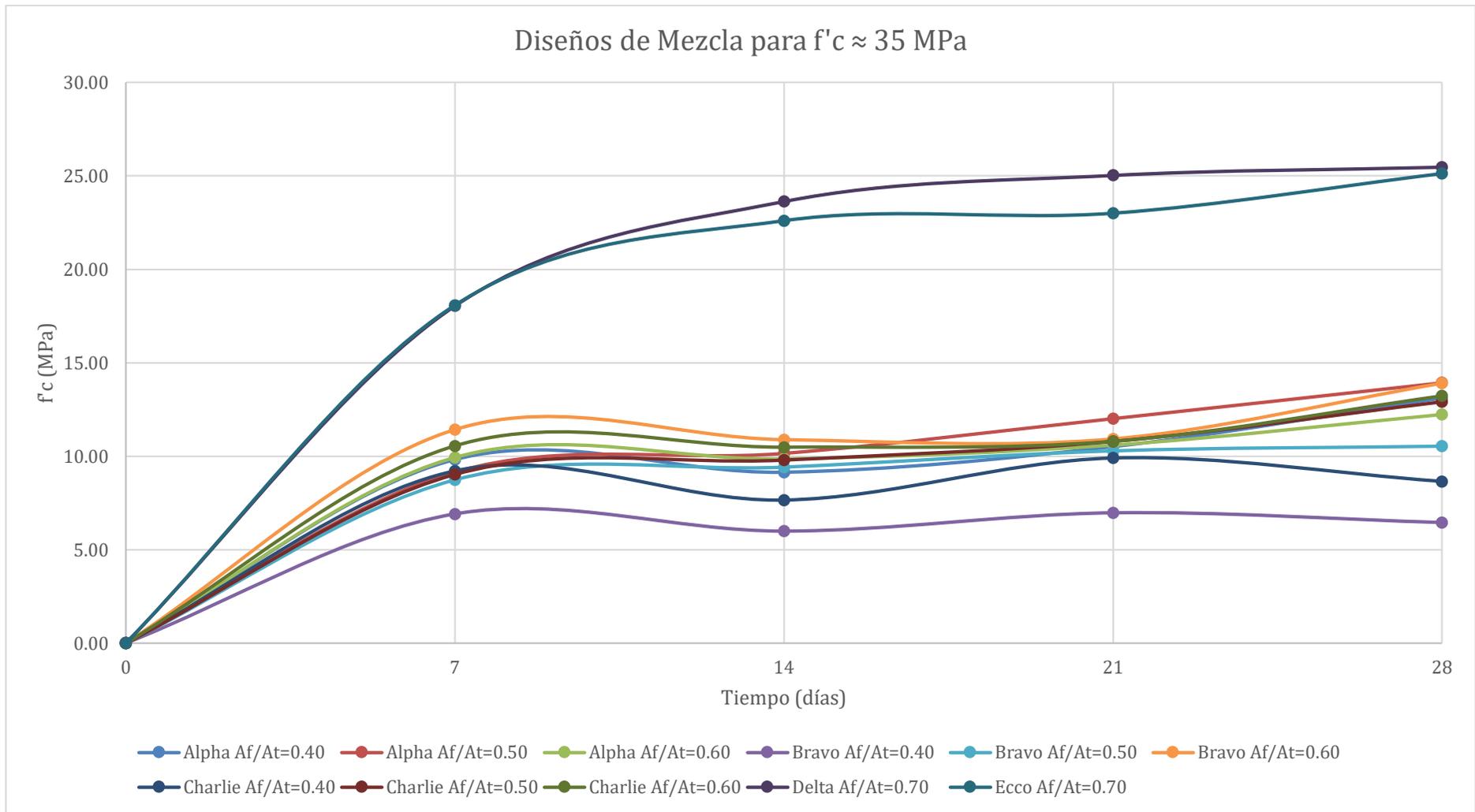


Ilustración 65: Comparación de Diseños de Mezcla para $f'c \approx 35$ MPa

Fuente: Elaboración Propia

5.5 ANÁLISIS ECONÓMICO

Los costos de la construcción son altos y en muchos casos se encuentran propensos a incrementarse, esto origina que la gran mayoría de población no tenga acceso a una vivienda; sin embargo, si analizamos este panorama desde los diversos sectores que existen en una población, el sector con altos ingresos mantiene una sobreoferta de viviendas mientras que los sectores con menores recursos mantienen una inaccesibilidad a esta. Es por eso que debido a las ventajas del concreto con ignimbrita como baja densidad y resistencias altas a temprana edad se analizará el costo de producción por m^3 de los diseños con mejores resistencias, así como la comparación con un concreto liviano tradicional.

De la ilustración 60 observamos que tenemos varias opciones que cumplen con el requerimiento de $f'c = 21MPa$ y $f'c = 28MPa$, resaltando de todas estas el diseño con el método Chandra y Berntsson para el agregado Delta 1 con una relación de $a/c = 0.58$, $Af/At = 0.70$ y para un agregado Delta 2 con una relación $a/c = 0.46$, $Af/At = 0.70$.

Para seleccionar una de las alternativas propuestas realizaremos el análisis de costos para cada una, usando como referencia los costos propuestos en la tesis titulada “Concreto Estructural Liviano con Escoria y Ceniza Volcánicas del Distrito de Yura”

Tabla 212: Costos por m^3 de Concreto Liviano Tradicional para $f'c = 21MPa$

Concreto Liviano Tradicional $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (1 m^3)				
Materiales	Und.	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Subtotal (S/.)
Cemento HE	bls	9.50	20.80	197.60
Arena	m^3	0.38	64.00	24.51
Ignimbrita	m^3	0.78	76.80	59.83
Agua	m^3	0.38	0.75	0.29
			Total (S/.)	282.22

Fuente: (Tupa Ortiz, 2018)

Tabla 213: Costos por m^3 de Concreto Liviano con Ignimbrita para $f'c = 21MPa$

Concreto Liviano con Ignimbrita $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (1 m^3)				
Materiales	Und.	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Subtotal (S/.)
Cemento HE	bls	7.77	20.80	161.62
Arena	m^3	0.37	64.00	23.62
Ignimbrita	m^3	0.30	94.23	27.89
Agua	m^3	0.33	0.75	0.25
			Total (S/.)	213.38

Fuente: Elaboración Propia

En este análisis se observa que el costo por m3 de un Concreto Liviano con Ignimbrita es un 30% menos que un Concreto Liviano Tradicional.

Tabla 214: Costos por m3 de Concreto Liviano Tradicional para $f'c = 28\text{MPa}$

Concreto Liviano Tradicional $f'c=280\text{ kg/cm}^2$ (1 m3)				
Materiales	Und.	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Subtotal (S/.)
Cemento	bls	11.05	20.80	229.90
Arena	m3	0.37	64.00	23.68
Agregado Grueso	m3	0.75	76.80	57.91
Agua	m3	0.38	0.75	0.28
Total (S/.)				311.77

Fuente: (Tupa Ortiz, 2018)

Tabla 215: Costos por m3 de Concreto Liviano con Ignimbrita para $f'c = 28\text{MPa}$

Concreto Liviano con Ignimbrita $f'c=280\text{ kg/cm}^2$ (1 m3)				
Materiales	Und.	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Subtotal (S/.)
Cemento HE	bls	9.55	20.80	198.64
Arena	m3	0.37	64.00	23.62
Ignimbrita	m3	0.30	94.23	27.89
Agua	m3	0.31	0.75	0.23
Total (S/.)				250.38

Fuente: Elaboración Propia

En este análisis se observa que el costo por m3 de un Concreto Liviano con Ignimbrita es un 20% menos que un Concreto Liviano Tradicional.

Una manera alternativa de poder comparar diferentes tipos de concreto es por medio de la siguiente relación:

$$I = \frac{\text{Densidad} * \text{Costo}}{f'c}$$

Éste parámetro relaciona la densidad, costo y la resistencia, por lo que un concreto ideal sería aquel con baja densidad, resistencia requerida y a un bajo costo. (Elizondo Fócil, 2006).

Sin embargo, la presente investigación propone otro índice adimensional de autoría de los tesisistas, el cual denominaremos Número TP que relaciona la densidad del agregado grueso, slump real y la resistencia real obtenida.

$$\text{Número TP} = \frac{\text{Densidad Ag (kg/m}^3\text{)} * \text{Slump(m)}}{f'c \text{ (kg/cm}^2\text{)}}$$

Para la comprobación de dicha fórmula se procedió a la utilización de datos obtenidos en tesis de grado de gran relevancia en la línea de investigación del concreto, a partir de los cuales se determinó los siguientes intervalos:

0.1 – 0.6	Concreto Ligero Óptimo
0.6 – 1.5	Concreto Convencional Óptimo
1.5 a más	Concreto Convencional

Fuente: Elaboración Propia

Reemplazando los datos obtenidos en la presente investigación, el Número TP es:

$$\text{Número TP} = \frac{1357 \text{ (kg/m}^3\text{)} \cdot 0.05 \text{ (m)}}{195.2 \text{ (kg/cm}^2\text{)}} = 0.34$$

$$\text{Número TP} = \frac{1357 \text{ (kg/m}^3\text{)} \cdot 0.08 \text{ (m)}}{220.6 \text{ (kg/cm}^2\text{)}} = 0.49$$

Por lo que un concreto óptimo sería aquel que obtenga una resistencia elevada y un bajo slump. (Se puede alcanzar utilizando aditivos)

5.6 ANÁLISIS MEDIANTE SOFTWARE DE LENGUAJE PYTHON

Para el desarrollo del análisis a través de software de aprendizaje de máquina usando las herramientas del lenguaje Python, se tuvo que realizar una serie de pasos para poder llegar a una optimización de los diseños de mezcla.

1. Desarrollo del Modelo de Redes Neuronales

Para el primer caso se vio adecuado la utilización de una red neuronal para aprendizaje profundo, compuesta de una serie de 3 capas ocultas de 60 neuronas cada una, para luego finalizar en una neurona única de activación continua. Para ello se trabajó con los comandos encontrados dentro del módulo TensorFlow, especialmente los pertenecientes a “keras”.

2. Evaluación del Modelo de Redes Neuronales

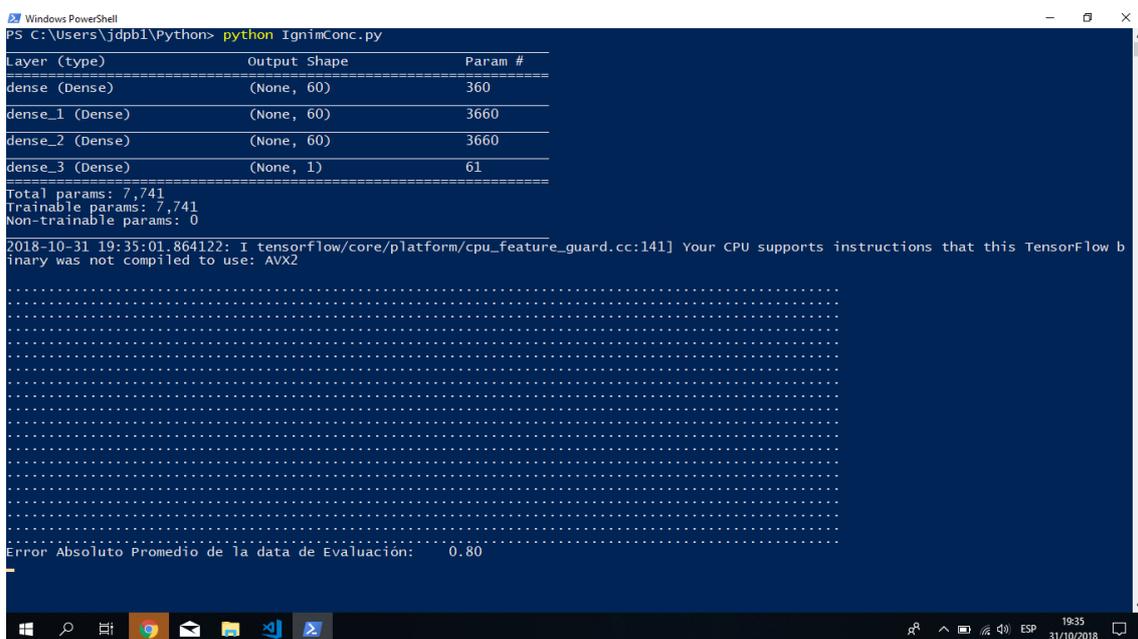
Para desarrollar una correcta evaluación, se tomó los valores de las cantidades de cada ingrediente de la mezcla por metro cúbico y fueron afectados de la siguiente manera:

$$\text{Valor Final} = \frac{\text{Valor Inicial} - \text{Promedio}}{\text{Desviación Estándar}}$$

De tal forma que se pudo reducir las diferencias de escalas entre los datos de ingredientes y de tiempo de evaluación.

Luego los datos deberán ser recombinados para poder reducir las relaciones entre dos series de parámetros contiguos y así generalizar lo más posible el modelo evaluador.

Los datos se separarán en 20% del total de la data para ser utilizado en la evaluación de la precisión del modelo y un 80% para el entrenamiento. A su vez el 20% de la data utilizada en el entrenamiento será utilizada con fines de validación del modelo antes de revisar su precisión.



```

PS C:\Users\jdpb1\Python> python IgnimConc.py
Layer (type)          Output Shape          Param #
-----
dense (Dense)         (None, 60)            360
dense_1 (Dense)       (None, 60)            3660
dense_2 (Dense)       (None, 60)            3660
dense_3 (Dense)       (None, 1)             61
-----
Total params: 7,741
Trainable params: 7,741
Non-trainable params: 0
-----
2018-10-31 19:35:01.864122: I tensorflow/core/platform/cpu_feature_guard.cc:141] Your CPU supports instructions that this TensorFlow binary was not compiled to use: AVX2
.....
Error Absoluto Promedio de la data de Evaluación: 0.80
    
```

Ilustración 66: Programa en Lenguaje Python para Análisis de Resultados

Fuente: Elaboración Propia

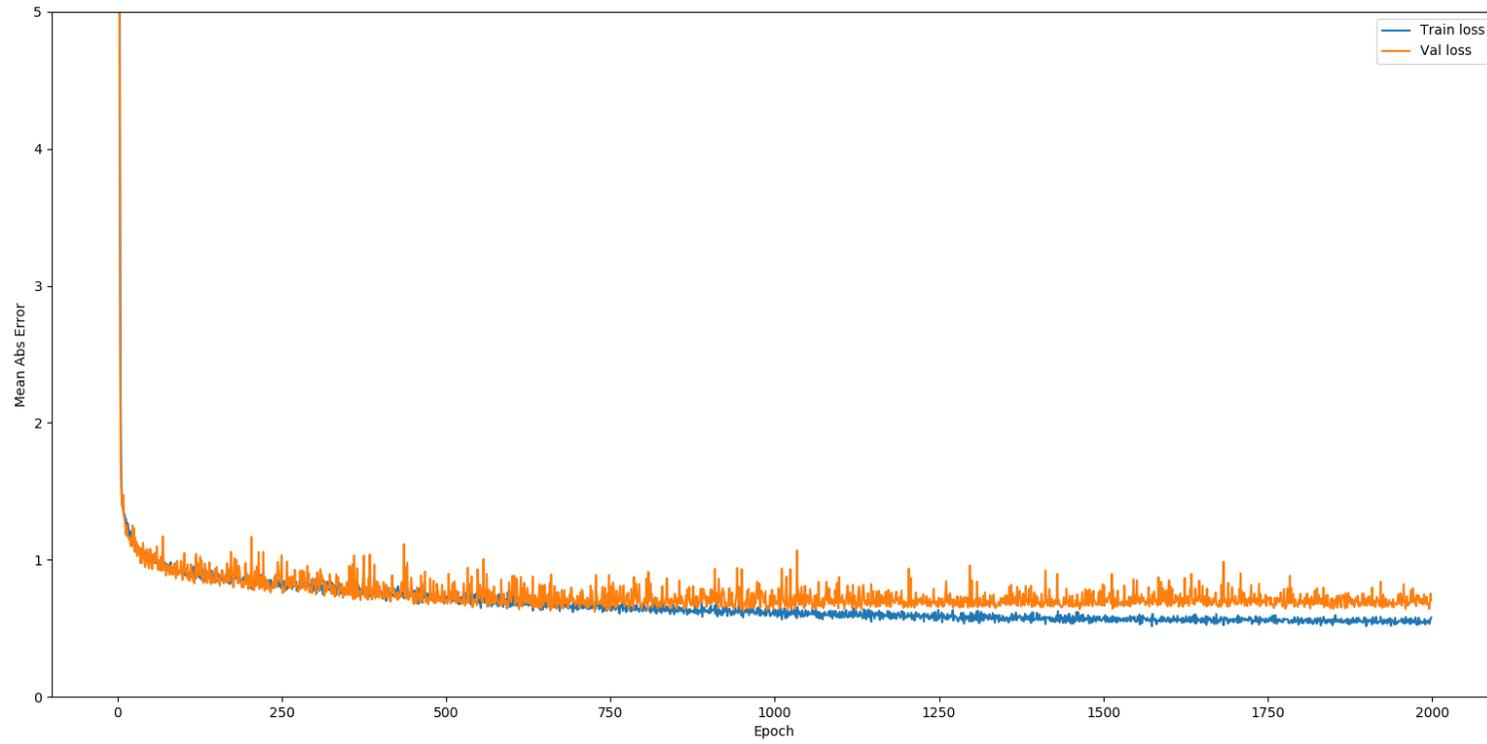


Ilustración 67: Error Absoluto Promedio para Ciclos de Aprendizaje (Epoch)

Fuente: Elaboración Propia

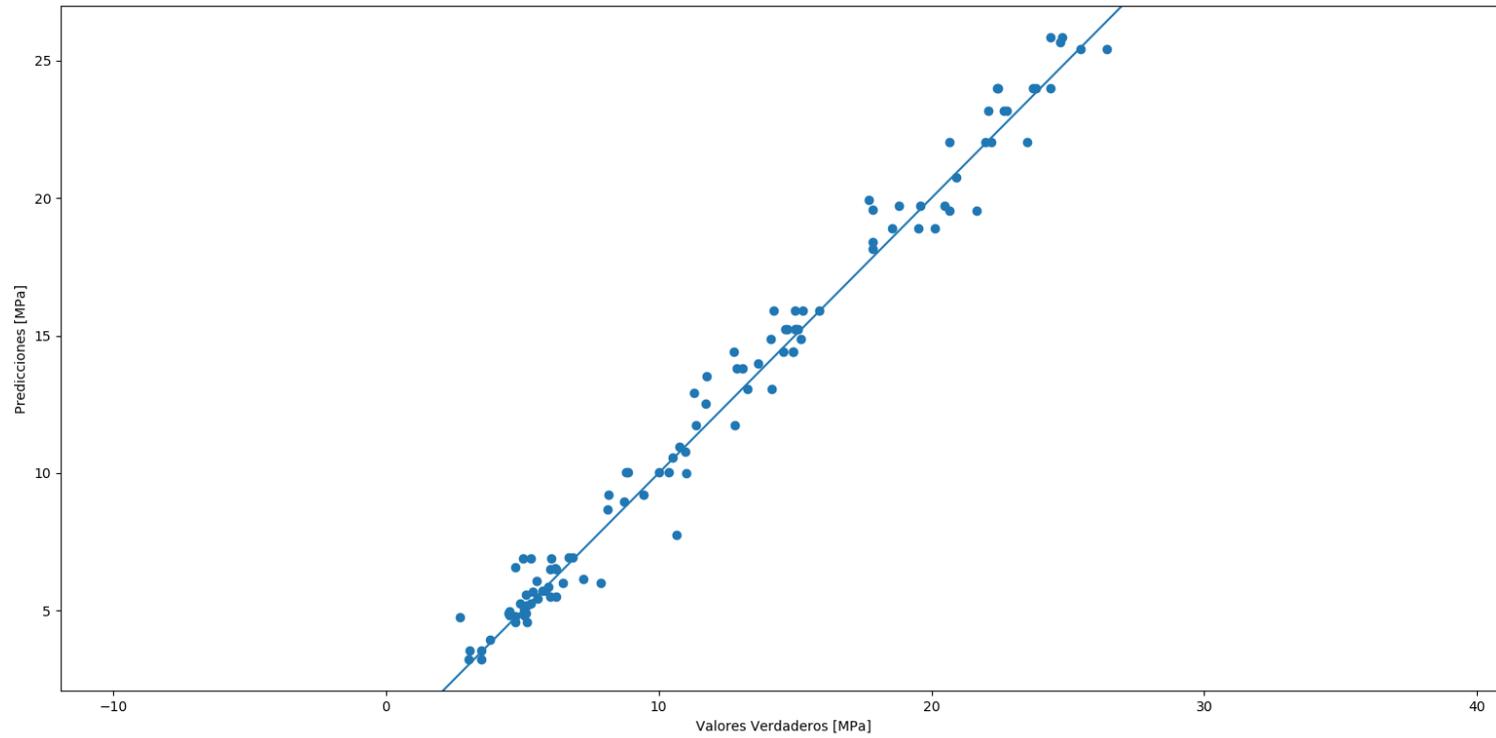


Ilustración 68: Comparación de Valores de Resistencia a la Compresión y Valores Predichos

Fuente: Elaboración Propia

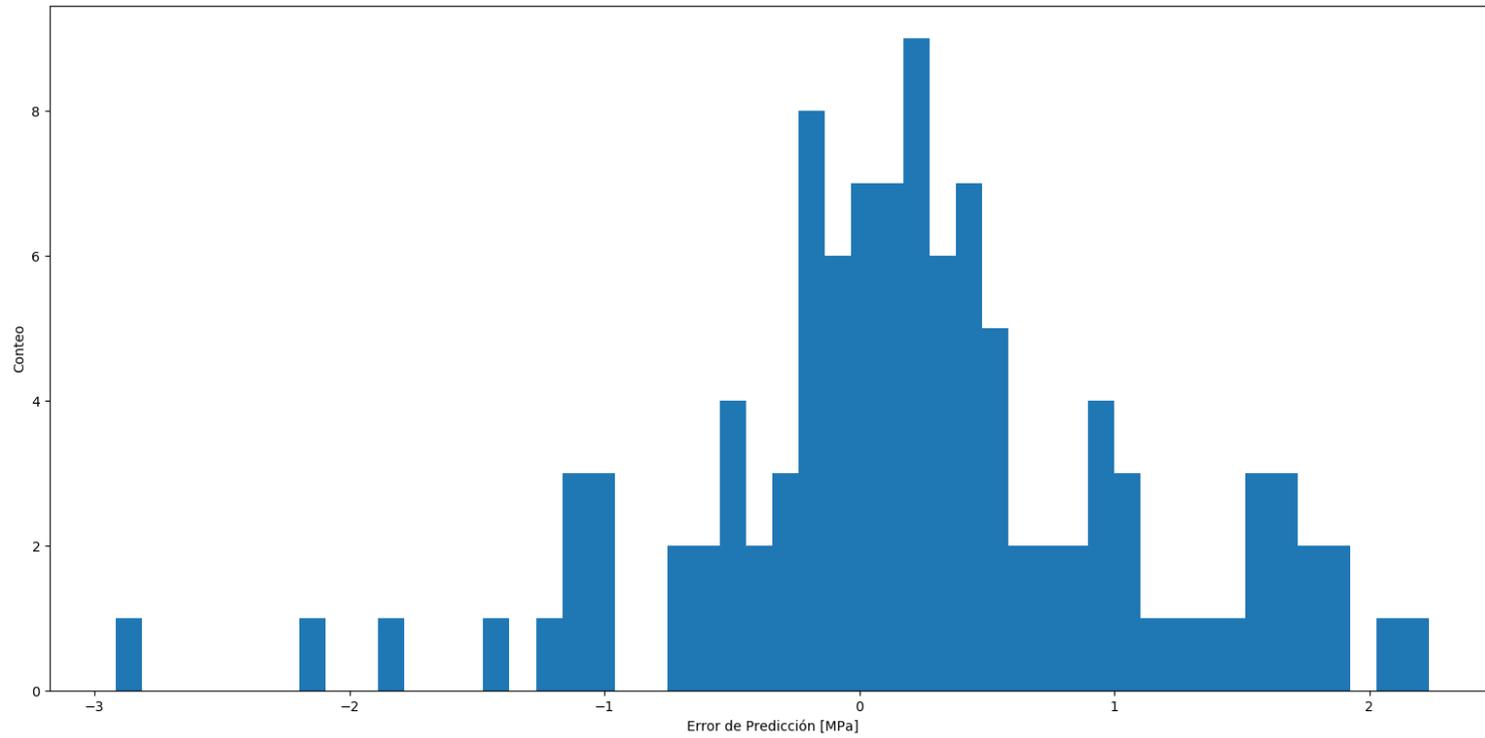


Ilustración 69: Conteo de Predicciones para Distintos Errores

Fuente: Elaboración Propia

3. Desarrollo de Diseños de Mezcla a ser Evaluados

Los diseños de mezcla a ser evaluados para elegir las mejores combinaciones serán generados a través del lenguaje Python, se crean a través de una matriz de elementos que posteriormente se exporta en formato CSV para poder ser utilizada por otros programas, como es el caso del programa de redes neuronales.

4. Selección de Diseños de Mezcla con Mejores Comportamientos

Finalmente se procedió a ejecutar el programa de selección de diseños válidos, desechando diseños con resistencias finales o muy bajas o muy altas, además de eliminar a aquellos que contaran con comportamientos irreales debido a su inadecuada proporción de materiales.

PS C:\Users\#####Python> python IgnimEval.py

Diseños de Mezcla: 88468

Total de diseños válidos: 35866

Porcentaje Útil: 40.541212641859204

Como resultado se halló los siguientes datos teóricos producto de la utilización del software de lenguaje Python:

Tabla 216: Diseños de mezcla por Peso - software de lenguaje Python

Mejores Diseños por Peso por Metro Cúbico de Mezcla Húmeda							
Cemento kg	Ignimbrita kg	Arena kg	Agua l	Edad días	Resistencia a la Compresión MPa	P. U. Húmedo kg/m ³	Precio S/.
300	700	420	371	28	20.7	1791	S/318.57
300	700	480	347	28	28.3	1827	S/320.05
300	700	550	319	28	34.7	1869	S/321.78

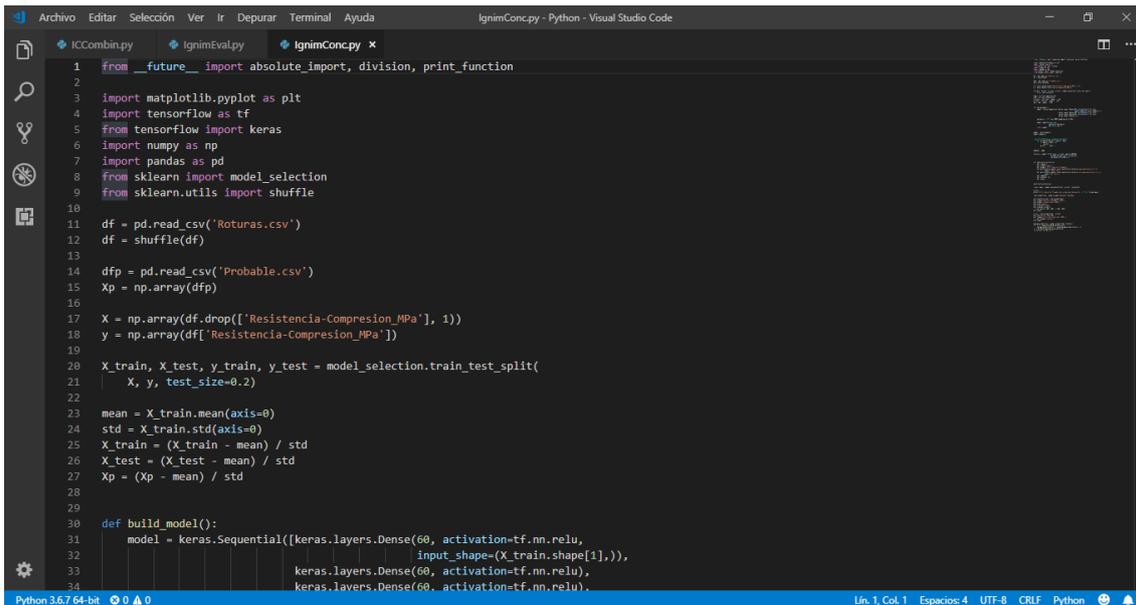
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 217: Diseños de mezcla por Precio - software de lenguaje Python

Mejores Diseños por Precio por Metro Cúbico de Mezcla Húmeda							
Cemento kg	Ignimbrita kg	Arena kg	Agua l	Edad días	Resistencia a la Compresión MPa	P. U. Húmedo kg/m ³	Precio S/.
300	300	1180	369	28	20.6	2149	S/249.02
300	340	1190	335	28	28.1	2165	S/258.09
300	370	1190	313	28	34.5	2173	S/264.72

Fuente: Elaboración Propia

1) Programa de Evaluación y Predicción



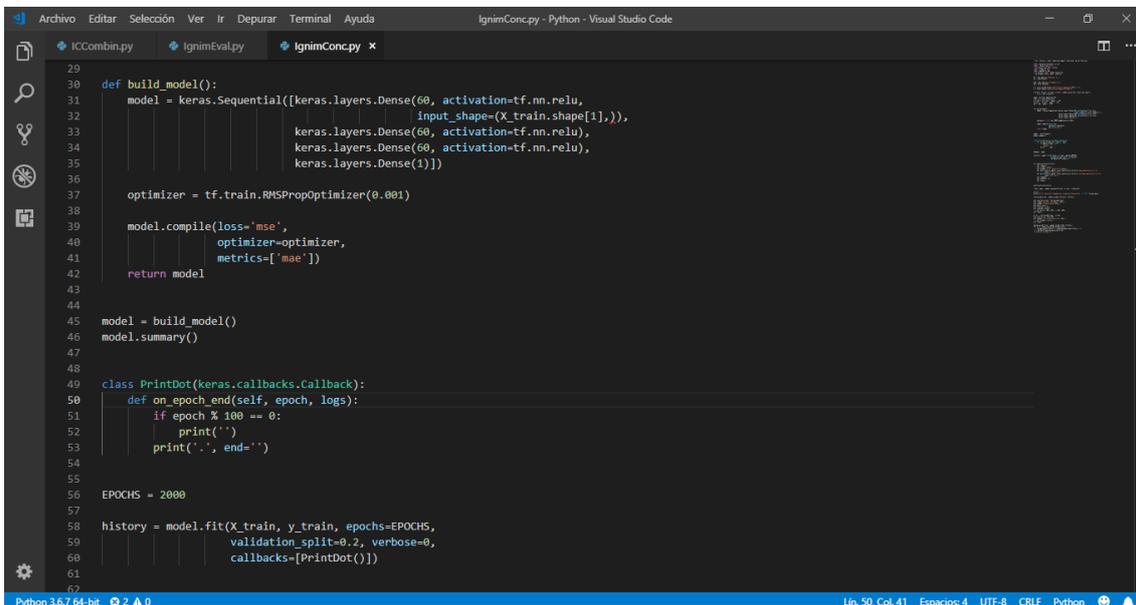
```

1 from __future__ import absolute_import, division, print_function
2
3 import matplotlib.pyplot as plt
4 import tensorflow as tf
5 from tensorflow import keras
6 import numpy as np
7 import pandas as pd
8 from sklearn import model_selection
9 from sklearn.utils import shuffle
10
11 df = pd.read_csv('Roturas.csv')
12 df = shuffle(df)
13
14 dfp = pd.read_csv('Probable.csv')
15 Xp = np.array(dfp)
16
17 X = np.array(df.drop(['Resistencia-Compresion_MPa'], 1))
18 y = np.array(df['Resistencia-Compresion_MPa'])
19
20 X_train, X_test, y_train, y_test = model_selection.train_test_split(
21     X, y, test_size=0.2)
22
23 mean = X_train.mean(axis=0)
24 std = X_train.std(axis=0)
25 X_train = (X_train - mean) / std
26 X_test = (X_test - mean) / std
27 Xp = (Xp - mean) / std
28
29
30 def build_model():
31     model = keras.Sequential([keras.layers.Dense(60, activation=tf.nn.relu,
32     input_shape=(X_train.shape[1],)),
33     keras.layers.Dense(60, activation=tf.nn.relu),
34     keras.layers.Dense(60, activation=tf.nn.relu),
35     keras.layers.Dense(1)])
36
37     optimizer = tf.train.RMSPropOptimizer(0.001)
38
39     model.compile(loss='mse',
40     optimizer=optimizer,
41     metrics=['mae'])
42     return model
43
44
45 model = build_model()
46 model.summary()
47
48
49 class PrintDot(keras.callbacks.Callback):
50     def on_epoch_end(self, epoch, logs):
51         if epoch % 100 == 0:
52             print("")
53             print('.', end='')
54
55
56 EPOCHS = 2000
57
58 history = model.fit(X_train, y_train, epochs=EPOCHS,
59     validation_split=0.2, verbose=0,
60     callbacks=[PrintDot()])
61
62

```

Ilustración 70: Programa de Evaluación y Predicción – 1

Fuente: Elaboración Propia



```

29
30 def build_model():
31     model = keras.Sequential([keras.layers.Dense(60, activation=tf.nn.relu,
32     input_shape=(X_train.shape[1],)),
33     keras.layers.Dense(60, activation=tf.nn.relu),
34     keras.layers.Dense(60, activation=tf.nn.relu),
35     keras.layers.Dense(1)])
36
37     optimizer = tf.train.RMSPropOptimizer(0.001)
38
39     model.compile(loss='mse',
40     optimizer=optimizer,
41     metrics=['mae'])
42     return model
43
44
45 model = build_model()
46 model.summary()
47
48
49 class PrintDot(keras.callbacks.Callback):
50     def on_epoch_end(self, epoch, logs):
51         if epoch % 100 == 0:
52             print("")
53             print('.', end='')
54
55
56 EPOCHS = 2000
57
58 history = model.fit(X_train, y_train, epochs=EPOCHS,
59     validation_split=0.2, verbose=0,
60     callbacks=[PrintDot()])
61
62

```

Ilustración 71: Programa de Evaluación y Predicción – 2

Fuente: Elaboración Propia

```

73 def plot_history(history):
74     plt.figure()
75     plt.xlabel('Epoch')
76     plt.ylabel('Error Absoluto Promedio')
77     plt.plot(history.epoch, np.array(history.history['mean_absolute_error']),
78             label='Train loss')
79     plt.plot(history.epoch, np.array(history.history['val_mean_absolute_error']),
80             label='Val loss')
81     plt.legend()
82     plt.ylim([0, 5])
83     plt.show()
84
85 plot_history(history)
86
87 [loss, mae] = model.evaluate(X_test, y_test, verbose=0)
88
89 print(' ')
90 print('Error Absoluto Promedio de la data de Evaluación: {:.2f}'.format(mae))
91
92 test_prediction = model.predict(X_test).flatten()
93
94 plt.scatter(y_test, test_prediction)
95 plt.xlabel('Valores Verdaderos [MPa]')
96 plt.ylabel('Predicciones [MPa]')
97 plt.axis('equal')
98 plt.xlim(plt.xlim())
99 plt.ylim(plt.ylim())
100 _ = plt.plot([-100, 100], [-100, 100])
101 plt.show()
102
103 error = test_prediction - y_test
104 plt.hist(error, bins=50)
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1048
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1067
1068
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1076
1077
1078
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1087
1088
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1096
1097
1098
1099
1100
1101
1102
1103
1104
1105
1106
1107
1108
1109
1110
1111
1112
1113
1114
1115
1116
1117
1118
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1126
1127
1128
1129
1130
1131
1132
1133
1134
1135
1136
1137
1138
1139
1140
1141
1142
1143
1144
1145
1146
1147
1148
1149
1150
1151
1152
1153
1154
1155
1156
1157
1158
1159
1160
1161
1162
1163
1164
1165
1166
1167
1168
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177
1178
1179
1180
1181
1182
1183
1184
1185
1186
1187
1188
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1195
1196
1197
1198
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1205
1206
1207
1208
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1215
1216
1217
1218
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1225
1226
1227
1228
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1235
1236
1237
1238
1239
1240
1241
1242
1243
1244
1245
1246
1247
1248
1249
1250
1251
1252
1253
1254
1255
1256
1257
1258
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1265
1266
1267
1268
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1275
1276
1277
1278
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1285
1286
1287
1288
1289
1290
1291
1292
1293
1294
1295
1296
1297
1298
1299
1300
1301
1302
1303
1304
1305
1306
1307
1308
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1315
1316
1317
1318
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1325
1326
1327
1328
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1335
1336
1337
1338
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1345
1346
1347
1348
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1355
1356
1357
1358
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1366
1367
1368
1369
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377
1378
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1385
1386
1387
1388
1389
1390
1391
1392
1393
1394
1395
1396
1397
1398
1399
1400
1401
1402
1403
1404
1405
1406
1407
1408
1409
1410
1411
1412
1413
1414
1415
1416
1417
1418
1419
1420
1421
1422
1423
1424
1425
1426
1427
1428
1429
1430
1431
1432
1433
1434
1435
1436
1437
1438
1439
1440
1441
1442
1443
1444
1445
1446
1447
1448
1449
1450
1451
1452
1453
1454
1455
1456
1457
1458
1459
1460
1461
1462
1463
1464
1465
1466
1467
1468
1469
1470
1471
1472
1473
1474
1475
1476
1477
1478
1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1486
1487
1488
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1496
1497
1498
1499
1500
1501
1502
1503
1504
1505
1506
1507
1508
1509
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1526
1527
1528
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1546
1547
1548
1549
1550
1551
1552
1553
1554
1555
1556
1557
1558
1559
1560
1561
1562
1563
1564
1565
1566
1567
1568
1569
1570
1571
1572
1573
1574
1575
1576
1577
1578
1579
1580
1581
1582
1583
1584
1585
1586
1587
1588
1589
1590
1591
1592
1593
1594
1595
1596
1597
1598
1599
1600
1601
1602
1603
1604
1605
1606
1607
1608
1609
1610
1611
1612
1613
1614
1615
1616
1617
1618
1619
1620
1621
1622
1623
1624
1625
1626
1627
1628
1629
1630
1631
1632
1633
1634
1635
1636
1637
1638
1639
1640
1641
1642
1643
1644
1645
1646
1647
1648
1649
1650
1651
1652
1653
1654
1655
1656
1657
1658
1659
1660
1661
1662
1663
1664
1665
1666
1667
1668
1669
1670
1671
1672
1673
1674
1675
1676
1677
1678
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1686
1687
1688
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1696
1697
1698
1699
1700
1701
1702
1703
1704
1705
1706
1707
1708
1709
1710
1711
1712
1713
1714
1715
1716
1717
1718
1719
1720
1721
1722
1723
1724
1725
1726
1727
1728
1729
1730
1731
1732
1733
1734
1735
1736
1737
1738
1739
1740
1741
1742
1743
1744
1745
1746
1747
1748
1749
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1756
1757
1758
1759
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1766
1767
1768
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1798
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1816
1817
1818
1819
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1826
1827
1828
1829
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1836
1837
1838
1839
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1846
1847
1848
1849
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2149
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169
2170
2171
2172
2173
2174
2175
2176
2177
2178
2179
2180
2181
2182
2183
2184
2185
2186
2187
2188
2189
2190
2191
2192
2193
2194
2195
2196
2197
2198
2199
2200
2201
2202
2203
2204
2205
2206
2207
2208
2209
2210
2211
2212
2213
2214
2215
2216
2217
2218
2219
2220
2221
2222
2223
2224
2225
2226
2227
2228
2229
2230
2231
2232
2233
2234
2235
2236
2237
2238
2239
2240
2241
2242
2243
2244
2245
2246
2247
2248
2249
2250
2251
2252
2253
2254
2255
2256
2257
2258
2259
2260
2261
2262
2263
2264
2265
2266
2267
2268
2269
2270
2271
2272
2273
2274
2275
2276
2277
2278
2279
2280
2281
2282
2283
2284
2285
2286
2287
2288
2289
2290
2291
2292
2293
2294
2295
2296
2297
2298
2299
2300
2301
2302
2303
2304
2305
2306
2307
2308
2309
2310
2311
2312
2313
2314
2315
2316
2317
2318
2319
2320
2321
2322
2323
2324
2325
2326
2327
2328
2329
2330
2331
2332
2333
2334
2335
2336
2337
2338
2339
2340
2341
2342
2343
2344
2345
2346
2347
2348
2349
2350
2351
2352
2353
2354
2355
2356
2357
2358
2359
2360
2361
2362
2363
2364
2365
2366
2367
2368
2369
2370
2371
2372
2373
2374
2375
2376
2377
2378
2379
2380
2381
2382
2383
2384
2385
2386
2387
2388
2389
2390
2391
2392
2393
2394
2395
2396
2397
2398
2399
2400
2401
2402
2403
2404
2405
2406
2407
2408
2409
2410
2411
2412
2413
2414
2415
2416
2417
2418
2419
2420
2421
2422
2423
2424
2425
2426
2427
2428
2429
2430
2431
2432
2433
2434
2435
2436
2437
2438
2439
2440
2441
2442
2443
2444
2445
2446
2447
2448
2449
2450
2451
2452
2453
2454
2455
2456
2457
2458
2459
2460
2461
2462
2463
2464
2465
2466
2467
2468
2469
2470
2471
2472
2473
2474
2475
2476
2477
2478
2479
2480
2481
2482
2483
2484
2485
2486
2487
2488
2489
2490
2491
2492
2493
2494
2495
2496
2497
2498
2499
2500
2501
2502
2503
2504
2505
2506
2507
2508
2509
2510
2511
2512
2513
2514
2515
2516
2517
2518
2519
2520
2521
2522
2523
2524
2525
2526
2527
2528
2529
2530
2531
2532
2533
2534
2535
2536
2537
2538
2539
2540
2541
2542
2543
2544
2545
2546
2547
2548
2549
2550
2551
2552
2553
2554
2555
2556
2557
2558
2559
2560
2561
2562
2563
2564
2565
2566
2567
2568
2569
2570
2571
2572
2573
2574
2575
2576
2577
2578
2579
2580
2581
2582
2583
2584
2585
2586
2587
2588
2589
2590
2591
2592
2593
2594
2595
2596
2597
2598
2599
2600
2601
2602
2603
2604
2605
2606
2607
2608
2609
2610
2611
2612
2613
2614
2615
2616
2617
2618
2619
2620
2621
2622
2623
2624
2625
2626
2627
2628
2629
2630
2631
2632
2633
2634
2635
2636
2637
2638
2639
2640
2641
2642
2643
2644
2645
2646
2647
2648
2649
2650
2651
2652
2653
2654
26
```

2) Programa de Creación de Combinaciones

```

1 import numpy as np
2 import pandas as pd
3
4 np.set_printoptions(suppress=True)
5
6 db = np.zeros((546530, 5))
7 days = [1, 3, 7, 28, 90]
8
9 for a in range(31):
10     for b in range(41):
11         for c in range(86):
12             for d in range(5):
13                 db[17630*a+430*b+5*c+d, 0] = 300 + (10 * a)
14                 db[17630*a+430*b+5*c+d, 1] = 300 + (10 * b)
15                 db[17630*a+430*b+5*c+d, 2] = 350 + (10 * c)
16                 db[17630*a+430*b+5*c+d, 3] = round((1.168 - (db[17630*a+430*b+5*c+d, 0] / 2850 +
17                 db[17630*a+430*b+5*c+d, 1] / 1332.00 + db[17630*a+430*b+5*c+d, 2] / 2521.02)) * 1000)
18                 if db[17630*a+430*b+5*c+d, 3] <= 200:
19                     db[17630*a+430*b+5*c+d, 3] = -99999
20                 db[17630*a+430*b+5*c+d, 4] = days[d]
21
22 df = pd.DataFrame(db)
23 df.columns = ['Cemento_kg', 'Ignimbrita_kg', 'Arena_kg', 'Agua_l', 'Edad_dias']
24 df = df[df.Agua_l != -99999]
25 df.to_csv('Probable.csv')
26
    
```

Ilustración 74: Programa de Combinación de Parámetros

Fuente: Elaboración Propia

3) Programa de Ordenamiento de Resultados

```

1 import pandas as pd
2 import numpy as np
3
4 df = pd.read_csv('Probable.csv')
5 df = df[df.Edad_dias != 90]
6 df = df.reset_index()
7 df.drop('index', axis=1, inplace=True)
8
9 groups = int(len(df) / 4)
10 print("Diseños de Mezcla:", groups)
11
12 matx = df.values
13 # print(matx)
14
15 consolidation = np.zeros((1, 7))
16
17 counter = 0
18 z = 0
19 y = np.zeros((4, 1))
20
21 for design in range(groups):
22     batch = matx[counter:counter+4, :]
23     if batch[0, 5] < batch[3, 5] and batch[3, 5] <= 41.19 and batch[3, 5] >= 17.16:
24         z += 1
25         y[:, :] = z
26         batch = np.append(y, batch, axis=1)
27         consolidation = np.vstack((consolidation, batch))
28         counter += 4
29
30 consolidation = np.delete(consolidation, (0), axis=0)
31 np.savetxt('consolidation.csv', consolidation, delimiter=',')
32
33 print('Total de diseños válidos:', z)
34 print('Porcentaje Útil:', z/groups*100)
    
```

Ilustración 75: Programa de Ordenamiento de Resultados

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO 6. APLICACIÓN DE MODELOS DE SOSTENIBILIDAD PARA LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA

6.1 SISTEMAS DE INFRAESTRUCTURA

6.1.1 SISTEMAS DE INFRAESTRUCTURA

Los sistemas de infraestructura consisten en la interacción de los elementos que la conforman, más allá del ámbito físico de la misma. Entre ellos se consideran 3 criterios:

1. Tiempo

El tiempo señala los efectos que tendrá la infraestructura estudiada a lo largo de su vida útil sobre el ambiente. Para ello es factible la utilización de una Matriz de Análisis del Ciclo de Vida.

2. Espacio

El criterio del espacio se refiere a la interacción presentada por la infraestructura a analizar con respecto a otras infraestructuras a los que se encuentre conectada o a los que inflencie por su cercanía.

3. Contexto

El contexto hace relación a el propósito que cumple la infraestructura, los cuales deben de ser basados en los lineamientos dictaminados por el gobierno o una autoridad competente.

Debido a que el desarrollo inicial de una actividad extractiva de agregado a base de ignimbrita, proveniente de los residuos del tallado de bloques de sillar, se realizaría a pequeña escala, la infraestructura a utilizarse sería la ya existente en la quebrada, conformada por las trochas carrozables disponibles. Debido a ello, hasta no demostrar una incorporación al mercado exitosa, con una demanda que justifique ampliaciones y la construcción de nuevas infraestructuras o la mejora de la actual no es posible el desarrollo de este análisis a falta de un dimensionamiento adecuado de los requerimientos para ello.

6.1.2 MANEJO ADAPTATIVO



Ilustración 76: Adaptive Management

Fuente: (Center for SDIs and Land Administration, 2011)

El manejo adaptativo se basa en la construcción y operación de una infraestructura de carácter sostenible, para ello tan importante como la construcción de la misma es la capacidad de administrar todos los elementos de la misma durante su vida útil.

Para ello, el manejo adaptativo se apoya en las siguientes etapas:

1) **Conceptualización**

Durante la conceptualización se definen los principales componentes tanto de la infraestructura como de los actores y parámetros para su manejo futuro, tales como las siguientes acciones:

- Definición y formación del equipo inicial
- El alcance, visión y objetivos son definidos
- Se identifican y se remarcan las amenazas críticas al proyecto
- Se realiza un análisis situacional

2) **Planificación de las Acciones y su Monitorización**

La segunda fase consiste en el desarrollo de aquellas acciones necesarias para el trazado del proyecto de infraestructura como:

- Objetivos, estrategias y asunciones
- Realización de un plan de monitorización
- Desarrollo de un plan de operacionalización

3) Implementación de las Acciones y su Monitorización

Es el paso siguiente de la conceptualización y de la planificación para el desarrollo sostenible de una infraestructura de manera efectiva, se deben seguir acciones tales como:

- Desarrollo de un plan de trabajo y de un cronograma
- Desarrollo de un plan presupuestario
- Implementación de los planes realizados

4) Análisis, Uso y Adaptación

Durante esta etapa se proceda a realizar una evaluación de las medidas adoptadas para el manejo de la infraestructura, recopilando data de la misma para ser analizada además de una interpretación de los resultados y adaptación de un plan estratégico.

5) Captura y Difusión del Aprendizaje

Por último, debe ser plasmado todo lo aprendido en el desarrollo de la infraestructura en un documento para poder ser implementados como parte inicial de un nuevo ciclo de manejo adaptativo y en otros proyectos.

Durante el desarrollo de una actividad extractiva prolongada, será posible llevar a cabo un manejo adaptativo de su infraestructura inicial, sin embargo, el aprovechamiento de este material en las canteras de Añashuayco considera también la utilización de la infraestructura existente. Esta se logra mantener a través del esfuerzo de las Asociaciones de Canteros dada su importancia para retirar sus bloques de sillar de la cantera, sobre las cuales se podrá realizar ciertas mejoras pero hasta justificar un incremento en el volumen de la infraestructura, generado por una mayor demanda en el mercado de agregados ligeros, se continuara su uso compartido.

6.1.3 MANEJO DE RIESGOS

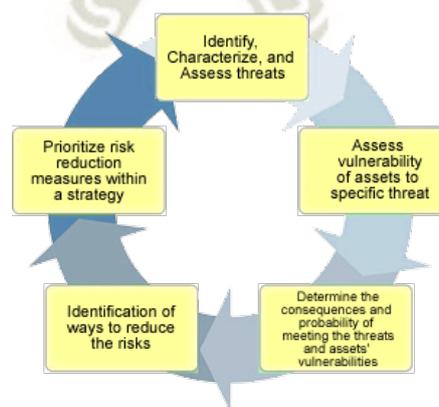


Ilustración 77: Manejo de Riesgos

Fuente: (Center for SDIs and Land Administration, 2011)

El modelo de gestión de riesgos se considera como parte de la gestión adaptable para infraestructuras sostenibles que se ocupa de la identificación y gestión de los riesgos críticos. Este modelo consta de cinco fases que incluyen:

- Identificación y evaluación de amenazas.
- Evaluación de vulnerabilidades de activos a amenazas específicas.
- Determinación de consecuencias y probabilidad de enfrentar amenazas y vulnerabilidades.
- Identificación de medidas para reducir riesgos.
- Priorizar las medidas de reducción de riesgos.

6.1.4 ANÁLISIS DE STAKEHOLDERS



Ilustración 78: Análisis de Stakeholder

Fuente: (Center for SDIs and Land Administration, University of Melbourne, 2011)

Es un método para la identificación, priorización y comprensión de las partes involucradas en un proyecto. Ayuda a identificar e involucrar a las personas adecuadas y administrarlas de manera eficaz.

El análisis de Stakeholders identifica a las partes interesadas y las clasifica según su nivel de “poder” sobre la influencia en la dirección del proyecto, así como, su “interés” hacia el negocio o proyecto.

Dentro de este análisis hemos podido observar a 4 partes interesadas descritas a continuación:

- 1) Asociación de Canteros: Cuentan con un gran interés para la realización de un proyecto de industrialización de la extracción de agregados debido a lo posibilidad

de creación de una fuente adicional de ingreso para ello. Sin embargo, cuentan con poco poder sobre el manejo de los materiales presentes en la quebrada debido a su labor no formalizada, aunque protegida por el gobierno. Se considera que se les debe mantener informados.

- 2) Empresa Distribuidora del Material: esta parte tiene un interés igual o mayor en el desarrollo de este proyecto que las Asociaciones de Canteros, contando un poder sobre él de carácter medio, debido a la inversión que estos deben de realizar para poder llevarlo a cabo. Se debe mantener una observación sobre ellos.
- 3) Municipalidad Distrital de Cerro Colorado: Al ser una entidad del gobierno local tiene un poder medio a alto, pero con un interés bajo en la presencia de una empresa extractora adicional en el territorio de su bajo su supervisión, por ello se considera que se debe de mantener satisfechos sus requerimientos.
- 4) Entidades Gubernamentales como SUNAT y Ministerios: El poder con el que cuentan es de carácter alto, al mismo tiempo presentan un interés de medio a bajo debido por lo que también deben de cumplirse los requerimientos que estás propongan, al mismo tiempo que se procura aumentar su interés para asegurar la permanencia de este proyecto.

6.1.5 ASOCIACIÓN PÚBLICA - PRIVADA

Este modelo considera de manera general tres áreas en las que esta asociación puede ser posible, estas áreas incluyen la financiación, propiedad y el control interno.

El control interno se refiere principalmente a las operaciones comerciales y la gestión de procesos, todo esto con el fin de que la empresa logre su visión y objetivos.

El control interno puede ser manejado por el sector privado, público o bien de manera simultánea; sin embargo, en el caso de la financiación solo puede ser realizado o bien por el sector público o el privado.

La propiedad se refiere como su nombre lo dice a la propiedad real que posee una empresa sea de tipo privada, pública o mixta.

Según sea el tipo de combinación del tipo de sector que opera en las tres áreas anteriores, este modelo clasifica diferentes tipos de asociaciones:

- Administración de la agencia pública: Propiedad del sector público.
- Externalización de contratos de servicios: Propiedad del sector público o privado.

- Contrato de gestión: Financiado y de propiedad del sector público, sin embargo, su gestión la realiza el sector privado.
- Contrato de arrendamiento: Financiado y de propiedad del sector público, sin embargo, su gestión la realiza el sector privado.
- Concesión de la red existente: administrada y financiada por el sector privado, pero de propiedad del sector público.
- Construcción, operación y transferencia: administrada y financiada por el sector privado, pero de propiedad del sector público y privado.
- Privatización de desinversión: Financiado, administrado y de propiedad del sector privado.

6.1.6 PROTECCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

A lo largo del desarrollo de las actividades de la empresa u organización extractora de ignimbrita proveniente de las rajadas del tallado de sillar, se proveerá de protección a la infraestructura existente en la quebrada, siendo esta los caminos de carácter rural que la atraviesan y conectan a las vías principales del parque industrial de Río Seco, como de los tallados realizados con fines turísticos en los accesos de la quebrada.

6.2 SOSTENIBILIDAD

6.2.1 RUEDA DE ECOESTRATEGIA

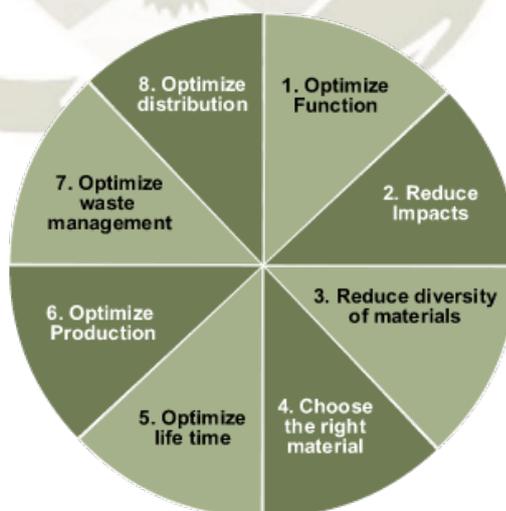


Ilustración 79: Rueda de Ecoestrategia

Fuente: (Center for SDIs and Land Administration, University of Melbourne, 2011)

1) Optimización de Funciones

La aplicación de la ignimbrita, además de ser usada como bloque de albañilería, en un uso como agregado liviano permite utilizar el material de forma más adecuada, aprovechando lo extraído de las quebradas casi en su totalidad.

2) Reducir Impacto en el Uso

Su utilización en una mayor parte de las estructuras de concreto haría factible tanto una disminución en la cantidad de material desechado en botaderos dentro de las quebradas, así como reducir la necesidad de material extraídos de quebradas con mayor dureza, lo cual requiere mayor cantidad de maquinarias para su producción.

3) Reducir Diversidad de los Materiales

Al ser utilizado como agregado en la producción de concreto, este material puede ser utilizado en una mayor parte en las construcciones de la zona, conformando tanto las unidades de albañilería como el agregado grueso en los elementos estructurales tales como columnas y vigas.

4) Elección del Material Correcto

Con el fin de tener un correcto material para la utilización en mezclas de concreto, se ha visto que la mejor manera consiste en la combinación de fragmentos de distintos puntos de obtención, generando un agregado de características mecánicas más uniformes.

5) Optimización del Tiempo de Vida

Es de carácter vital, que para desarrollar un concreto de larga vida, utilizando la ignimbrita como agregado grueso, se debe aplicar una metodología de diseño de mezcla adecuada. En nuestro caso hemos hallado que la propuesta por Chandra y Berntsson cumple de manera satisfactoria, en gran parte de los casos, con estos parámetros.

6) Optimización de la Producción

Para adecuar la producción a un uso más industrializado de la ignimbrita en tamaños adecuados para ser considerado como agregado liviano, se consideró que una forma adecuada de obtener la ignimbrita, sin entorpecer las actividades de los canteros, sería la introducción de una empresa destinada únicamente al fin de producir agregado normalizado pagando una tarifa acordada con la asociación de canteros del sector de la quebrada donde opere.

7) Optimización del Manejo de Desperdicio

La utilización del material de desperdicio proveniente de la actividad extractiva y de tallado de los bloques de sillar genera que la producción de agregado liviano en base a

este residuo genere cantidades mínimas de desperdicio, reduciendo en forma global lo acumulado en la quebrada.

8) Optimización de la Distribución

El manejo de este material en un uso interno de la ciudad de Arequipa y sus alrededores permitiría que los gastos de transporte o flete se mantenga reducido, haciendo atractiva la utilización del mismo.

6.2.2 CAPITALISMO NATURAL

1) Productividad de Recursos Radicales

La producción de agregados, producto del aprovechamiento de los recursos considerados “merma” de la actividad extractiva de los bloques de sillar en la cantera de Añashuayco, Cerro Colorado, permite contribuir de la siguiente manera:

- Al diversificar las posibilidades de producción de la cantera, es factible mantener la cantidad de labor realizada en la quebrada reduciendo la cantidad de bloques de gran tamaño, destinados a ser tallados, por una unidad de tiempo dada.
- Al aprovechar las grandes cantidades acumuladas durante los dos últimos siglos de rajadas de ignimbrita en la quebrada, además de las rajadas producto de los tallados actuales, se permite reducir la cantidad de desecho producida por cada cantero en la ubicación.
- Dada una correcta implementación al mercado de este agregado, permitiría la apertura de una fuente de ingreso adicional para las personas dedicadas a la labor extractiva actualmente, esto debido a la propiedad tácita con la que cuentan sobre el área de explotación.

2) Biomimetismo

Reduciendo el rendimiento inútil de los materiales – de hecho, eliminando la idea misma del residuo – se puede lograr al rediseñar los sistemas industriales en líneas biológicas que cambian la naturaleza de los procesos industriales y materiales, permitiendo la reutilización constante de materiales en un ciclo cerrado continuo, y con frecuencia la eliminación de la toxicidad. (Hawken, Lovins, & Lovins, 1999, pág. 10)

Dado el uso planteado para el material en la presente tesis, es factible el aprovechamiento del material de desecho, sin embargo, no es aplicable dentro de los parámetros que abarca esta definición.

3) Servicio y flujo económico

Se exige un cambio fundamental entre el productor y el consumidor, desde una perspectiva de economía de bienes y compras a una de servicios y flujo. Se debe entender que la economía se basa en un flujo de servicios económicos en la cual su esencia debe de ser proteger los servicios económicos de los cuales depende.

La ignimbrita de desecho es un material con potencial de tener efectos nocivos de manera cíclica en el ecosistema al ser sujeto de ser transportado por los frecuentes huaycos que ocurren en la zona por varios kilómetros.

Al comprobar su validez como agregado para la fabricación de concreto, se puede generar un servicio; el consistiría en la remoción de este, a la vez que permite la creación de una industria, la cual favorecería tanto al ambiente natural de la quebrada como a las personas que desempeñan este trabajo dentro de ella.

4) Inversión en el Capital Natural

La creación de una industria de agregados en la zona, reforzaría las actividades ya encontradas en el lugar, lo cual no solo despejaría la quebrada a un estado más cercano al original, si no que incorporaría un disuasivo de mayor para la amenaza más grande a estas quebradas, las invasiones.

6.2.3 MODELO DE CUATRO CAPITAL

El modelo de “cuatro capitales” es un enfoque de balance a través, como su nombre lo indica, de 4 parámetros básicos para así poder mantener la sostenibilidad en un proyecto. Ninguno de los parámetros debe ser colocado encima de los demás, pues un enfoque parcializado puede causar la inviabilidad del conjunto a largo plazo.

1) Capital Humano (Sostenibilidad Social)

El capital humano se basa en el valor de los recursos humanos y de sus habilidades. Estos pueden ser medidos de distintas maneras, tomando en cuenta las habilidades, inteligencia, redes establecidas, confianza, reputación, poder, entre otras.

En el desarrollo de la actividad extractiva industrializada de la ignimbrita como agregado grueso, se estaría asegurando la continuidad de las personas dedicadas a la labor previa de la obtención de este recurso al asegurar una segunda fuente de ingresos, la cual sería el tallado de bloques de sillar.

2) Capital Financiero (Sostenibilidad Financiera)

Para el segundo parámetro, la base se encuentra en el dinero dedicado al proyecto, así como de los instrumentos y políticas relacionadas al mismo. Entre algunos tipos de capital financiero se encuentra el dinero físico, las deudas, inversiones e instrumentos financieros, los cuales le permitan a este capital mantenerse al mismo nivel que los anteriores.

En la extracción del residuo del tallado de los bloques de sillar para la utilización como agregado grueso se tiene en consideración la abundante cantidad de material disponible de forma inmediata por lo que los requisitos económicos para su obtención radican en su mayor parte en la adquisición de zarandas de tamaño adecuado, así como de maquinaria amarilla de pequeña escala. De darse un incremento en la demanda del material se podrá evaluar la posibilidad de una ampliación en la infraestructura de la empresa.

3) Capital Natural (Sostenibilidad Ambiental)

El capital natural se enfoca en el manejo de los recursos naturales que podrán ser afectados, por ello es necesario tanto la contabilización de los mismos además de entender a profundidad el grado de nuestro impacto en ello, tanto los sistemas vivos y los servicios eco-sistémicos.

En el manejo de este capital enfocado en la extracción de ignimbrita, se buscará mantener la remoción de escombros, acumulados durante aproximadamente 200 años en la quebrada de Añashuayco, los cuales representan un riesgo durante la temporada de lluvia.

4) Capital Manufacturado

Por último, se toma en cuenta todos los recursos que fueron desarrollados por medios humanos, los cuales pueden ser infraestructura, herramientas, maquinarias, fábricas, etc. Dadas las necesidades propias del desarrollo de una extracción de agregados en base a la ignimbrita, se requerirá en maquinaria equipo similar a mini-cargadores frontales como mínimo, además de las zarandas a ser usadas para poder separar los materiales.

6.2.4 MODELO DE SEIS CAPITALES

El modelo de “seis capitales” en forma análoga al modelo de “cuatro capitales” busca la sostenibilidad y el balanceo de seis parámetros, siendo los cuatro primeros los establecidos en el anterior ítem; la diferenciación de este modelo con el anterior reside en el desarrollo adicional de competencias que son consideradas en el modelo de “cuatro capitales” pertenecientes al capital humano.

1) Capital Intelectual

En el desarrollo de la actividad de extracción de ignimbrita se carece de una industria especializada en esta, por lo tanto, la presente investigación se puede considerar como la etapa inicial de la tecnificación de esta industria.

2) Capital Social y de Relaciones

La implementación de una industria basada en la extracción de ignimbrita para ser usada como agregado liviano favorecería a las asociaciones de canteros al asegurar la continuidad de sus labores tradicionales mediante la incorporación de una segunda fuente de ingresos.

6.3 POLÍTICA PÚBLICA

6.3.1 INSTRUMENTOS DE POLÍTICA PÚBLICA

Este modelo se basa en instrumentos que son utilizados por los gobiernos para lograr sus objetivos, tales como: incentivos, mandatos, creación de capacidad, cambios en el sistema y política de exhortación.

1) Mandatos

Este instrumento incluye las normativas que rigen tanto a las agencias como a los individuos, obligando o prohibiendo la participación de estos en ciertas actividades.

Aplicándose a la investigación, el INGEMMET habiendo removido las cuadrículas ubicadas sobre las canteras de Añashuayco obliga a cualquier entidad interesada en la adquisición de este material a realizarlo a través de la asociación de canteros existentes.

2) Incentivos

Representan la entrega de recursos a individuos o empresas participantes en la producción de bienes o servicios; para la actividad propuesta no considera viable solicitar incentivos por parte del gobierno ya que estaría considerada como una actividad privada con fines de lucro.

3) Creación de Capacidad

Este instrumento es la transferencia de dinero para fines de inversión en recursos materiales, intelectuales o humanos.

Tal como se mencionó anteriormente existe el mandato de adquisición única a través de la asociación de canteros por lo que para asegurar un suministro continuo de material a ser utilizado como agregado se plantea la creación de capacidad en los canteros mediante

talleres y entrega de herramientas que faciliten su laborar y por ende se mantenga u aumente la producción base de ignimbrita.

4) Cambios en el Sistema

Consiste en la delegación de responsabilidad a entes privados como individuos o empresas por parte del gobierno para hacer valer las regulaciones dictadas por este. Debido a la falta de empresas formales en la ubicación a ser desarrollado este proyecto se considera no factible la entrega de estos poderes por parte del gobierno a terceros.

5) Política de Exhortación

En este instrumento el gobierno en busca del desarrollo en las áreas de mayor prioridad otorga recursos a terceros con el fin de satisfacer los requerimientos de investigación y aplicación.

Al ser la investigación presentada de bajo conocimiento, no aplica el presente instrumento.

6.3.2 TEORÍA DE LOS BIENES PÚBLICOS

La teoría de los bienes públicos se basa en la relación entre dos parámetros principales, la exclusividad y la rivalidad en el uso de un bien, entendiendo por exclusividad como el punto al cual un individuo puede ser excluido del acceso a cierto bien. Por otro lado, la rivalidad en el uso se enfoca al grado de competencia en el uso de este bien dentro del mercado.

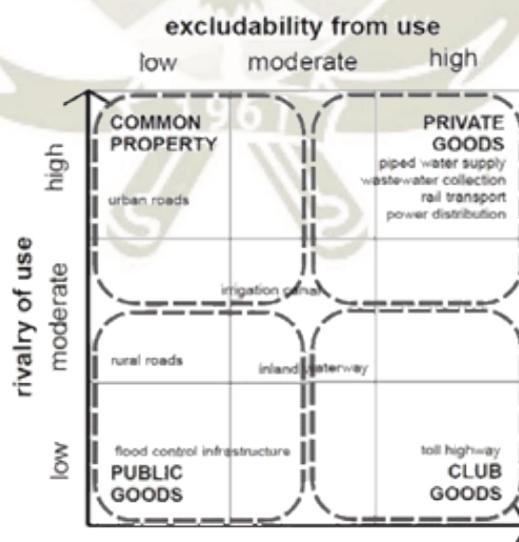


Ilustración 80: Teoría de los Bienes Públicos
 Fuente: (Center for SDIs and Land Administration, 2011)

Analizando el presente cuadro, es factible ubicar la industrialización del agregado liviano a base de ignimbrita como un bien de “club”, esto debido a la alta exclusividad al ser la única o una de las pocas empresas dedicadas a la extracción del material con este fin; y a la baja rivalidad de uso, esto se debe a que se plantea generar agregados en un volumen que permita el fácil acceso al mismo.

6.3.3 FALLA DEL MERCADO

Es un concepto en el cual la distribución de bienes y recursos dentro de un mercado libre no es eficiente según la teoría económica. La falla de un mercado se puede producir debido a cuatro factores principales que incluyen bienes públicos, externalidades, ausencia de derechos de propiedad e información asimétrica.

1) Bienes Públicos

Se produce cuando los bienes de baja exclusividad y rivalidad de uso son distribuidos de manera deficiente generando incapacidad para su a locación en las cantidades requeridas. En el presente caso esta falla ocurriría por un manejo inadecuado de las vías rurales de acceso a la actividad extractiva por parte de las autoridades competentes.

2) Externalidades

Una externalidad es la consecuencia de una actividad económica que es experimentada a casa de las acciones de un tercer, existen dos tipos de externalidades; negativas cuando existe sobreproducción en el mercado de un bien o servicio y positivas cuando se da la su producción del mismo.

La actividad planteada en la investigación no es afecta a externalidades ya que al presente sería la única a realizarse para proveer la ignimbrita como agregado de construcción de forma tecnificada.

3) Ausencia de Derechos de Propiedad

Para un adecuado desarrollo de una actividad en el mercado es necesario que los participantes cuenten con derechos integrales, pero por sobre todo seguros y exclusivos, sin ellos la incapacidad de una gestión de los recursos puede ocasionar una falla de mercado.

En el caso de una actividad extractiva de ignimbrita, a pesar de no contar con derechos sobre la cuadrícula minera dada a concesión por el INGEMMET, se debe considerar la facultad de operación exclusiva por parte de las asociaciones de canteros, realizando acuerdos con los presidentes de ellas.

4) Información Asimétrica

Este parámetro se basa en las fallas de mercado debido a una desigualdad en la disponibilidad de la información en las partes con capacidad de decisión, lo cual se genera cuando la información llega en distintos niveles a estas partes. Esto puede ocasionar ineficiencias en el desarrollo de la actividad, generando fallas.

Una posibilidad de esta falla en la extracción industrializada de ignimbrita en base a las rajadas de sillar, se puede dar debido a una comunicación ineficiente entre las partes de la empresa interesada y los dirigentes de las asociaciones con poder en la quebrada.

6.3.4 TRIANGULO ESTRATÉGICO DE MOORE

Este modelo nos explica como las organizaciones o empresas pueden crear un valor público. Según el Triángulo de Moore son dos los componentes importantes que deben interactuar para crear valor y mejorar el rendimiento siendo estos:

- Capacidad organizativa/recursos

Es necesario que para el desarrollo de una organización o agencia estén disponibles en la misma medida que esta lo demande los recursos necesarios para crear valor así mismo la capacidad organizativa para poder gestionarlos.

En una etapa primordial del desarrollo de este proyecto será vital una correcta organización de los recursos como equipos y maquinarias necesarios para la correcta separación de material útil.

- Entorno de autorización

La aprobación y el apoyo de las autoridades de la empresa u organización son necesarios para lograr el propósito, necesitando en este caso tanto autorización de carácter gubernamental, como de carácter social siendo estos provistos para el primer caso por los municipios distritales y provinciales, como en el segundo caso por parte de las asociaciones de canteros presentes.

6.4 SISTEMA AMBIENTAL

6.4.1 PARADIGMA DEL MANEJO DEL SUELO

Dentro de los sistemas utilizados por un gobierno con el fin de administrar el uso de los suelos se deberán llevar a cabo una serie de actividades, las cuales pueden ser descritas en base a tres componentes principales:

1) Políticas del suelo

Las políticas del suelo consisten en una serie de medidas tomadas por el gobierno para desarrollar un plan de usos para permitir un desarrollo sostenible tanto de agricultura, vivienda, economía e incluso reducción de la pobreza e igualdad.

Dado lo presentado por el INGEMMET, la quebrada de Añashuayco se encuentra en su mayor parte en un área restringida por ser considerado una zona urbana, sin embargo, se permite la continua extracción de material de la quebrada debido a ser considerado un patrimonio nacional los saberes de las personas que allí laboran.

2) Infraestructura de la información del suelo

La infraestructura de la información es uno de los componentes de mayor relevancia tanto aquí como en el diagrama mariposa, ya que provee sistemas de data del suelo, así como Infraestructura de Data Espacial (SDI).

Para nuestro caso, como se mencionó, la mayor cantidad de data de SDI se puede hallar en el Sistema de Información Geológico y Catastral Minero GEOCATMIN.

3) Funciones de la administración del suelo

Este componente se encarga de la administración misma del suelo, tomando en cuenta la propiedad del mismo, el valor asignado a este, los usos permitidos para cada uno y el desarrollo que se pueda generar sobre él. Para ello se apoya en catastros e información topográfica. Son normalmente desarrollados por los organismos de gobierno.

6.4.2 DIAGRAMA MARIPOSA

El diagrama mariposa es una herramienta que combina tanto SDI con la administración del suelo para poder desarrollar de forma adecuada de funciones del suelo y el paradigma del manejo del suelo.

Inicialmente se deberá de contar con un sistema de información del suelo, el cual se basará en su mayor parte en los catastros y títulos de propiedad para poder identificar las parcelas y relacionar sus datos. Sobre ello se deberá aplicar los SDI como se describió anteriormente.

Finalmente se podrá llegar a producir el modelo del Paradigma del Modelo del Suelo, lo cual incluye la tenencia del suelo, además de su valor, su uso y su desarrollo. Este modelo no es aplicable a la realización de este trabajo debido a su carácter privado y focalizado de la extracción de la ignimbrita.

6.4.3 MANEJO DEL AGUA

El manejo de agua se debe realizar sobre los acuerdos legales o institucionales aplicando tanto la infraestructura de información del agua, así como el marco de referencia de políticas del agua para producir la administración de funciones del agua, la cual contiene los derechos de la misma, sus asignaciones y el intercambio y manejo del ambiente. Con ello se puede llegar a un desarrollo sostenible en ámbitos económicos, social y ambiental.

La actividad extractiva de la ignimbrita no está relacionada directamente al manejo del agua debido a que no es un requisito para el desarrollo de esta, debido a que el área de trabajo se encuentra alejado de los recursos hídricos existentes en la zona.

6.4.4 MANEJO ESPACIAL DE LA INFORMACIÓN

Los SDI o infraestructura de data espacial es una plataforma dedicada a permitirle a personas como interesados, proveedores de servicio, usuarios entre otros un acceso global a la información del suelo, sus políticas, los estándares que rigen sobre él; a través de una red que permita y promueva a las partes interesadas una comunicación de la data concerniente.

Para el desarrollo de la investigación se planteó la utilización del SDI provisto por el INGEMMET, el cual aporto información sobre el uso del suelo, disponibilidad de la cuadrícula minera para ser concesionada y la información geográfica.

CONCLUSIONES

1. Se determinó que para hallar la dosificación más óptima para el diseño de mezcla del concreto utilizando ignimbrita en reemplazo total del agregado grueso se debe aplicar la metodología propuesta por Chandra y Berntsson; de forma paralela, se obtuvo una optimización teórica de las dosificaciones de materiales al evaluar distintas combinaciones a través de un software de lenguaje Python.
2. Se tomó muestras de cinco puntos en la cantera de Añashuayco, encontrando que compartían gran similitud en sus propiedades tanto físicas como mecánicas. Sin embargo, las variaciones presentadas afectan la resistencia a la compresión del concreto de manera notoria, con variaciones máximas cercanas a los 4.50 MPa.
3. Se desarrolló 45 diseño de mezcla de concreto bajo el método de diseño factorial, pero debido al comportamiento de estas mezclas, sólo fueron llevado a cabo 27; se procedió a completar las unidades restantes con 6 diseños de mezcla de concreto producidos con la metodología propuesta por Chandra y Berntsson.
4. Los concretos producidos por el método factorial no alcanzaron su resistencia a la compresión de diseño respectiva, alcanzando entre 20 y 40% de la resistencia de diseño; sin embargo, se obtuvo resistencia de concretos estructurales al trabajar con el método de Chandra y Berntsson, siendo los porcentajes de estas 93, 80 y 73 con respecto a sus resistencias de diseño 21, 28 y 35 MPa respectivamente.
5. Se demostró que la aplicación de concreto con ignimbrita como concreto estructural liviano permite reducir los costos de producción por cada metro cúbico entre 20 y 30% al ser comparado con otros concretos ligeros diseñados para la misma resistencia a la compresión.
6. Los concretos producidos bajo ambas metodologías mostraron resultados dentro de los parámetros establecidos por la norma ACI 213R-03, siendo considerado el concreto con ignimbrita un concreto estructural liviano al mantenerse por debajo de los 1920 kg/m³ para el peso unitario y obteniendo resistencias mayores a los 17 MPa.
7. Se obtuvo resistencias a la compresión más altas al tener ratios elevados de agregado fino en masa en relación a la masa de agregado total, siendo la relación que mejor trabajó de Af/At de 0.60 y de a/c de 0.45 para el método factorial; y un Af/At de 0.70 para el método de Chandra y Berntsson.

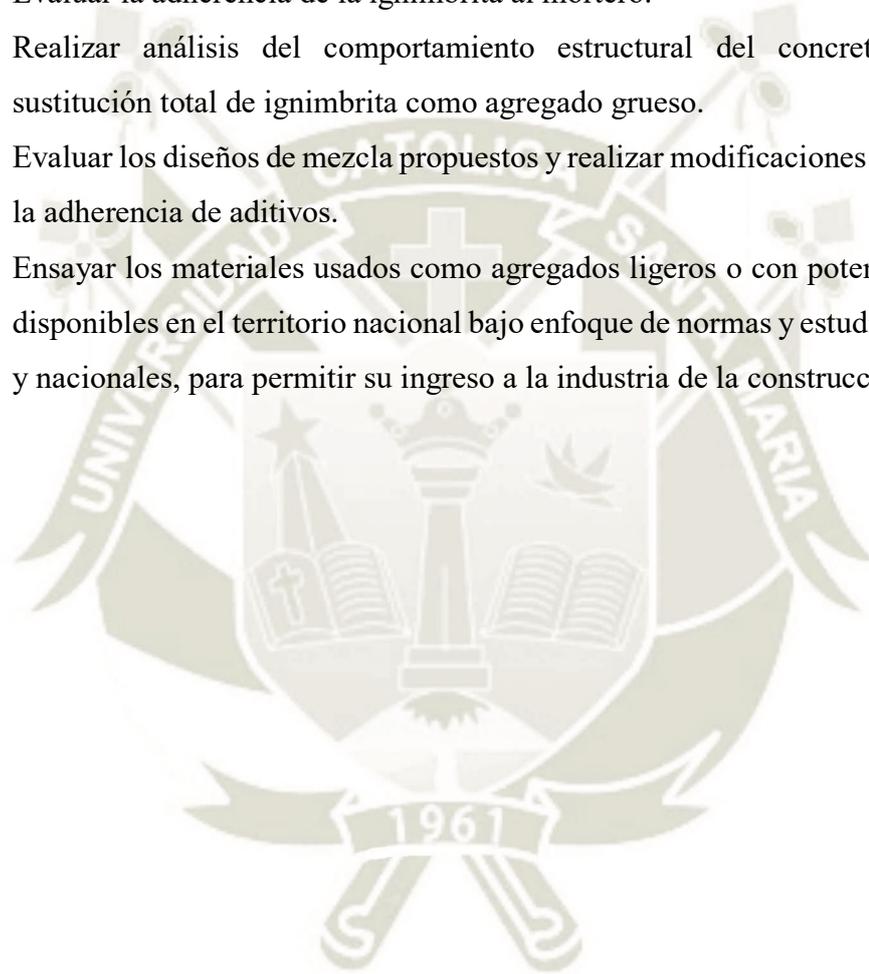
8. Se analizó la actividad extractiva de la ignimbrita en la cantera de Añashuayco con fines de insumo para concreto bajo distintos marcos de referencia en sostenibilidad dados por la Universidad de Melbourne, Australia. En ello se observó una interrelación de alto grado entre los cuatros sistemas que serían partícipes de un proyecto de este tipo.
9. Las muestras de concreto realizadas con un reemplazo total de agregado de peso normal por agregado de ignimbrita mostraron un cambio en su coloración una vez seco el material, asemejándose a tonos blancos debido al material usado.
10. La ignimbrita de la cantera de Añashuayco, Arequipa, puede ser utilizada como agregado grueso liviano para la producción de concreto de manera efectiva al reemplazar en su totalidad al agregado grueso de peso normal.
11. En el uso de concreto con reemplazo total del agregado grueso por ignimbrita, la resistencia a la compresión máxima que se podrá desarrollar sin la utilización de aditivos será de 28 MPa debido a la trabajabilidad límite que esta presenta.
12. La utilización de la metodología de diseño desarrollada por el Comité 211 del American Concrete Institute, utilizada en precedentes investigativos de esta investigación no permite el desarrollo de concretos con resistencias a la compresión estructurales útiles, alcanzando un máximo del 40% de la resistencia demandada a la muestra.
13. El porcentaje de agregado fino en la mezcla en relación a la cantidad total de agregados tiene una relación directamente proporcional con la resistencia a la compresión que este pueda desarrollar.
14. En los diseños de mezcla se observó que, a pesar de tener una absorción bastante elevada, el agregado liviano no absorbe la totalidad del agua utilizada para su corrección por humedad, generando vacíos de aire en sus múltiples poros; alcanzando de 6.94 a 13.14% por el método factorial y de 7.06% a 10.57% perteneciente al método de Chandra y Berntsson.
15. La cantidad de agua utilizada en el diseño de mezcla por el método factorial para poder corregir por humedad de los agregados y aportar el agua necesaria significó un aumento sustancial en la trabajabilidad de la mezcla, llegando a incrementar hasta en 2 pulgadas el asentamiento.
16. El diseño de mezcla utilizando la metodología propuesta por Chandra y Berntsson obtiene resultados con mayor grado de resistencia al aplicar los conceptos de reforzamiento de las partículas de agregado liviano.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la utilización de aditivos súper-plastificantes para mejorar la trabajabilidad de los diseños de mezcla realizados, especialmente para resistencias de diseño superiores a los 21 MPa.
2. Es importante la medición de aire en mezcla para todos los diseños de concreto liviano con ignimbrita debido a los altos porcentajes que estos diseños cuentan por la porosidad de sus agregados.
3. No sobre vibrar o varillar las mezclas de concreto de forma especial cuando se utilice ignimbrita, esto debido a la mayor sensibilidad del concreto a la segregación causada por la baja densidad de este agregado en comparación a uno de peso normal.
4. Otorgar el tiempo suficiente a las muestras de concreto tras ser retiradas de las pozas de curado o que estas sean introducidas a un horno a 110 °C para permitir que estas sean ensayadas en un estado seco, debido a las reducciones en la resistencia de este concreto al hallarse humedecido.
5. Realizar la saturación del agregado liviano por tiempos superiores a lo indicado en normas, preferiblemente por sobre los tres días para asegurar el ingreso de agua a todos los poros del material para cuando los ensayos así lo requieran.
6. Realizar la mezcla de concreto con ignimbrita introduciendo de forma secuencial la ignimbrita, el cemento, la mitad del agua de diseño y corrección, la arena y finalmente el restante de agua.
7. Realizar el curado de las muestras de concreto por tiempo no superior a los 14 días por el alto tiempo requerido para el secado posterior de las mismas y por el alto porcentaje de resistencia a la compresión desarrollado por este tipo de mezcla en los primeros 7 días.

PROPUESTAS DE INVESTIGACIÓN

1. Realizar ensayos térmicos y acústicos para conocer las propiedades del concreto ligero con ignimbrita de modo que genere posibles aplicaciones para este concreto.
2. Realizar mayores estudios a la ignimbrita como insumo para el concreto ligero.
3. Evaluar la adherencia de la ignimbrita al mortero.
4. Realizar análisis del comportamiento estructural del concreto ligero con sustitución total de ignimbrita como agregado grueso.
5. Evaluar los diseños de mezcla propuestos y realizar modificaciones que impliquen la adherencia de aditivos.
6. Ensayar los materiales usados como agregados ligeros o con potencial para ello, disponibles en el territorio nacional bajo enfoque de normas y estudios extranjeros y nacionales, para permitir su ingreso a la industria de la construcción.



BIBLIOGRAFÍA

- Abanto Castillo, F. (2009). *Tecnología del Concreto (Teoría y Problemas)* (Segunda ed.). Lima, Perú: San Marcos.
- Abdullahi, M., Al-Mattarneh, H., Mohamed, B. S., & Sadiku, S. (2011). M-FILE FOR MIX DESIGN OF STRUCTURAL LIGHTWEIGHT CONCRETE USING DEVELOPED MODELS. *Journal of Engineering Science and Technology*, 6(4), 520-531.
- ACI Commitee 211. (1991). Standard Practice for Seecting Proportions for Normal Heavyweight, and Mass Concrete. *ACI 211.1-91*. Michigan, EE.UU.: American Concrete Institute.
- ACI Committee 213. (26 de Setiembre de 2003). Guide for Structural Lightweight-Aggregate Concrete. *ACI 213R-03*. EE.UU.: American Concrete Institute.
- Ahmad, S., & Alghamdi, S. (2014). A Statistical Approach to Optimizing Concrete Mixture Design. (H. Cui, İ. B. Topçu, & H. Wang, Edits.) *The Scientific World Journal*(561539), 1-7. doi:10.1155/2014/561539
- ASTM International. (1 de Enero de 2004). Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete. *ASTM C 330 - 04*. EE.UU.: American Society of Testing Materials.
- ASTM International. (2004). Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete. *ASTM C330 - 04*. Pennsylvania, EE.UU.: American Society for Testing Materials.
- ASTM International. (2014). Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. *ASTM C39 / C39M-14*. Pennsylvania, EE.UU.: American Society for Testing Materials.
- Aydin, A. C., Karakoç, M. B., Düzgün, O. A., & Bayraktutan, M. S. (18 de Mayo de 2010). Effect of low quality aggregates on the mechanical properties of lightweight concrete. *Scientific Research and Essays*, 5(10), 1133-1140. Obtenido de <http://www.academicjournals.org/journal/SRE/article-full-text-pdf/492207B19238>

Becerra, L. G., & Salas, J. E. (2009). Diseños Alternativos para Mezclas de Concreto y Diseño Estructural de Viviendas Unifamiliares en el Cono Norte de Arequipa. (45.0051.IC). Arequipa, Perú: Universidad Católica de Santa María.

Cementos Yura S.A. (2018). HE Cemento Industrial Ultra Resistencia Inicial. *Ficha Técnica*. Arequipa, Arequipa, Perú.

Cementos Yura S.A. (2014). Cemento Portland Puzolánico Yura IP - Alta Durabilidad. *Ficha Técnica*. Arequipa, Arequipa, Perú.

Center for SDIs and Land Administration. (2011). *Adaptive Management*. Obtenido de Sustainable Infrastructure Systems Course Structure:
http://www.csdila.unimelb.edu.au/sis/Infrastructure_Theories/Adaptive_Management.html

Center for SDIs and Land Administration. (2011). *Public Good Theory*. Obtenido de Sustainable Infrastructure Systems Course Structure:
http://www.csdila.unimelb.edu.au/sis/Public_Policy_Theories/Public_Good_Theory.html

Center for SDIs and Land Administration. (2011). *Risk Management*. Obtenido de Sustainable Infrastructure Systems Course Structure:
http://www.csdila.unimelb.edu.au/sis/Infrastructure_Theories/Risk_Management.html

Center for SDIs and Land Administration, University of Melbourne. (2011). *Ecostrategy Wheel*. Obtenido de Sustainable Infrastructure Systems Course Structure:
http://www.csdila.unimelb.edu.au/sis/Infrastructure_Theories/Ecostrategy_Wheel.html

Center for SDIs and Land Administration, University of Melbourne. (2011). *Stakeholder Analysis*. Obtenido de Sustainable Infrastructure Systems Course Structure:
http://www.csdila.unimelb.edu.au/sis/Public_Policy_Theories/Stakeholder_Analysis.html

Center for SDIs and Land Administration, University of Melbourne. (2011). *Sustainable Infrastructure Systems Course Structure*. Retrieved from Sustainable

Infrastructure Systems Course Structure:

<http://www.csdila.unimelb.edu.au/sis/home.html>

- Chandra, S., & Berntsson, L. (2003). *Lightweight aggregate concrete: science, technology. and applications*. Norwich, Nueva Jersey, EE.UU.: Noyes Publications.
- Chollet, F. (2017). *Predict house prices: regression*. Obtenido de TensorFlow: https://www.tensorflow.org/tutorials/keras/basic_regression
- Comité ACI 318. (Enero de 2015). Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318S-14) y comentario (ACI 318SR-14): (Versión en español y en sistema métrico SI). Michigan, EE.UU.: American Concrete Institute.
- Downey, A. (2015). *Think Python: How to Think Like a Computer Scientist* (Segunda ed.). Needham, Massachusetts, EE.UU.: O'Reilly.
- Elizondo Fócil, A. (Febrero de 2006). Caracterización del Concreto Celular Elaborado con Espuma Preformada. *Tesis de Maestría*. Monterrey, Nuevo León, México: Tecnológico de Monterrey.
- Géron, A. (2017). *Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn & TensorFlow: Concepts, Tools, and Techniques to Build Intelligent Systems*. (N. Tache, Ed.) Sebastopol, California, EE.UU.: O'Reilly.
- Hawken, P., Lovins, A. B., & Lovins, L. (1999). *Natural capitalism: creating the next industrial revolution*. Boston: Little, Brown and Co.
- INDECOPI. (31 de Mayo de 2001). AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. *NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.012*. Lima, Perú.
- INDECOPI. (16 de Mayo de 2002). AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 um (N° 200) por lavado de agregados. *NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.018*. Lima, Perú.
- INDECOPI. (30 de Enero de 2002). AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de

tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Angeles.

NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.019. Lima, Perú.

INDECOPI. (16 de Mayo de 2002). AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso. *NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.021*. Perú.

INDECOPI. (16 de Febrero de 2006). HORMIGÓN (CONCRETO). Definiciones y terminología relativas al hormigón y agregados. *NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.047*. Lima, Perú.

INDECOPI. (2008). HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas. *NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.034*. Lima, Perú.

INDECOPI. (03 de Setiembre de 2008). HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto). *NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.046*. Lima, Perú.

INDECOPI. (23 de Diciembre de 2009). HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland. *NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.035*. Lima, Perú.

INDECOPI. (02 de Febrero de 2011). AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados. *Norma Técnica Peruana NTP 400.017*. Lima, Perú.

INDECOPI. (26 de Diciembre de 2013). AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. *NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.022*. Lima, Perú.

INDECOPI. (30 de Diciembre de 2014). AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón (concreto). *NORMA TECNICA PERUANA NTP 400.037*. Lima, Perú.

Kuhlman, D. (2013). *A Python Book: Beginning Python, Advanced Python, and Python Exercises* (1.3a ed.).

- Lara Galindo, J. C. (1988). Proyecto de Investigación en Albañilería "Ensayos de Albañilería en Sillar". Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Malano, H. (2015). Infrastructure and Public Policies. *Sustainable Infrastructure Engineering*. Melbourne, Australia: University of Melbourne.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2009). E.060 Concreto Armado. *Norma Técnica de Edificación*. Lima, Perú.
- Neville, A. M., & Brooks, J. J. (2010). *Concrete Technology*. Harlow, Essex, Inglaterra: Pretince Hall.
- ONG "Centro de Investigación, Educación y Desarrollo". (2012). *Características Físicas de las Canteras de Sillar*. Arequipa.
- Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., . . . Duchesnay, É. (2011). Scikit-learn: Machine Learning in Python. (M. Braun, Ed.) *Journal of Machine Learning Research*(12), 2825-2830.
- Python Programming. (10 de Abril de 2016). *Practical Machine Learning Tutorial with Python Introduction*. Obtenido de Data Analysis:
<https://pythonprogramming.net/machine-learning-tutorial-python-introduction/>
- Rivva López, E. (2015). *Diseño de Mezclas* (Tercera ed.). Lima, Perú.
- Simon, M. J. (2003). *Concrete Mixture Optimization Using Statistical Methods: Final Report*. FHWA Office of Infrastructure Research and Development, Virginia.
- Tandon School of Engineering, NYU. (2018). *Urban Infrastructure Systems, MS*. Obtenido de Tandon School of Engineering Academics:
<https://engineering.nyu.edu/academics/programs/urban-infrastructure-systems-ms>
- The Global Development Research Center. (s.f.). *Natural Capital: Sustainability Concepts*. Obtenido de Sustainability Concepts:
<https://www.gdrc.org/sustdev/concepts/26-nat-capital.html>
- Tupa Ortiz, A. M. (2018). Concreto Estructural Liviano con Escoria y Ceniza Volcánicas del Distrito de Yura. *Tesis de Grado*. Arequipa, Perú: Universidad Nacional de San Agustín.

van Bueren, E. (01 de Diciembre de 2014). *Environmental policy: Encyclopaedia Britannica*. Obtenido de Encyclopaedia Britannica.:

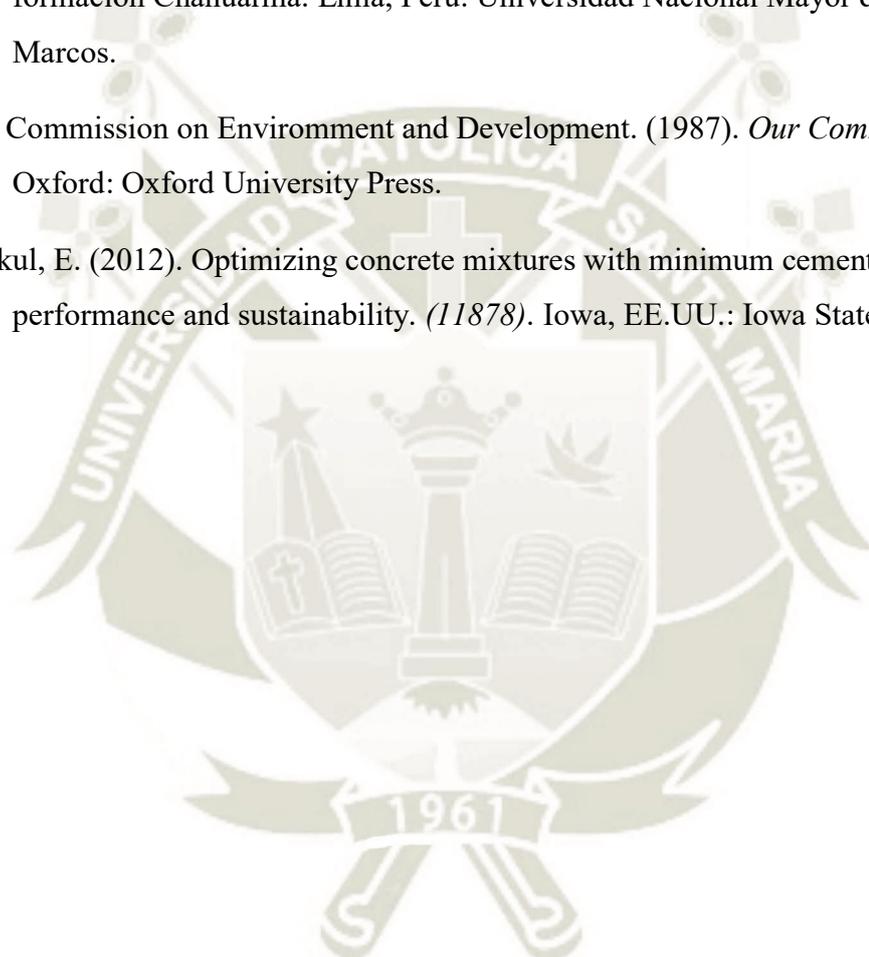
<https://www.britannica.com/topic/environmental-policy>

van Rossum, G. (13 de Enero de 2003). The Making of Python: A Conversation with Guido van Rossum, Part I. (B. Venners, Entrevistador)

Vásquez Flores, R. D. (2003). Análisis textual y petrográfico de las ignimbritas de la formación Chahuarma. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

World Commission on Environment and Development. (1987). *Our Common Future*. Oxford: Oxford University Press.

Yurdakul, E. (2012). Optimizing concrete mixtures with minimum cement content for performance and sustainability. (11878). Iowa, EE.UU.: Iowa State University.



ANEXOS

1. Tabla de Roturas Alpha

Tabla 218: Tabla de Roturas con Ignimbrita del Punto Alpha

DISEÑO MPA	MUESTREO	PROBETA	DIAS	CEMENTO_F KG	IGNIMBRITA_F KG	ARENA_F KG	AGUA_F L	T1 MM	T2 MM	F1 MM	F2 MM	D PROM MM2	H1 MM	H2 MM	ALTURA CM	PESO KGF	CARGA KGF	AREA CM2	VOLUMEN CM3	PESO U. KGF/M3	F'C MPA	A/C	Af/At
20.59	ALPHA	1	7	332.31	633.09	422.06	422.15	107.50	104.00	102.00	101.50	103.75	209.50	205.25	20.74	2.712	2526	84.5	1753.2	1546.9	2.9	0.65	0.40
20.59	ALPHA	2	7	332.31	633.09	422.06	422.15	100.75	104.50	101.50	101.75	102.13	205.00	205.25	20.51	2.731	2295	81.9	1680.2	1625.4	2.7	0.65	0.40
20.59	ALPHA	3	7	332.31	633.09	422.06	422.15	112.50	107.00	101.25	102.00	105.69	208.25	207.75	20.50	2.726	2431	87.7	1798.4	1515.8	2.7	0.65	0.40
20.59	ALPHA	4	14	332.31	633.09	422.06	422.15	102.00	102.50	101.25	101.25	101.75	205.25	204.25	20.48	2.639	3458	81.3	1664.9	1584.9	4.2	0.65	0.40
20.59	ALPHA	5	14	332.31	633.09	422.06	422.15	101.75	102.25	102.50	101.75	102.06	205.00	205.25	20.51	2.620	3804	81.8	1678.2	1561.2	4.6	0.65	0.40
20.59	ALPHA	6	14	332.31	633.09	422.06	422.15	102.75	101.50	101.75	101.50	101.88	205.00	205.00	20.50	2.650	3640	81.5	1671.0	1586.1	4.4	0.65	0.40
20.59	ALPHA	7	21	332.31	633.09	422.06	422.15	101.75	102.25	101.00	102.00	101.75	207.00	208.00	20.75	2.838	2503	81.3	1687.2	1682.2	3.0	0.65	0.40
20.59	ALPHA	8	21	332.31	633.09	422.06	422.15	102.75	101.50	101.50	101.50	101.81	208.25	204.75	20.65	2.840	2588	81.4	1681.2	1689.1	3.1	0.65	0.40
20.59	ALPHA	9	20	332.31	633.09	422.06	422.15	101.50	102.00	101.00	101.75	101.56	204.50	203.25	20.39	2.801	2900	81.0	1651.7	1695.8	3.5	0.65	0.40
20.59	ALPHA	10	29	332.31	633.09	422.06	422.15	102.00	101.75	101.00	101.50	101.56	208.25	208.00	20.81	2.794	3151	81.0	1686.1	1657.3	3.8	0.65	0.40
20.59	ALPHA	11	28	332.31	633.09	422.06	422.15	101.75	101.50	100.75	101.25	101.31	204.00	203.75	20.39	2.657	3730	80.6	1643.5	1616.3	4.5	0.65	0.40
20.59	ALPHA	12	28	332.31	633.09	422.06	422.15	101.25	100.50	100.75	100.25	100.69	203.50	206.00	20.48	2.633	3336	79.6	1630.3	1614.9	4.1	0.65	0.40
20.59	ALPHA	1	7	339.19	571.66	571.66	387.76	104.00	102.75	101.75	105.50	103.50	208.25	211.25	20.98	2.858	3316	84.1	1764.7	1619.5	3.9	0.60	0.50
20.59	ALPHA	2	7	339.19	571.66	571.66	387.76	101.50	103.25	101.50	102.00	102.06	205.00	204.50	20.48	2.867	4313	81.8	1675.1	1711.5	5.2	0.60	0.50
20.59	ALPHA	3	6	339.19	571.66	571.66	387.76	102.25	102.00	101.00	102.00	101.81	200.25	200.50	20.04	2.636	3021	81.4	1631.3	1615.9	3.6	0.60	0.50
20.59	ALPHA	4	14	339.19	571.66	571.66	387.76	102.75	102.75	102.25	102.00	102.44	203.50	203.00	20.33	2.766	3986	82.4	1675.1	1651.3	4.7	0.60	0.50
20.59	ALPHA	5	14	339.19	571.66	571.66	387.76	101.75	102.00	102.00	101.75	101.88	204.00	204.75	20.44	2.706	3934	81.5	1665.9	1624.4	4.7	0.60	0.50
20.59	ALPHA	6	14	339.19	571.66	571.66	387.76	101.25	102.75	101.75	102.25	102.00	205.75	205.00	20.54	2.813	4109	81.7	1678.2	1676.2	4.9	0.60	0.50
20.59	ALPHA	7	21	339.19	571.66	571.66	387.76	102.00	103.25	101.75	101.50	102.13	200.50	200.50	20.05	2.864	5492	81.9	1642.4	1743.8	6.6	0.60	0.50
20.59	ALPHA	8	20	339.19	571.66	571.66	387.76	102.75	101.25	101.25	101.50	101.69	203.75	205.00	20.44	2.932	4063	81.2	1659.8	1766.6	4.9	0.60	0.50

20.59	ALPHA	9	20	339.19	571.66	571.66	387.76	101.75	102.00	101.25	101.25	101.56	202.00	203.50	20.28	2.955	4996	81.0	1642.5	1798.9	6.0	0.60	0.50
20.59	ALPHA	10	28	339.19	571.66	571.66	387.76	102.00	106.25	102.00	102.00	103.06	209.75	211.00	21.04	2.895	4809	83.4	1755.0	1649.7	5.7	0.60	0.50
20.59	ALPHA	11	28	339.19	571.66	571.66	387.76	102.00	102.25	101.25	101.50	101.75	207.50	207.50	20.75	2.863	4462	81.3	1687.2	1696.9	5.4	0.60	0.50
20.59	ALPHA	12	28	339.19	571.66	571.66	387.76	100.75	101.00	100.25	100.25	100.56	207.00	206.50	20.68	2.657	4860	79.4	1642.1	1617.8	6.0	0.60	0.50
20.59	ALPHA	1	7	337.56	485.01	727.51	365.43	103.75	101.25	101.25	101.25	101.88	207.00	206.50	20.68	3.010	3930	81.5	1685.3	1786.1	4.7	0.61	0.60
20.59	ALPHA	2	7	337.56	485.01	727.51	365.43	101.75	102.50	101.25	101.00	101.63	204.25	203.25	20.38	3.025	4502	81.1	1652.7	1830.4	5.4	0.61	0.60
20.59	ALPHA	3	7	337.56	485.01	727.51	365.43	101.50	103.00	101.25	102.00	101.94	204.00	207.25	20.56	3.000	5566	81.6	1678.2	1787.7	6.7	0.61	0.60
20.59	ALPHA	4	14	337.56	485.01	727.51	365.43	103.25	103.00	102.25	102.25	102.69	205.00	204.00	20.45	2.940	6121	82.8	1693.6	1736.2	7.2	0.61	0.60
20.59	ALPHA	5	14	337.56	485.01	727.51	365.43	102.75	101.25	101.75	101.75	101.88	206.25	205.00	20.56	2.874	5090	81.5	1676.1	1714.4	6.1	0.61	0.60
20.59	ALPHA	6	14	337.56	485.01	727.51	365.43	101.75	102.75	102.25	102.00	102.19	209.75	203.75	20.68	2.910	5109	82.0	1695.6	1716.2	6.1	0.61	0.60
20.59	ALPHA	7	21	337.56	485.01	727.51	365.43	102.00	101.75	101.50	101.75	101.75	204.00	204.00	20.40	2.846	6283	81.3	1658.8	1715.9	7.6	0.61	0.60
20.59	ALPHA	8	21	337.56	485.01	727.51	365.43	102.00	102.00	101.50	101.50	101.75	203.50	204.00	20.38	2.873	5942	81.3	1656.7	1734.3	7.2	0.61	0.60
20.59	ALPHA	9	21	337.56	485.01	727.51	365.43	102.00	102.50	101.75	101.50	101.94	203.75	204.00	20.39	2.865	6184	81.6	1663.9	1721.9	7.4	0.61	0.60
20.59	ALPHA	10	28	337.56	485.01	727.51	365.43	103.00	102.75	101.50	101.50	102.19	205.75	204.25	20.50	2.921	4303	82.0	1681.3	1737.4	5.1	0.61	0.60
20.59	ALPHA	11	28	337.56	485.01	727.51	365.43	101.75	102.25	100.75	100.50	101.31	206.25	205.50	20.59	2.892	5100	80.6	1659.7	1742.5	6.2	0.61	0.60
20.59	ALPHA	12	28	337.56	485.01	727.51	365.43	102.50	102.75	101.75	101.50	102.13	209.00	209.00	20.90	2.930	6777	81.9	1712.0	1711.5	8.1	0.61	0.60
27.46	ALPHA	1	7	392.73	612.38	408.26	415.41	102.00	101.50	101.50	101.25	101.56	204.75	205.25	20.50	2.848	4186	81.0	1660.8	1714.6	5.1	0.55	0.40
27.46	ALPHA	2	7	392.73	612.38	408.26	415.41	104.50	104.50	102.75	102.50	103.56	210.00	209.00	20.95	2.929	3853	84.2	1764.7	1659.7	4.5	0.55	0.40
27.46	ALPHA	3	7	392.73	612.38	408.26	415.41	101.75	102.00	101.50	102.00	101.81	206.25	205.50	20.59	2.850	3989	81.4	1676.1	1700.6	4.8	0.55	0.40
27.46	ALPHA	4	14	392.73	612.38	408.26	415.41	102.00	102.75	101.50	101.25	101.88	205.00	205.00	20.50	2.835	5124	81.5	1671.0	1696.8	6.2	0.55	0.40
27.46	ALPHA	5	14	392.73	612.38	408.26	415.41	103.00	102.00	101.75	102.25	102.25	202.25	203.50	20.29	2.811	4984	82.1	1665.9	1687.2	6.0	0.55	0.40
27.46	ALPHA	6	14	392.73	612.38	408.26	415.41	102.25	102.75	102.00	102.00	102.25	206.75	203.25	20.50	2.823	4882	82.1	1683.3	1676.7	5.8	0.55	0.40
27.46	ALPHA	7	21	392.73	612.38	408.26	415.41	102.00	102.00	102.00	101.50	101.88	206.25	206.00	20.61	2.871	4179	81.5	1680.2	1708.6	5.0	0.55	0.40
27.46	ALPHA	8	21	392.73	612.38	408.26	415.41	102.50	107.50	104.00	104.50	104.63	205.00	205.25	20.51	3.122	6253	86.0	1763.5	1770.5	7.1	0.55	0.40
27.46	ALPHA	9	21	392.73	612.38	408.26	415.41	102.00	103.25	101.25	101.25	101.94	204.75	205.00	20.49	2.865	4377	81.6	1672.0	1713.5	5.3	0.55	0.40
27.46	ALPHA	10	28	392.73	612.38	408.26	415.41	100.75	101.00	103.50	102.00	101.81	203.00	203.00	20.30	2.942	5162	81.4	1652.7	1780.1	6.2	0.55	0.40
27.46	ALPHA	11	28	392.73	612.38	408.26	415.41	100.75	102.75	101.00	101.00	101.38	203.50	200.75	20.21	2.869	5608	80.7	1631.4	1758.6	6.8	0.55	0.40

27.46	ALPHA	12	28	392.73	612.38	408.26	415.41	102.25	102.00	100.50	100.50	101.31	205.00	200.50	20.28	2.923	5345	80.6	1634.5	1788.3	6.5	0.55	0.40
27.46	ALPHA	1	7	392.73	541.75	541.75	394.15	101.00	105.00	101.25	102.00	102.31	207.00	207.25	20.71	2.936	4014	82.2	1702.9	1724.4	4.8	0.55	0.50
27.46	ALPHA	2	7	392.73	541.75	541.75	394.15	102.00	102.50	102.00	101.00	101.88	202.50	204.00	20.33	2.934	4196	81.5	1656.7	1770.8	5.0	0.55	0.50
27.46	ALPHA	3	7	392.73	541.75	541.75	394.15	102.00	102.50	101.25	101.25	101.75	204.50	203.50	20.40	2.896	4177	81.3	1658.8	1746.1	5.0	0.55	0.50
27.46	ALPHA	4	14	392.73	541.75	541.75	394.15	102.00	102.00	101.75	101.50	101.81	205.50	206.00	20.58	2.902	4591	81.4	1675.1	1732.5	5.5	0.55	0.50
27.46	ALPHA	5	14	392.73	541.75	541.75	394.15	104.50	107.75	103.75	104.00	105.00	206.25	208.25	20.73	3.108	4972	86.6	1794.6	1731.6	5.6	0.55	0.50
27.46	ALPHA	6	14	392.73	541.75	541.75	394.15	104.75	101.50	101.75	102.00	102.50	206.75	206.00	20.64	2.943	5199	82.5	1702.9	1728.3	6.2	0.55	0.50
27.46	ALPHA	7	21	392.73	541.75	541.75	394.15	102.50	102.50	101.50	101.75	102.06	204.75	204.75	20.48	2.923	4898	81.8	1675.1	1745.2	5.9	0.55	0.50
27.46	ALPHA	8	21	392.73	541.75	541.75	394.15	100.50	103.75	101.75	102.00	102.00	205.00	205.25	20.51	2.937	4847	81.7	1676.1	1752.5	5.8	0.55	0.50
27.46	ALPHA	9	21	392.73	541.75	541.75	394.15	101.25	102.25	101.75	101.75	101.75	204.50	206.75	20.56	2.998	4717	81.3	1672.0	1792.9	5.7	0.55	0.50
27.46	ALPHA	10	28	392.73	541.75	541.75	394.15	100.75	101.00	102.50	101.00	101.31	202.25	201.25	20.18	2.856	4816	80.6	1626.4	1756.0	5.9	0.55	0.50
27.46	ALPHA	11	28	392.73	541.75	541.75	394.15	101.25	100.75	101.25	103.00	101.56	201.75	200.25	20.10	2.839	4825	81.0	1628.4	1743.5	5.8	0.55	0.50
27.46	ALPHA	12	28	392.73	541.75	541.75	394.15	101.00	102.50	101.00	102.00	101.63	203.25	205.75	20.45	2.899	4629	81.1	1658.8	1747.7	5.6	0.55	0.50
27.46	ALPHA	1	7	392.73	461.84	692.76	370.10	105.75	104.25	103.25	103.75	104.25	210.00	208.25	20.91	3.175	5419	85.4	1785.0	1778.9	6.2	0.55	0.60
27.46	ALPHA	2	7	392.73	461.84	692.76	370.10	102.00	102.00	101.25	101.50	101.69	202.50	203.75	20.31	2.953	4138	81.2	1649.6	1789.8	5.0	0.55	0.60
27.46	ALPHA	3	7	392.73	461.84	692.76	370.10	101.50	102.50	101.50	101.50	101.75	205.25	205.75	20.55	2.976	4251	81.3	1671.0	1781.1	5.1	0.55	0.60
27.46	ALPHA	4	14	392.73	461.84	692.76	370.10	101.50	101.75	101.25	101.25	101.44	205.00	207.00	20.60	2.998	5138	80.8	1664.8	1800.8	6.2	0.55	0.60
27.46	ALPHA	5	14	392.73	461.84	692.76	370.10	102.00	102.00	102.25	101.25	101.88	204.75	204.50	20.46	2.995	4883	81.5	1668.0	1795.5	5.9	0.55	0.60
27.46	ALPHA	6	14	392.73	461.84	692.76	370.10	102.25	102.50	101.25	101.25	101.81	204.00	203.50	20.38	2.966	5399	81.4	1658.8	1788.1	6.5	0.55	0.60
27.46	ALPHA	7	21	392.73	461.84	692.76	370.10	102.00	102.25	102.25	102.25	102.19	205.25	206.25	20.58	3.031	4989	82.0	1687.4	1796.4	6.0	0.55	0.60
27.46	ALPHA	8	21	392.73	461.84	692.76	370.10	101.75	102.00	102.50	103.00	102.31	207.00	207.50	20.73	3.025	4973	82.2	1703.9	1775.3	5.9	0.55	0.60
27.46	ALPHA	9	21	392.73	461.84	692.76	370.10	103.00	101.25	101.25	101.25	101.69	205.00	206.00	20.55	2.940	6528	81.2	1668.9	1761.6	7.9	0.55	0.60
27.46	ALPHA	10	28	392.73	461.84	692.76	370.10	101.75	103.50	102.00	101.75	102.25	200.50	203.00	20.18	2.964	7198	82.1	1656.6	1789.2	8.6	0.55	0.60
27.46	ALPHA	11	28	392.73	461.84	692.76	370.10	100.75	100.75	102.50	100.75	101.19	201.00	202.50	20.18	2.899	7104	80.4	1622.4	1786.9	8.7	0.55	0.60
27.46	ALPHA	12	28	392.73	461.84	692.76	370.10	100.50	102.50	103.75	102.50	102.31	202.25	203.25	20.28	2.997	6810	82.2	1666.9	1798.0	8.1	0.55	0.60
34.32	ALPHA	1	7	480.00	582.80	388.53	405.77	102.00	102.25	101.25	101.25	101.69	205.00	203.25	20.41	2.895	6465	81.2	1657.8	1746.4	7.8	0.45	0.40
34.32	ALPHA	2	7	480.00	582.80	388.53	405.77	102.25	105.00	101.75	101.75	102.69	203.25	206.50	20.49	2.920	8335	82.8	1696.7	1720.8	9.9	0.45	0.40

34.32	ALPHA	3	7	480.00	582.80	388.53	405.77	103.75	101.50	101.25	101.75	102.06	207.00	206.50	20.68	2.897	9829	81.8	1691.5	1712.7	11.8	0.45	0.40
34.32	ALPHA	4	14	480.00	582.80	388.53	405.77	101.50	103.00	101.25	102.00	101.94	208.25	207.00	20.76	2.938	9055	81.6	1694.5	1733.8	10.9	0.45	0.40
34.32	ALPHA	5	14	480.00	582.80	388.53	405.77	105.50	105.50	104.00	103.25	104.56	212.00	212.25	21.21	3.074	6861	85.9	1821.5	1687.6	7.8	0.45	0.40
34.32	ALPHA	6	14	480.00	582.80	388.53	405.77	101.75	106.25	102.50	102.75	103.31	211.50	209.25	21.04	3.000	7452	83.8	1763.6	1701.2	8.7	0.45	0.40
34.32	ALPHA	7	21	480.00	582.80	388.53	405.77	102.00	102.25	101.75	101.50	101.88	207.00	206.25	20.66	2.931	8294	81.5	1684.3	1740.3	10.0	0.45	0.40
34.32	ALPHA	8	21	480.00	582.80	388.53	405.77	102.50	101.25	101.50	101.75	101.75	205.25	206.00	20.56	2.948	8948	81.3	1672.0	1763.3	10.8	0.45	0.40
34.32	ALPHA	9	21	480.00	582.80	388.53	405.77	101.75	103.00	101.50	101.50	101.94	205.50	205.00	20.53	2.932	8961	81.6	1675.1	1750.0	10.8	0.45	0.40
34.32	ALPHA	10	28	480.00	582.80	388.53	405.77	103.00	101.00	103.00	103.00	102.50	200.75	200.75	20.08	2.894	12017	82.5	1656.5	1747.1	14.3	0.45	0.40
34.32	ALPHA	11	28	480.00	582.80	388.53	405.77	100.75	101.50	102.25	101.50	101.50	201.50	200.50	20.10	2.867	9711	80.9	1626.4	1762.8	11.8	0.45	0.40
34.32	ALPHA	12	28	480.00	582.80	388.53	405.77	103.00	101.00	102.50	102.25	102.19	202.00	201.50	20.18	2.899	11097	82.0	1654.6	1752.1	13.3	0.45	0.40
34.32	ALPHA	1	7	480.00	515.56	515.56	385.54	102.00	103.25	101.75	101.25	102.06	205.75	206.25	20.60	2.963	7587	81.8	1685.3	1758.2	9.1	0.45	0.50
34.32	ALPHA	2	7	480.00	515.56	515.56	385.54	103.00	101.75	101.50	101.25	101.88	203.50	204.50	20.40	2.964	7484	81.5	1662.9	1782.5	9.0	0.45	0.50
34.32	ALPHA	3	7	480.00	515.56	515.56	385.54	105.00	102.75	102.00	101.75	102.88	208.75	210.25	20.95	3.019	7952	83.1	1741.4	1733.8	9.4	0.45	0.50
34.32	ALPHA	4	14	480.00	515.56	515.56	385.54	103.50	103.00	102.25	102.00	102.69	210.00	207.25	20.86	3.035	8470	82.8	1727.8	1756.6	10.0	0.45	0.50
34.32	ALPHA	5	14	480.00	515.56	515.56	385.54	102.00	102.25	101.50	101.25	101.75	205.50	206.00	20.58	2.977	7855	81.3	1673.0	1779.6	9.5	0.45	0.50
34.32	ALPHA	6	14	480.00	515.56	515.56	385.54	102.25	102.00	101.75	101.50	101.88	204.50	205.00	20.48	2.909	9131	81.5	1669.0	1743.2	11.0	0.45	0.50
34.32	ALPHA	7	21	480.00	515.56	515.56	385.54	102.50	101.75	102.50	102.00	102.19	206.00	207.25	20.66	3.010	9495	82.0	1694.6	1776.3	11.4	0.45	0.50
34.32	ALPHA	8	21	480.00	515.56	515.56	385.54	102.00	102.75	103.00	103.00	102.69	207.00	207.75	20.74	2.989	10803	82.8	1717.4	1740.4	12.8	0.45	0.50
34.32	ALPHA	9	21	480.00	515.56	515.56	385.54	103.00	103.50	103.00	103.50	103.25	210.00	206.75	20.84	3.140	10166	83.7	1744.7	1799.6	11.9	0.45	0.50
34.32	ALPHA	10	28	480.00	515.56	515.56	385.54	101.25	102.25	102.75	102.25	102.13	206.00	204.50	20.53	2.983	12383	81.9	1681.3	1774.3	14.8	0.45	0.50
34.32	ALPHA	11	28	480.00	515.56	515.56	385.54	101.75	103.50	103.75	101.75	102.69	203.25	201.50	20.24	2.899	11264	82.8	1676.0	1729.7	13.3	0.45	0.50
34.32	ALPHA	12	28	480.00	515.56	515.56	385.54	101.75	103.00	103.25	103.25	102.81	202.50	200.25	20.14	2.906	11554	83.0	1671.8	1738.2	13.6	0.45	0.50
34.32	ALPHA	1	7	480.00	439.53	659.29	362.65	102.00	101.75	101.25	101.75	101.69	206.50	205.50	20.60	3.022	8652	81.2	1673.0	1806.5	10.4	0.45	0.60
34.32	ALPHA	2	7	480.00	439.53	659.29	362.65	102.25	101.00	101.75	101.25	101.56	205.25	207.50	20.64	3.052	8853	81.0	1671.9	1825.5	10.7	0.45	0.60
34.32	ALPHA	3	7	480.00	439.53	659.29	362.65	101.00	103.00	101.50	101.50	101.75	206.25	205.75	20.60	3.040	7166	81.3	1675.0	1814.6	8.6	0.45	0.60
34.32	ALPHA	4	14	480.00	439.53	659.29	362.65	102.50	101.75	101.25	102.00	101.88	205.25	207.50	20.64	3.072	6969	81.5	1682.2	1826.4	8.4	0.45	0.60
34.32	ALPHA	5	14	480.00	439.53	659.29	362.65	102.25	101.75	101.50	101.50	101.75	207.00	207.00	20.70	3.098	8552	81.3	1683.2	1840.3	10.3	0.45	0.60

34.32	ALPHA	6	14	480.00	439.53	659.29	362.65	102.00	101.75	101.50	101.50	101.69	204.00	207.00	20.55	3.072	9019	81.2	1668.9	1840.4	10.9	0.45	0.60
34.32	ALPHA	7	21	480.00	439.53	659.29	362.65	102.00	102.00	101.25	101.00	101.56	208.00	206.25	20.71	3.134	8632	81.0	1678.0	1867.5	10.4	0.45	0.60
34.32	ALPHA	8	21	480.00	439.53	659.29	362.65	102.00	102.75	101.50	101.75	102.00	204.25	204.50	20.44	3.099	9024	81.7	1670.0	1855.7	10.8	0.45	0.60
34.32	ALPHA	9	21	480.00	439.53	659.29	362.65	101.75	102.25	101.25	101.00	101.56	204.75	206.50	20.56	3.105	8682	81.0	1665.8	1863.9	10.5	0.45	0.60
34.32	ALPHA	10	28	480.00	439.53	659.29	362.65	102.50	101.50	101.75	102.00	101.94	202.00	205.25	20.36	3.044	10694	81.6	1661.8	1831.7	12.8	0.45	0.60
34.32	ALPHA	11	28	480.00	439.53	659.29	362.65	102.50	100.75	103.00	101.50	101.94	205.25	201.50	20.34	3.026	10483	81.6	1659.8	1823.1	12.6	0.45	0.60
34.32	ALPHA	12	28	480.00	439.53	659.29	362.65	100.50	100.75	103.00	101.50	101.44	205.25	205.50	20.54	3.035	9298	80.8	1659.7	1828.6	11.3	0.45	0.60

Fuente: Elaboración Propia

2. Tabla de Roturas Bravo

Tabla 219: Tabla de Roturas con Ignimbrita del Punto Bravo

DISEÑO MPA	MUESTREO	PROBETA	DIAS	CEMENTO_F KG	IGNIMBRITA_F KG	ARENA_F KG	AGUA_F L	T1 MM	T2 MM	F1 MM	F2 MM	D PROM MM2	H1 MM	H2 MM	ALTURA CM	PESO KGF	CARGA KGF	AREA CM2	VOLUMEN CM3	PESO U. KGF/M3	F'C MPA	A/C	Af/At
20.59	BRAVO	1	7	332.31	625.34	416.89	426.92	101.75	102.00	101.50	101.50	101.69	204.50	205.25	20.49	2.581	3654	81.2	1663.8	1551.2	4.4	0.65	0.40
20.59	BRAVO	2	7	332.31	625.34	416.89	426.92	101.75	102.50	101.50	101.75	101.88	201.75	205.50	20.36	2.624	3752	81.5	1659.8	1580.9	4.5	0.65	0.40
20.59	BRAVO	3	7	332.31	625.34	416.89	426.92	101.25	103.50	101.00	101.50	101.81	203.75	202.75	20.33	2.633	4166	81.4	1654.7	1591.2	5.0	0.65	0.40
20.59	BRAVO	4	14	332.31	625.34	416.89	426.92	101.00	102.75	101.75	102.00	101.88	202.25	206.00	20.41	2.576	3754	81.5	1663.9	1548.2	4.5	0.65	0.40
20.59	BRAVO	5	14	332.31	625.34	416.89	426.92	102.75	102.00	102.00	101.75	102.13	205.50	205.25	20.54	2.539	4000	81.9	1682.3	1509.2	4.8	0.65	0.40
n20.59	BRAVO	6	14	332.31	625.34	416.89	426.92	101.75	102.00	101.75	101.75	101.81	205.25	204.50	20.49	2.466	3738	81.4	1667.9	1478.5	4.5	0.65	0.40
20.59	BRAVO	7	21	332.31	625.34	416.89	426.92	104.25	102.00	102.00	103.00	102.81	206.75	206.50	20.66	2.561	3589	83.0	1715.4	1492.7	4.2	0.65	0.40
20.59	BRAVO	8	21	332.31	625.34	416.89	426.92	103.75	103.50	101.75	102.50	102.88	205.25	205.00	20.51	2.614	4636	83.1	1705.0	1532.9	5.5	0.65	0.40
20.59	BRAVO	9	21	332.31	625.34	416.89	426.92	102.25	101.75	101.50	101.00	101.63	202.00	202.25	20.21	2.543	4636	81.1	1639.5	1550.8	5.6	0.65	0.40
20.59	BRAVO	10	28	332.31	625.34	416.89	426.92	102.75	102.00	102.00	101.75	102.13	203.00	205.00	20.40	2.531	3845	81.9	1671.0	1514.6	4.6	0.65	0.40
20.59	BRAVO	11	28	332.31	625.34	416.89	426.92	101.25	103.50	101.00	101.50	101.81	202.00	204.00	20.30	2.620	4260	81.4	1652.7	1585.3	5.1	0.65	0.40
20.59	BRAVO	12	28	332.31	625.34	416.89	426.92	104.25	102.00	102.00	103.00	102.81	203.75	206.00	20.49	2.433	4643	83.0	1700.9	1430.4	5.5	0.65	0.40
20.59	BRAVO	1	7	332.31	553.99	553.99	404.63	102.00	102.00	101.25	101.50	101.69	204.00	204.25	20.41	2.649	3913	81.2	1657.8	1597.9	4.7	0.65	0.50

20.59	BRAVO	2	7	332.31	553.99	553.99	404.63	101.25	102.50	101.25	101.50	101.63	205.75	204.25	20.50	2.568	3722	81.1	1662.8	1544.4	4.5	0.65	0.50
20.59	BRAVO	3	7	332.31	553.99	553.99	404.63	102.25	101.75	101.50	102.00	101.88	204.25	201.50	20.29	2.609	4292	81.5	1653.7	1577.7	5.2	0.65	0.50
20.59	BRAVO	4	14	332.31	553.99	553.99	404.63	101.50	102.00	101.25	101.75	101.63	204.25	203.50	20.39	2.679	5162	81.1	1653.7	1620.0	6.2	0.65	0.50
20.59	BRAVO	5	14	332.31	553.99	553.99	404.63	102.00	101.75	101.25	101.75	101.69	204.75	205.25	20.50	2.634	4554	81.2	1664.9	1582.1	5.5	0.65	0.50
20.59	BRAVO	6	14	332.31	553.99	553.99	404.63	102.75	101.25	102.00	105.00	102.75	204.50	203.25	20.39	2.639	4315	82.9	1690.5	1561.1	5.1	0.65	0.50
20.59	BRAVO	7	21	332.31	553.99	553.99	404.63	102.25	101.75	101.50	101.25	101.69	202.00	203.50	20.28	2.633	4615	81.2	1646.6	1598.8	5.6	0.65	0.50
20.59	BRAVO	8	21	332.31	553.99	553.99	404.63	102.75	101.00	101.75	101.25	101.69	200.00	200.00	20.00	2.689	5428	81.2	1624.3	1655.3	6.6	0.65	0.50
20.59	BRAVO	9	21	332.31	553.99	553.99	404.63	101.25	103.25	101.50	101.50	101.88	203.25	204.25	20.38	2.680	4880	81.5	1660.8	1613.4	5.9	0.65	0.50
20.59	BRAVO	10	28	332.31	553.99	553.99	404.63	101.75	101.50	101.50	101.25	101.50	201.50	202.25	20.19	2.670	4184	80.9	1633.4	1634.6	5.1	0.65	0.50
20.59	BRAVO	11	28	332.31	553.99	553.99	404.63	101.00	102.00	101.50	101.25	101.44	204.25	205.50	20.49	2.634	4263	80.8	1655.7	1590.9	5.2	0.65	0.50
20.59	BRAVO	12	28	332.31	553.99	553.99	404.63	103.25	102.75	102.00	102.00	102.50	206.00	206.00	20.60	2.560	4383	82.5	1699.8	1506.0	5.2	0.65	0.50
20.59	BRAVO	1	7	332.31	473.03	709.55	379.35	104.00	106.00	103.25	103.50	104.19	205.00	207.00	20.60	2.893	5053	85.3	1756.3	1647.3	5.8	0.65	0.60
20.59	BRAVO	2	7	332.31	473.03	709.55	379.35	111.00	101.25	103.25	104.00	104.88	211.00	208.50	20.98	2.941	4912	86.4	1811.9	1623.2	5.6	0.65	0.60
20.59	BRAVO	3	7	332.31	473.03	709.55	379.35	101.50	102.25	101.25	101.50	101.63	201.25	204.00	20.26	2.723	5000	81.1	1643.6	1656.8	6.0	0.65	0.60
20.59	BRAVO	4	14	332.31	473.03	709.55	379.35	102.75	102.75	102.00	101.75	102.31	200.25	200.00	20.01	2.716	4989	82.2	1645.3	1650.7	6.0	0.65	0.60
20.59	BRAVO	5	14	332.31	473.03	709.55	379.35	101.75	101.25	101.25	101.00	101.31	203.00	202.25	20.26	2.745	5053	80.6	1633.5	1680.5	6.1	0.65	0.60
20.59	BRAVO	6	14	332.31	473.03	709.55	379.35	101.25	102.50	101.50	102.00	101.81	204.25	203.50	20.39	2.681	5165	81.4	1659.8	1615.3	6.2	0.65	0.60
20.59	BRAVO	7	21	332.31	473.03	709.55	379.35	102.00	102.25	101.50	101.25	101.75	203.75	204.00	20.39	2.737	4590	81.3	1657.8	1651.1	5.5	0.65	0.60
20.59	BRAVO	8	21	332.31	473.03	709.55	379.35	101.00	103.00	101.75	102.00	101.94	203.00	203.50	20.33	2.830	6938	81.6	1658.8	1705.8	8.3	0.65	0.60
20.59	BRAVO	9	21	332.31	473.03	709.55	379.35	101.75	102.50	101.50	101.25	101.75	200.25	202.00	20.11	2.750	5379	81.3	1635.4	1681.8	6.5	0.65	0.60
20.59	BRAVO	10	28	332.31	473.03	709.55	379.35	102.00	101.25	102.50	103.25	102.25	204.50	204.50	20.45	2.760	5085	82.1	1679.2	1643.6	6.1	0.65	0.60
20.59	BRAVO	11	28	332.31	473.03	709.55	379.35	102.75	102.00	102.25	101.25	102.06	204.75	204.00	20.44	2.803	5700	81.8	1672.1	1676.4	6.8	0.65	0.60
20.59	BRAVO	12	28	332.31	473.03	709.55	379.35	102.75	101.25	103.00	102.00	102.25	204.00	204.25	20.41	2.714	4447	82.1	1676.1	1619.2	5.3	0.65	0.60
27.46	BRAVO	1	7	392.73	604.89	403.26	420.02	103.25	102.00	102.00	101.75	102.25	205.50	205.75	20.56	2.846	4025	82.1	1688.5	1685.5	4.8	0.55	0.40
27.46	BRAVO	2	7	392.73	604.89	403.26	420.02	103.50	105.00	102.50	103.00	103.50	207.50	207.00	20.73	2.930	4656	84.1	1743.7	1680.4	5.4	0.55	0.40
27.46	BRAVO	3	7	392.73	604.89	403.26	420.02	102.50	107.50	104.50	104.00	104.63	207.25	202.25	20.48	3.040	4716	86.0	1760.3	1727.2	5.4	0.55	0.40
27.46	BRAVO	4	14	392.73	604.89	403.26	420.02	102.00	102.50	101.25	101.50	101.81	204.75	203.75	20.43	2.836	4166	81.4	1662.9	1705.3	5.0	0.55	0.40

27.46	BRAVO	5	14	392.73	604.89	403.26	420.02	101.50	103.00	101.25	101.50	101.81	206.50	204.75	20.56	2.850	5437	81.4	1674.0	1702.4	6.5	0.55	0.40
27.46	BRAVO	6	14	392.73	604.89	403.26	420.02	102.75	102.25	102.00	101.00	102.00	204.25	205.50	20.49	2.855	4127	81.7	1674.1	1705.1	5.0	0.55	0.40
27.46	BRAVO	7	21	392.73	604.89	403.26	420.02	104.00	104.25	102.25	102.50	103.25	207.25	207.25	20.73	2.969	5840	83.7	1735.3	1711.1	6.8	0.55	0.40
27.46	BRAVO	8	21	392.73	604.89	403.26	420.02	102.00	102.75	101.50	101.25	101.88	207.00	208.00	20.75	2.916	4685	81.5	1691.4	1723.8	5.6	0.55	0.40
27.46	BRAVO	9	21	392.73	604.89	403.26	420.02	103.00	101.75	101.50	101.50	101.94	206.75	205.50	20.61	2.900	4635	81.6	1682.2	1723.9	5.6	0.55	0.40
27.46	BRAVO	10	28	392.73	604.89	403.26	420.02	104.50	103.00	101.50	102.00	102.75	207.00	206.50	20.68	2.914	6008	82.9	1714.3	1699.8	7.1	0.55	0.40
27.46	BRAVO	11	28	392.73	604.89	403.26	420.02	101.25	102.25	101.50	101.50	101.63	202.25	204.25	20.33	2.850	4765	81.1	1648.6	1728.7	5.8	0.55	0.40
27.46	BRAVO	12	28	392.73	604.89	403.26	420.02	101.25	104.25	101.00	102.75	102.31	203.75	207.25	20.55	2.955	4895	82.2	1689.5	1749.0	5.8	0.55	0.40
27.46	BRAVO	1	7	392.73	535.87	535.87	398.46	101.50	103.25	101.50	102.00	102.06	204.75	205.00	20.49	2.908	4654	81.8	1676.1	1735.1	5.6	0.55	0.50
27.46	BRAVO	2	7	392.73	535.87	535.87	398.46	101.75	102.00	101.50	101.00	101.56	203.00	204.50	20.38	2.894	4610	81.0	1650.6	1752.9	5.6	0.55	0.50
27.46	BRAVO	3	7	392.73	535.87	535.87	398.46	102.00	102.00	101.50	101.50	101.75	204.25	204.25	20.43	2.905	4527	81.3	1660.8	1749.1	5.5	0.55	0.50
27.46	BRAVO	4	14	392.73	535.87	535.87	398.46	105.75	107.25	103.75	105.00	105.44	210.25	210.25	21.03	3.149	5550	87.3	1835.8	1715.5	6.2	0.55	0.50
27.46	BRAVO	5	14	392.73	535.87	535.87	398.46	101.75	102.00	102.00	102.75	102.13	206.75	207.75	20.73	2.961	5525	81.9	1697.7	1744.3	6.6	0.55	0.50
27.46	BRAVO	6	14	392.73	535.87	535.87	398.46	103.00	102.00	101.25	101.00	101.81	206.00	205.25	20.56	2.970	5000	81.4	1674.0	1774.4	6.0	0.55	0.50
27.46	BRAVO	7	21	392.73	535.87	535.87	398.46	101.75	102.25	101.25	101.50	101.69	206.25	205.50	20.59	2.960	4989	81.2	1672.0	1770.4	6.0	0.55	0.50
27.46	BRAVO	8	21	392.73	535.87	535.87	398.46	102.00	102.50	101.50	101.25	101.81	204.75	204.75	20.48	2.978	4686	81.4	1666.9	1786.5	5.6	0.55	0.50
27.46	BRAVO	9	21	392.73	535.87	535.87	398.46	101.75	102.00	101.75	102.00	101.88	206.75	206.25	20.65	3.008	4723	81.5	1683.2	1787.3	5.7	0.55	0.50
27.46	BRAVO	10	28	392.73	535.87	535.87	398.46	102.00	101.00	101.50	103.75	102.06	210.25	210.25	21.03	3.005	4747	81.8	1720.1	1747.0	5.7	0.55	0.50
27.46	BRAVO	11	28	392.73	535.87	535.87	398.46	107.25	101.50	101.75	102.00	103.13	205.50	204.25	20.49	2.955	4784	83.5	1711.2	1726.8	5.6	0.55	0.50
27.46	BRAVO	12	28	392.73	535.87	535.87	398.46	102.00	105.00	102.00	101.25	102.56	206.75	205.25	20.60	2.987	4944	82.6	1701.9	1755.1	5.9	0.55	0.50
27.46	BRAVO	1	7	392.73	457.56	686.34	374.01	102.00	102.25	101.75	101.50	101.88	205.00	202.75	20.39	2.971	5081	81.5	1661.8	1787.8	6.1	0.55	0.60
27.46	BRAVO	2	7	392.73	457.56	686.34	374.01	101.50	102.75	101.50	101.50	101.81	204.75	204.00	20.44	2.964	5263	81.4	1663.9	1781.6	6.3	0.55	0.60
27.46	BRAVO	3	7	392.73	457.56	686.34	374.01	101.50	102.00	101.25	101.25	101.50	204.25	205.00	20.46	2.975	4809	80.9	1655.7	1796.5	5.8	0.55	0.60
27.46	BRAVO	4	14	392.73	457.56	686.34	374.01	102.50	101.00	101.25	101.25	101.50	204.25	203.75	20.40	3.021	5568	80.9	1650.6	1830.0	6.7	0.55	0.60
27.46	BRAVO	5	14	392.73	457.56	686.34	374.01	102.00	102.50	101.50	101.75	101.94	206.25	208.00	20.71	3.785	6839	81.6	1690.4	2239.1	8.2	0.55	0.60
27.46	BRAVO	6	14	392.73	457.56	686.34	374.01	101.75	102.00	101.00	102.00	101.69	204.75	204.25	20.45	3.014	5655	81.2	1660.8	1814.7	6.8	0.55	0.60
27.46	BRAVO	7	21	392.73	457.56	686.34	374.01	101.25	103.25	101.50	102.00	102.00	206.25	207.25	20.68	3.075	5676	81.7	1689.4	1820.1	6.8	0.55	0.60

27.46	BRAVO	8	21	392.73	457.56	686.34	374.01	101.75	102.25	101.50	101.25	101.69	204.00	205.75	20.49	3.036	4756	81.2	1663.8	1824.7	5.7	0.55	0.60
27.46	BRAVO	9	21	392.73	457.56	686.34	374.01	102.25	102.25	101.50	101.50	101.88	206.25	207.25	20.68	3.082	5190	81.5	1685.3	1828.6	6.2	0.55	0.60
27.46	BRAVO	10	28	392.73	457.56	686.34	374.01	101.25	102.00	102.75	102.00	102.00	204.00	205.75	20.49	2.985	6487	81.7	1674.1	1783.1	7.8	0.55	0.60
27.46	BRAVO	11	28	392.73	457.56	686.34	374.01	101.50	101.75	102.00	101.25	101.63	204.75	204.00	20.44	2.996	4805	81.1	1657.7	1807.3	5.8	0.55	0.60
27.46	BRAVO	12	28	392.73	457.56	686.34	374.01	103.25	101.50	101.00	101.75	101.88	204.75	204.25	20.45	3.034	5160	81.5	1666.9	1820.1	6.2	0.55	0.60
34.32	BRAVO	1	7	480.00	575.66	383.78	410.16	102.00	102.75	101.50	102.00	102.06	203.25	205.25	20.43	2.872	5592	81.8	1671.0	1718.4	6.7	0.45	0.40
34.32	BRAVO	2	7	480.00	575.66	383.78	410.16	103.75	104.75	103.00	103.00	103.63	207.00	208.75	20.79	3.008	6196	84.3	1753.2	1715.8	7.2	0.45	0.40
34.32	BRAVO	3	7	480.00	575.66	383.78	410.16	102.75	104.25	102.00	102.25	102.81	205.00	205.00	20.50	2.885	5780	83.0	1701.9	1694.9	6.8	0.45	0.40
34.32	BRAVO	4	14	480.00	575.66	383.78	410.16	102.25	103.00	101.75	101.50	102.13	206.25	206.75	20.65	2.911	4802	81.9	1691.5	1721.0	5.7	0.45	0.40
34.32	BRAVO	5	14	480.00	575.66	383.78	410.16	102.00	101.75	101.50	102.00	101.81	203.50	204.00	20.38	2.869	5260	81.4	1658.8	1729.6	6.3	0.45	0.40
34.32	BRAVO	6	14	480.00	575.66	383.78	410.16	101.25	103.00	101.50	101.00	101.69	207.50	205.50	20.65	2.887	4870	81.2	1677.0	1721.4	5.9	0.45	0.40
34.32	BRAVO	7	21	480.00	575.66	383.78	410.16	102.25	104.25	102.50	102.75	102.94	207.00	207.00	20.70	3.016	5945	83.2	1722.7	1750.9	7.0	0.45	0.40
34.32	BRAVO	8	21	480.00	575.66	383.78	410.16	102.00	106.00	102.25	103.00	103.31	209.75	207.75	20.88	3.026	5802	83.8	1749.9	1729.4	6.8	0.45	0.40
34.32	BRAVO	9	21	480.00	575.66	383.78	410.16	103.75	104.00	103.00	102.50	103.31	208.25	210.00	20.91	3.065	6075	83.8	1753.1	1748.5	7.1	0.45	0.40
34.32	BRAVO	10	28	480.00	575.66	383.78	410.16	102.00	101.75	104.25	102.00	102.50	207.50	206.75	20.71	2.865	5295	82.5	1709.1	1676.3	6.3	0.45	0.40
34.32	BRAVO	11	28	480.00	575.66	383.78	410.16	101.25	103.00	103.00	101.75	102.25	207.00	204.00	20.55	3.015	5469	82.1	1687.4	1786.7	6.5	0.45	0.40
34.32	BRAVO	12	28	480.00	575.66	383.78	410.16	102.25	104.25	101.75	101.50	102.44	209.75	205.50	20.76	2.988	5474	82.4	1711.1	1746.2	6.5	0.45	0.40
34.32	BRAVO	1	14	480.00	509.98	509.98	389.65	102.25	103.00	101.25	101.00	101.88	205.00	207.00	20.60	2.721	6772	81.5	1679.2	1620.2	8.1	0.45	0.50
34.32	BRAVO	2	14	480.00	509.98	509.98	389.65	102.75	102.00	102.75	102.00	102.38	205.25	207.00	20.61	2.657	7939	82.3	1696.7	1565.8	9.5	0.45	0.50
34.32	BRAVO	3	14	480.00	509.98	509.98	389.65	102.75	101.75	102.00	101.75	102.06	205.00	206.25	20.56	2.673	7152	81.8	1682.3	1589.1	8.6	0.45	0.50
34.32	BRAVO	4	14	480.00	509.98	509.98	389.65	102.25	102.50	102.00	102.25	102.25	205.00	206.00	20.55	2.946	7190	82.1	1687.4	1745.7	8.6	0.45	0.50
34.32	BRAVO	5	14	480.00	509.98	509.98	389.65	102.25	102.25	101.00	101.25	101.69	206.75	207.00	20.69	2.948	7672	81.2	1680.1	1754.6	9.3	0.45	0.50
34.32	BRAVO	6	14	480.00	509.98	509.98	389.65	102.00	101.75	101.75	102.00	101.88	208.50	206.50	20.75	2.951	8616	81.5	1691.4	1744.8	10.4	0.45	0.50
34.32	BRAVO	7	21	480.00	509.98	509.98	389.65	103.50	100.75	101.50	101.25	101.75	205.00	205.50	20.53	2.979	8237	81.3	1668.9	1784.8	9.9	0.45	0.50
34.32	BRAVO	8	21	480.00	509.98	509.98	389.65	102.00	102.00	101.50	101.50	101.75	205.50	206.75	20.61	2.985	7606	81.3	1676.1	1781.1	9.2	0.45	0.50
34.32	BRAVO	9	21	480.00	509.98	509.98	389.65	102.00	102.00	101.50	101.75	101.81	207.25	206.50	20.69	2.996	9748	81.4	1684.2	1778.9	11.7	0.45	0.50
34.32	BRAVO	10	28	480.00	509.98	509.98	389.65	102.25	101.00	102.75	102.00	102.00	205.00	206.25	20.56	2.854	8044	81.7	1680.2	1698.6	9.7	0.45	0.50

34.32	BRAVO	11	28	480.00	509.98	509.98	389.65	101.75	101.75	102.75	101.75	102.00	206.75	206.00	20.64	2.728	9092	81.7	1686.3	1617.7	10.9	0.45	0.50
34.32	BRAVO	12	28	480.00	509.98	509.98	389.65	100.75	101.50	102.25	102.50	101.75	208.50	207.00	20.78	2.986	9130	81.3	1689.3	1767.6	11.0	0.45	0.50
34.32	BRAVO	1	14	480.00	435.46	653.18	366.37	105.00	105.75	104.25	104.75	104.94	209.50	210.00	20.98	3.034	10803	86.5	1814.1	1672.4	12.2	0.45	0.60
34.32	BRAVO	2	14	480.00	435.46	653.18	366.37	102.25	102.75	102.00	102.25	102.31	204.50	203.50	20.40	2.808	8922	82.2	1677.2	1674.2	10.6	0.45	0.60
34.32	BRAVO	3	14	480.00	435.46	653.18	366.37	102.75	103.00	102.75	102.25	102.69	211.00	210.25	21.06	2.940	9629	82.8	1744.4	1685.6	11.4	0.45	0.60
34.32	BRAVO	4	14	480.00	435.46	653.18	366.37	102.00	102.25	102.25	102.50	102.25	204.00	205.50	20.48	3.471	8737	82.1	1681.3	2064.5	10.4	0.45	0.60
34.32	BRAVO	5	14	480.00	435.46	653.18	366.37	102.25	102.75	102.75	102.75	102.63	209.50	209.00	20.93	3.188	9255	82.7	1730.9	1841.9	11.0	0.45	0.60
34.32	BRAVO	6	14	480.00	435.46	653.18	366.37	101.75	102.00	101.75	102.00	101.88	203.50	203.50	20.35	3.024	9354	81.5	1658.8	1823.3	11.3	0.45	0.60
34.32	BRAVO	7	21	480.00	435.46	653.18	366.37	102.75	108.50	105.00	104.75	105.25	208.75	210.00	20.94	3.317	10377	87.0	1821.6	1821.1	11.7	0.45	0.60
34.32	BRAVO	8	21	480.00	435.46	653.18	366.37	104.25	104.75	103.00	103.75	103.94	210.00	210.25	21.01	3.258	8910	84.8	1782.8	1827.3	10.3	0.45	0.60
34.32	BRAVO	9	21	480.00	435.46	653.18	366.37	104.75	105.00	103.00	103.25	104.00	209.00	209.25	20.91	3.247	9348	84.9	1776.5	1827.9	10.8	0.45	0.60
34.32	BRAVO	10	28	480.00	435.46	653.18	366.37	102.25	102.00	105.00	102.75	103.00	209.00	209.50	20.93	3.025	11815	83.3	1743.5	1735.0	13.9	0.45	0.60
34.32	BRAVO	11	28	480.00	435.46	653.18	366.37	102.75	102.25	103.00	104.25	103.06	203.50	203.50	20.35	3.248	12054	83.4	1697.7	1913.2	14.2	0.45	0.60
34.32	BRAVO	12	28	480.00	435.46	653.18	366.37	101.75	101.75	103.00	104.75	102.81	210.00	208.75	20.94	2.880	11557	83.0	1738.2	1656.9	13.7	0.45	0.60

Fuente: Elaboración Propia

3. Tabla de Roturas Charlie

Tabla 220: Tabla de Roturas con Ignimbrita del Punto Charlie

DISEÑO MPA	MUESTREO	PROBETA	DIAS	CEMENTO_F KG	IGNIMBRITA_F KG	ARENA_F KG	AGUA_F L	T1 MM	T2 MM	F1 MM	F2 MM	D PROM MM2	H1 MM	H2 MM	ALTURA CM	PESO KGF	CARGA KGF	AREA CM2	VOLUMEN CM3	PESO U. KGF/M3	F'C MPA	A/C	Af/At
20.59	CHARLIE	1	7	332.31	629.58	419.72	425.07	102.00	102.75	101.00	102.00	101.94	202.50	204.00	20.33	2.542	3391	81.6	1658.8	1532.5	4.1	0.65	0.40
20.59	CHARLIE	2	7	332.31	629.58	419.72	425.07	102.25	101.75	101.25	101.25	101.63	199.25	200.00	19.96	2.608	4174	81.1	1619.2	1610.7	5.0	0.65	0.40
20.59	CHARLIE	3	7	332.31	629.58	419.72	425.07	102.00	108.00	103.75	104.50	104.56	210.00	208.50	20.93	2.775	3966	85.9	1796.8	1544.4	4.5	0.65	0.40
20.59	CHARLIE	4	14	332.31	629.58	419.72	425.07	102.25	102.75	101.75	102.00	102.19	203.25	203.50	20.34	2.502	5165	82.0	1667.9	1500.0	6.2	0.65	0.40
20.59	CHARLIE	5	14	332.31	629.58	419.72	425.07	102.25	102.75	101.75	102.00	102.19	202.00	202.00	20.20	2.552	4862	82.0	1656.7	1540.1	5.8	0.65	0.40
20.59	CHARLIE	6	14	332.31	629.58	419.72	425.07	102.25	102.00	101.25	101.50	101.75	205.50	206.00	20.58	2.445	2822	81.3	1673.0	1461.4	3.4	0.65	0.40
20.59	CHARLIE	7	21	332.31	629.58	419.72	425.07	104.50	102.75	103.00	102.75	103.25	205.25	205.75	20.55	2.609	4223	83.7	1720.6	1516.3	4.9	0.65	0.40
20.59	CHARLIE	8	21	332.31	629.58	419.72	425.07	102.75	101.25	101.00	101.25	101.56	201.75	201.00	20.14	2.555	3795	81.0	1631.4	1566.3	4.6	0.65	0.40
20.59	CHARLIE	9	21	332.31	629.58	419.72	425.07	102.25	101.50	101.50	101.50	101.69	198.75	198.50	19.86	2.568	3461	81.2	1613.1	1592.2	4.2	0.65	0.40
20.59	CHARLIE	10	28	332.31	629.58	419.72	425.07	102.00	102.75	101.50	101.75	102.00	208.00	209.00	20.85	2.621	3907	81.7	1703.7	1538.4	4.7	0.65	0.40
20.59	CHARLIE	11	28	332.31	629.58	419.72	425.07	102.75	102.25	101.75	101.75	102.13	203.00	204.00	20.35	2.613	4116	81.9	1666.9	1567.5	4.9	0.65	0.40
20.59	CHARLIE	12	28	332.31	629.58	419.72	425.07	101.75	102.00	101.75	101.50	101.75	202.75	202.50	20.26	2.608	4094	81.3	1647.6	1582.9	4.9	0.65	0.40
20.59	CHARLIE	1	8	332.31	557.31	557.31	402.87	105.00	104.75	102.75	102.75	103.81	208.75	207.00	20.79	2.872	2611	84.6	1759.5	1632.3	3.0	0.65	0.50
20.59	CHARLIE	2	8	332.31	557.31	557.31	402.87	101.75	102.25	102.25	102.25	102.13	203.75	205.50	20.46	2.799	2401	81.9	1676.1	1669.9	2.9	0.65	0.50
20.59	CHARLIE	3	8	332.31	557.31	557.31	402.87	102.00	102.25	101.75	102.75	102.19	204.50	206.00	20.53	2.875	2480	82.0	1683.3	1707.9	3.0	0.65	0.50
20.59	CHARLIE	4	14	332.31	557.31	557.31	402.87	106.25	104.75	103.25	103.50	104.44	205.50	206.50	20.60	2.980	3043	85.7	1764.7	1688.4	3.5	0.65	0.50
20.59	CHARLIE	5	14	332.31	557.31	557.31	402.87	102.50	101.50	101.50	101.25	101.69	204.75	207.25	20.60	2.866	2546	81.2	1673.0	1713.2	3.1	0.65	0.50
20.59	CHARLIE	6	14	332.31	557.31	557.31	402.87	102.00	102.25	102.25	101.75	102.06	203.25	203.75	20.35	2.818	2931	81.8	1664.9	1692.4	3.5	0.65	0.50
20.59	CHARLIE	7	21	332.31	557.31	557.31	402.87	102.50	103.00	102.00	102.00	102.38	207.00	204.25	20.56	2.928	3042	82.3	1692.6	1729.8	3.6	0.65	0.50
20.59	CHARLIE	8	21	332.31	557.31	557.31	402.87	102.00	103.00	102.00	102.25	102.31	206.00	204.25	20.51	2.935	3028	82.2	1686.4	1740.6	3.6	0.65	0.50
20.59	CHARLIE	9	21	332.31	557.31	557.31	402.87	102.00	101.75	101.50	101.75	101.75	203.50	204.00	20.38	2.888	2308	81.3	1656.7	1742.9	2.8	0.65	0.50
20.59	CHARLIE	10	28	332.31	557.31	557.31	402.87	102.25	102.25	101.75	101.25	101.88	203.75	204.25	20.40	2.923	2413	81.5	1662.9	1757.8	2.9	0.65	0.50

20.59	CHARLIE	11	28	332.31	557.31	557.31	402.87	102.50	101.50	101.50	101.25	101.69	203.50	203.75	20.36	2.917	3262	81.2	1653.7	1763.9	3.9	0.65	0.50
20.59	CHARLIE	12	28	332.31	557.31	557.31	402.87	102.25	102.50	101.25	101.50	101.88	205.25	206.50	20.59	2.930	3178	81.5	1678.1	1746.0	3.8	0.65	0.50
20.59	CHARLIE	1	14	332.31	475.45	713.18	377.71	102.75	102.00	101.75	102.00	102.13	205.00	204.25	20.46	2.722	4680	81.9	1676.1	1624.1	5.6	0.65	0.60
20.59	CHARLIE	2	14	332.31	475.45	713.18	377.71	101.75	101.75	102.00	102.25	101.94	205.75	204.75	20.53	2.729	3347	81.6	1675.1	1629.0	4.0	0.65	0.60
20.59	CHARLIE	3	14	332.31	475.45	713.18	377.71	102.75	102.25	101.75	102.00	102.19	206.00	207.00	20.65	2.755	4371	82.0	1693.6	1626.6	5.2	0.65	0.60
20.59	CHARLIE	4	14	332.31	475.45	713.18	377.71	102.25	102.75	101.50	101.25	101.94	204.50	204.00	20.43	2.996	4369	81.6	1666.9	1797.4	5.2	0.65	0.60
20.59	CHARLIE	5	14	332.31	475.45	713.18	377.71	102.75	102.50	101.75	101.75	102.19	205.75	206.25	20.60	3.023	4578	82.0	1689.5	1789.0	5.5	0.65	0.60
20.59	CHARLIE	6	14	332.31	475.45	713.18	377.71	102.00	102.75	103.75	102.75	102.81	210.00	210.50	21.03	3.147	4162	83.0	1745.5	1802.6	4.9	0.65	0.60
20.59	CHARLIE	7	21	332.31	475.45	713.18	377.71	102.50	103.00	101.50	102.25	102.31	207.00	206.00	20.65	3.062	4120	82.2	1697.7	1803.6	4.9	0.65	0.60
20.59	CHARLIE	8	21	332.31	475.45	713.18	377.71	101.25	103.00	101.50	101.50	101.81	205.75	205.00	20.54	3.006	3933	81.4	1672.0	1798.0	4.7	0.65	0.60
20.59	CHARLIE	9	21	332.31	475.45	713.18	377.71	102.00	102.00	101.25	101.50	101.69	205.00	205.75	20.54	3.019	4583	81.2	1667.9	1810.0	5.5	0.65	0.60
20.59	CHARLIE	10	28	332.31	475.45	713.18	377.71	101.75	101.50	102.75	102.25	102.06	203.75	205.75	20.48	3.016	4837	81.8	1675.1	1800.5	5.8	0.65	0.60
20.59	CHARLIE	11	28	332.31	475.45	713.18	377.71	102.25	102.50	101.75	101.25	101.94	206.25	205.75	20.60	3.005	4957	81.6	1681.2	1787.4	6.0	0.65	0.60
20.59	CHARLIE	12	28	332.31	475.45	713.18	377.71	102.50	102.50	101.25	101.50	101.94	204.50	203.75	20.41	3.010	4763	81.6	1665.9	1806.8	5.7	0.65	0.60
27.46	CHARLIE	1	8	392.73	608.98	405.99	418.23	101.25	102.75	101.25	101.75	101.75	204.25	206.50	20.54	2.896	4245	81.3	1670.0	1734.2	5.1	0.55	0.40
27.46	CHARLIE	2	8	392.73	608.98	405.99	418.23	102.25	101.75	101.75	101.25	101.75	205.00	204.25	20.46	2.921	4049	81.3	1663.9	1755.6	4.9	0.55	0.40
27.46	CHARLIE	3	8	392.73	608.98	405.99	418.23	102.00	101.75	102.00	101.75	101.88	204.25	205.00	20.46	2.905	4192	81.5	1668.0	1741.7	5.0	0.55	0.40
27.46	CHARLIE	4	14	392.73	608.98	405.99	418.23	101.75	102.25	101.75	102.00	101.94	205.25	205.50	20.54	2.889	4511	81.6	1676.1	1723.8	5.4	0.55	0.40
27.46	CHARLIE	5	14	392.73	608.98	405.99	418.23	101.75	102.75	101.50	101.50	101.88	203.50	205.50	20.45	2.874	5087	81.5	1666.9	1723.9	6.1	0.55	0.40
27.46	CHARLIE	6	14	392.73	608.98	405.99	418.23	101.75	102.00	101.00	101.75	101.63	206.00	204.25	20.51	2.838	4730	81.1	1663.8	1705.4	5.7	0.55	0.40
27.46	CHARLIE	7	21	392.73	608.98	405.99	418.23	103.00	101.25	101.25	101.50	101.75	206.75	207.25	20.70	2.946	4654	81.3	1683.2	1750.4	5.6	0.55	0.40
27.46	CHARLIE	8	21	392.73	608.98	405.99	418.23	101.00	102.75	101.50	101.75	101.75	204.75	205.25	20.50	2.920	4863	81.3	1666.9	1751.7	5.9	0.55	0.40
27.46	CHARLIE	9	21	392.73	608.98	405.99	418.23	102.00	101.75	101.25	101.75	101.69	208.00	206.25	20.71	2.946	4664	81.2	1682.1	1751.6	5.6	0.55	0.40
27.46	CHARLIE	10	28	392.73	608.98	405.99	418.23	102.25	102.50	101.50	101.25	101.88	206.25	205.75	20.60	2.945	4696	81.5	1679.2	1753.9	5.6	0.55	0.40
27.46	CHARLIE	11	28	392.73	608.98	405.99	418.23	102.75	102.50	101.25	101.25	101.94	204.50	204.75	20.46	2.936	4795	81.6	1670.0	1758.1	5.8	0.55	0.40
27.46	CHARLIE	12	28	392.73	608.98	405.99	418.23	102.25	101.75	101.75	101.75	101.88	205.25	205.25	20.53	2.950	4727	81.5	1673.0	1763.2	5.7	0.55	0.40
27.46	CHARLIE	1	7	392.73	539.08	539.08	386.44	102.25	102.25	101.00	101.00	101.63	204.00	204.00	20.40	2.849	4016	81.1	1654.7	1722.0	4.9	0.55	0.50

27.46	CHARLIE	2	7	392.73	539.08	539.08	386.44	102.50	102.50	101.00	101.25	101.81	203.75	205.25	20.45	2.865	4208	81.4	1664.9	1720.7	5.1	0.55	0.50
27.46	CHARLIE	3	7	392.73	539.08	539.08	386.44	102.50	102.00	101.50	101.25	101.81	206.25	206.25	20.63	2.940	4198	81.4	1679.1	1751.1	5.1	0.55	0.50
27.46	CHARLIE	4	14	392.73	539.08	539.08	386.44	101.75	102.25	101.25	101.50	101.69	205.50	206.00	20.58	2.936	4574	81.2	1671.0	1757.4	5.5	0.55	0.50
27.46	CHARLIE	5	14	392.73	539.08	539.08	386.44	102.00	102.00	101.25	100.75	101.50	205.75	206.25	20.60	2.837	4969	80.9	1666.8	1702.1	6.0	0.55	0.50
27.46	CHARLIE	6	14	392.73	539.08	539.08	386.44	102.50	102.25	101.50	100.75	101.75	204.75	204.00	20.44	2.975	5185	81.3	1661.8	1790.3	6.3	0.55	0.50
27.46	CHARLIE	7	21	392.73	539.08	539.08	386.44	101.75	102.50	101.25	101.25	101.69	206.25	204.00	20.51	2.961	4907	81.2	1665.9	1777.5	5.9	0.55	0.50
27.46	CHARLIE	8	21	392.73	539.08	539.08	386.44	102.50	102.00	101.25	101.25	101.75	205.50	206.00	20.58	2.834	4868	81.3	1673.0	1694.2	5.9	0.55	0.50
27.46	CHARLIE	9	21	392.73	539.08	539.08	386.44	101.75	102.75	100.75	101.25	101.63	206.50	206.75	20.66	2.994	4698	81.1	1676.0	1786.4	5.7	0.55	0.50
27.46	CHARLIE	10	28	392.73	539.08	539.08	386.44	102.75	102.25	101.50	101.25	101.94	204.75	204.00	20.44	2.918	4805	81.6	1668.0	1749.7	5.8	0.55	0.50
27.46	CHARLIE	11	28	392.73	539.08	539.08	386.44	102.25	102.50	101.00	101.50	101.81	206.00	204.25	20.51	2.936	4824	81.4	1670.0	1758.2	5.8	0.55	0.50
27.46	CHARLIE	12	28	392.73	539.08	539.08	386.44	102.00	102.50	101.25	101.50	101.81	206.75	204.00	20.54	3.007	4632	81.4	1672.0	1798.4	5.6	0.55	0.50
27.46	CHARLIE	1	7	392.73	459.90	689.85	359.23	102.00	102.25	101.25	101.00	101.63	206.75	204.50	20.56	2.928	5545	81.1	1667.9	1755.5	6.7	0.55	0.60
27.46	CHARLIE	2	7	392.73	459.90	689.85	359.23	102.25	102.25	101.50	101.75	101.94	205.50	206.00	20.58	3.014	4299	81.6	1679.2	1795.1	5.2	0.55	0.60
27.46	CHARLIE	3	7	392.73	459.90	689.85	359.23	102.50	101.75	101.25	101.25	101.69	204.25	206.50	20.54	2.965	4407	81.2	1667.9	1777.8	5.3	0.55	0.60
27.46	CHARLIE	4	14	392.73	459.90	689.85	359.23	102.00	102.00	101.50	101.00	101.63	205.25	203.75	20.45	2.934	5131	81.1	1658.8	1769.0	6.2	0.55	0.60
27.46	CHARLIE	5	14	392.73	459.90	689.85	359.23	102.25	102.25	101.25	101.00	101.69	206.50	205.25	20.59	2.976	4800	81.2	1672.0	1779.9	5.8	0.55	0.60
27.46	CHARLIE	6	14	392.73	459.90	689.85	359.23	102.50	101.75	101.25	101.00	101.63	204.00	205.00	20.45	2.960	5356	81.1	1658.8	1784.3	6.5	0.55	0.60
27.46	CHARLIE	7	21	392.73	459.90	689.85	359.23	102.25	102.75	101.00	101.75	101.94	204.50	204.50	20.45	2.995	4976	81.6	1669.0	1794.6	6.0	0.55	0.60
27.46	CHARLIE	8	21	392.73	459.90	689.85	359.23	102.75	102.00	101.25	101.25	101.81	204.00	205.75	20.49	2.928	5159	81.4	1667.9	1755.6	6.2	0.55	0.60
27.46	CHARLIE	9	21	392.73	459.90	689.85	359.23	101.75	102.75	101.50	101.50	101.88	204.00	203.75	20.39	2.965	6462	81.5	1661.8	1784.2	7.8	0.55	0.60
27.46	CHARLIE	10	28	392.73	459.90	689.85	359.23	102.25	102.50	101.50	101.00	101.81	206.00	204.00	20.50	2.923	7255	81.4	1669.0	1751.6	8.7	0.55	0.60
27.46	CHARLIE	11	28	392.73	459.90	689.85	359.23	102.50	102.75	100.75	101.25	101.81	204.75	205.25	20.50	2.937	7269	81.4	1669.0	1759.7	8.8	0.55	0.60
27.46	CHARLIE	12	28	392.73	459.90	689.85	359.23	102.50	102.75	101.00	100.75	101.75	205.00	204.00	20.45	2.933	6943	81.3	1662.8	1764.1	8.4	0.55	0.60
34.32	CHARLIE	1	7	480.00	579.56	386.38	401.07	102.50	102.75	101.25	101.25	101.94	205.75	205.25	20.55	2.949	6338	81.6	1677.1	1758.3	7.6	0.45	0.40
34.32	CHARLIE	2	7	480.00	579.56	386.38	401.07	102.75	102.75	101.00	101.00	101.88	204.50	205.50	20.50	2.971	8294	81.5	1671.0	1778.0	10.0	0.45	0.40
34.32	CHARLIE	3	7	480.00	579.56	386.38	401.07	102.75	102.00	100.75	101.00	101.63	205.25	205.75	20.55	2.948	8294	81.1	1666.9	1768.3	10.0	0.45	0.40
34.32	CHARLIE	4	14	480.00	579.56	386.38	401.07	102.25	102.00	101.50	100.75	101.63	206.25	204.50	20.54	2.838	5750	81.1	1665.9	1703.4	7.0	0.45	0.40

34.32	CHARLIE	5	14	480.00	579.56	386.38	401.07	102.00	102.75	101.25	101.00	101.75	206.75	204.00	20.54	2.860	6306	81.3	1670.0	1712.7	7.6	0.45	0.40
34.32	CHARLIE	6	14	480.00	579.56	386.38	401.07	102.75	102.25	101.75	100.75	101.88	205.75	206.00	20.59	2.902	6967	81.5	1678.1	1729.2	8.4	0.45	0.40
34.32	CHARLIE	7	21	480.00	579.56	386.38	401.07	101.75	102.25	101.25	101.75	101.75	205.75	205.25	20.55	2.957	8062	81.3	1671.0	1769.6	9.7	0.45	0.40
34.32	CHARLIE	8	21	480.00	579.56	386.38	401.07	102.50	102.00	101.50	101.00	101.75	204.75	206.25	20.55	2.823	7703	81.3	1671.0	1689.5	9.3	0.45	0.40
34.32	CHARLIE	9	21	480.00	579.56	386.38	401.07	102.25	102.75	100.75	101.50	101.81	203.75	204.25	20.40	2.962	8877	81.4	1660.8	1783.7	10.7	0.45	0.40
34.32	CHARLIE	10	28	480.00	579.56	386.38	401.07	102.25	102.75	101.50	101.25	101.94	203.75	204.25	20.40	2.840	6793	81.6	1664.9	1706.1	8.2	0.45	0.40
34.32	CHARLIE	11	28	480.00	579.56	386.38	401.07	102.75	102.50	101.00	101.50	101.94	205.75	205.25	20.55	2.963	8873	81.6	1677.1	1766.7	10.7	0.45	0.40
34.32	CHARLIE	12	28	480.00	579.56	386.38	401.07	102.00	102.50	101.50	101.00	101.75	205.25	204.75	20.50	2.800	5911	81.3	1666.9	1679.7	7.1	0.45	0.40
34.32	CHARLIE	1	7	480.00	513.04	513.04	378.21	102.50	102.25	101.00	101.00	101.69	205.50	204.50	20.50	3.032	7339	81.2	1664.9	1821.4	8.9	0.45	0.50
34.32	CHARLIE	2	7	480.00	513.04	513.04	378.21	102.25	102.00	101.75	100.75	101.69	206.00	205.50	20.58	2.713	7602	81.2	1671.0	1623.3	9.2	0.45	0.50
34.32	CHARLIE	3	7	480.00	513.04	513.04	378.21	102.25	102.50	101.00	100.75	101.63	206.00	205.25	20.56	2.797	7489	81.1	1667.9	1677.0	9.1	0.45	0.50
34.32	CHARLIE	4	14	480.00	513.04	513.04	378.21	101.75	102.50	101.00	101.50	101.69	204.75	204.50	20.46	3.031	7869	81.2	1661.8	1823.8	9.5	0.45	0.50
34.32	CHARLIE	5	14	480.00	513.04	513.04	378.21	102.00	102.50	101.75	101.75	102.00	203.75	205.50	20.46	2.726	7844	81.7	1672.0	1630.3	9.4	0.45	0.50
34.32	CHARLIE	6	14	480.00	513.04	513.04	378.21	102.00	101.75	101.00	101.50	101.56	204.00	206.25	20.51	2.925	8670	81.0	1661.8	1759.9	10.5	0.45	0.50
34.32	CHARLIE	7	21	480.00	513.04	513.04	378.21	102.25	101.75	101.00	101.75	101.69	205.25	206.50	20.59	3.084	8820	81.2	1672.0	1844.7	10.7	0.45	0.50
34.32	CHARLIE	8	21	480.00	513.04	513.04	378.21	102.00	102.25	101.50	101.50	101.81	205.75	203.75	20.48	3.055	8126	81.4	1666.9	1832.7	9.8	0.45	0.50
34.32	CHARLIE	9	21	480.00	513.04	513.04	378.21	102.50	102.25	101.50	101.75	102.00	204.75	205.00	20.49	3.008	9961	81.7	1674.1	1797.1	12.0	0.45	0.50
34.32	CHARLIE	10	28	480.00	513.04	513.04	378.21	102.75	101.75	101.00	101.50	101.75	204.25	204.50	20.44	2.804	11103	81.3	1661.8	1687.4	13.4	0.45	0.50
34.32	CHARLIE	11	28	480.00	513.04	513.04	378.21	102.75	102.00	101.75	101.25	101.94	206.25	205.50	20.59	2.782	10184	81.6	1680.2	1656.0	12.2	0.45	0.50
34.32	CHARLIE	12	28	480.00	513.04	513.04	378.21	102.25	102.00	100.75	101.75	101.69	206.25	206.00	20.61	2.900	10869	81.2	1674.0	1732.1	13.1	0.45	0.50
34.32	CHARLIE	1	7	480.00	437.68	656.53	352.31	102.50	102.75	101.50	101.50	102.06	204.50	206.25	20.54	3.129	9325	81.8	1680.2	1862.0	11.2	0.45	0.60
34.32	CHARLIE	2	7	480.00	437.68	656.53	352.31	102.25	102.75	101.00	101.50	101.88	205.25	205.25	20.53	3.045	8892	81.5	1673.0	1820.0	10.7	0.45	0.60
34.32	CHARLIE	3	7	480.00	437.68	656.53	352.31	102.25	102.50	101.25	101.25	101.81	206.25	204.25	20.53	3.098	8104	81.4	1671.0	1854.2	9.8	0.45	0.60
34.32	CHARLIE	4	14	480.00	437.68	656.53	352.31	102.75	102.50	101.00	101.25	101.88	204.25	206.25	20.53	2.705	7746	81.5	1673.0	1617.0	9.3	0.45	0.60
34.32	CHARLIE	5	14	480.00	437.68	656.53	352.31	102.25	102.25	101.00	101.00	101.63	206.50	205.50	20.60	2.896	9049	81.1	1670.9	1733.5	10.9	0.45	0.60
34.32	CHARLIE	6	14	480.00	437.68	656.53	352.31	102.00	102.00	101.50	100.75	101.56	205.00	205.25	20.51	3.092	9241	81.0	1661.8	1860.6	11.2	0.45	0.60
34.32	CHARLIE	7	21	480.00	437.68	656.53	352.31	102.75	102.00	101.75	101.50	102.00	206.75	205.00	20.59	2.948	8969	81.7	1682.3	1752.5	10.8	0.45	0.60

34.32	CHARLIE	8	21	480.00	437.68	656.53	352.31	102.50	102.75	101.50	101.25	102.00	206.00	204.25	20.51	2.833	8930	81.7	1676.1	1690.2	10.7	0.45	0.60
34.32	CHARLIE	9	21	480.00	437.68	656.53	352.31	101.75	101.75	101.75	101.75	101.75	206.75	203.75	20.53	3.266	9040	81.3	1668.9	1957.2	10.9	0.45	0.60
34.32	CHARLIE	10	28	480.00	437.68	656.53	352.31	102.00	102.50	101.50	101.50	101.88	205.00	206.75	20.59	3.301	11418	81.5	1678.1	1967.2	13.7	0.45	0.60
34.32	CHARLIE	11	28	480.00	437.68	656.53	352.31	102.25	102.25	101.25	100.75	101.63	204.75	205.25	20.50	3.152	10631	81.1	1662.8	1895.7	12.9	0.45	0.60
34.32	CHARLIE	12	28	480.00	437.68	656.53	352.31	102.50	102.25	101.50	101.25	101.88	206.25	206.00	20.61	3.064	10860	81.5	1680.2	1823.9	13.1	0.45	0.60

Fuente: Elaboración Propia

4. Tabla de Roturas Delta

Tabla 221: Tabla de Roturas con Ignimbrita del Punto Delta

DISEÑO MPA	MUESTREO	PROBETA	DIAS	CEMENTO_F KG	IGNIMBRITA_F KG	ARENA_F KG	AGUA_F L	T1 MM	T2 MM	F1 MM	F2 MM	D PROM MM2	H1 MM	H2 MM	ALTURA CM	PESO KGF	CARGA KGF	AREA CM2	VOLUMEN CM3	PESO U. KGF/M3	F'C MPA	A/C	Af/At
20.59	DELTA	1	7	335.43	407.17	945.38	334.80	103.75	103.50	104.00	104.25	103.88	206.00	205.75	20.59	3.400	10631	84.7	1744.7	1948.8	12.3	0.58	0.70
20.59	DELTA	2	7	335.43	407.17	945.38	334.80	101.50	102.00	101.25	104.00	102.19	206.00	206.25	20.61	3.300	10406	82.0	1690.5	1952.1	12.4	0.58	0.70
20.59	DELTA	3	7	335.43	407.17	945.38	334.80	102.25	102.25	102.25	106.00	103.19	207.00	206.50	20.68	3.380	10999	83.6	1729.0	1954.9	12.9	0.58	0.70
20.59	DELTA	4	7	335.43	407.17	945.38	334.80	103.00	103.00	105.25	104.25	103.88	206.75	206.25	20.65	3.280	10792	84.7	1750.0	1874.3	12.5	0.58	0.70
20.59	DELTA	5	7	335.43	407.17	945.38	334.80	102.00	103.50	102.50	104.75	103.19	206.50	206.25	20.64	3.325	11657	83.6	1725.8	1926.6	13.7	0.58	0.70
20.59	DELTA	6	7	335.43	407.17	945.38	334.80	102.00	102.50	103.00	103.25	102.69	206.75	205.75	20.63	3.320	10575	82.8	1708.1	1943.7	12.5	0.58	0.70
20.59	DELTA	7	7	335.43	407.17	945.38	334.80	103.00	103.75	104.75	102.50	103.50	206.50	206.50	20.65	3.315	12119	84.1	1737.4	1908.1	14.1	0.58	0.70
20.59	DELTA	8	7	335.43	407.17	945.38	334.80	103.50	102.50	105.50	101.25	103.19	206.25	206.25	20.63	3.359	11320	83.6	1724.8	1947.5	13.3	0.58	0.70
20.59	DELTA	9	7	335.43	407.17	945.38	334.80	102.75	102.75	102.75	103.00	102.81	206.50	206.75	20.66	3.372	11320	83.0	1715.4	1965.7	13.4	0.58	0.70
20.59	DELTA	10	14	335.43	407.17	945.38	334.80	101.00	101.50	103.00	101.00	101.63	205.25	204.25	20.48	3.032	11653	81.1	1660.8	1825.6	14.1	0.58	0.70
20.59	DELTA	11	14	335.43	407.17	945.38	334.80	101.50	101.00	102.00	101.75	101.56	205.00	205.00	20.50	3.073	11774	81.0	1660.8	1850.3	14.3	0.58	0.70
20.59	DELTA	12	14	335.43	407.17	945.38	334.80	101.50	101.50	103.00	105.50	102.88	204.50	203.50	20.40	3.028	11309	83.1	1695.7	1785.7	13.3	0.58	0.70
20.59	DELTA	13	14	335.43	407.17	945.38	334.80	101.50	101.25	102.25	101.75	101.69	204.25	203.75	20.40	3.004	15266	81.2	1656.7	1813.2	18.4	0.58	0.70

20.59	DELTA	14	14	335.43	407.17	945.38	334.80	101.25	101.25	101.00	102.25	101.44	205.00	204.25	20.46	3.290	12883	80.8	1653.7	1989.5	15.6	0.58	0.70
20.59	DELTA	15	14	335.43	407.17	945.38	334.80	101.50	101.25	104.00	105.25	103.00	204.00	204.25	20.41	3.266	11321	83.3	1700.8	1920.2	13.3	0.58	0.70
20.59	DELTA	16	14	335.43	407.17	945.38	334.80	101.00	101.25	103.50	101.25	101.75	204.75	205.25	20.50	3.268	10675	81.3	1666.9	1960.5	12.9	0.58	0.70
20.59	DELTA	17	14	335.43	407.17	945.38	334.80	101.50	101.25	104.50	103.25	102.63	203.75	204.50	20.41	3.279	12835	82.7	1688.5	1942.0	15.2	0.58	0.70
20.59	DELTA	18	14	335.43	407.17	945.38	334.80	101.25	101.25	104.50	104.25	102.81	204.50	203.50	20.40	3.285	11320	83.0	1693.6	1939.7	13.4	0.58	0.70
20.59	DELTA	19	21	335.43	407.17	945.38	334.80	101.25	101.00	101.00	101.75	101.25	205.00	207.00	20.60	3.130	15581	80.5	1658.6	1887.1	19.0	0.58	0.70
20.59	DELTA	20	21	335.43	407.17	945.38	334.80	101.25	101.25	102.75	105.00	102.56	205.00	204.50	20.48	3.029	15084	82.6	1691.6	1790.3	17.9	0.58	0.70
20.59	DELTA	21	21	335.43	407.17	945.38	334.80	101.50	101.25	105.25	103.00	102.75	204.75	204.75	20.48	3.044	15045	82.9	1697.8	1792.9	17.8	0.58	0.70
20.59	DELTA	22	21	335.43	407.17	945.38	334.80	101.50	101.50	104.75	102.75	102.63	203.75	205.00	20.44	3.043	15727	82.7	1690.5	1800.0	18.6	0.58	0.70
20.59	DELTA	23	21	335.43	407.17	945.38	334.80	101.00	101.25	101.50	105.25	102.25	204.00	204.00	20.40	3.273	14957	82.1	1675.1	1953.9	17.9	0.58	0.70
20.59	DELTA	24	21	335.43	407.17	945.38	334.80	101.25	101.50	104.25	102.00	102.25	204.75	204.75	20.48	3.150	14129	82.1	1681.3	1873.6	16.9	0.58	0.70
20.59	DELTA	25	21	335.43	407.17	945.38	334.80	101.25	101.25	105.00	105.25	103.19	205.25	204.25	20.48	3.038	14639	83.6	1712.3	1774.0	17.2	0.58	0.70
20.59	DELTA	26	21	335.43	407.17	945.38	334.80	101.00	101.25	104.50	101.75	102.13	205.25	205.00	20.51	3.172	15637	81.9	1680.2	1887.8	18.7	0.58	0.70
20.59	DELTA	27	21	335.43	407.17	945.38	334.80	101.50	101.00	103.00	104.75	102.56	204.50	204.00	20.43	3.131	15099	82.6	1687.4	1855.5	17.9	0.58	0.70
20.59	DELTA	28	28	335.43	407.17	945.38	334.80	101.50	101.25	104.50	105.00	103.06	205.00	204.00	20.45	3.007	15066	83.4	1706.0	1762.3	17.7	0.58	0.70
20.59	DELTA	29	28	335.43	407.17	945.38	334.80	101.50	101.25	103.75	102.25	102.19	206.50	208.25	20.74	3.034	15083	82.0	1700.8	1783.9	18.0	0.58	0.70
20.59	DELTA	30	28	335.43	407.17	945.38	334.80	101.25	101.25	103.00	103.25	102.19	206.25	205.00	20.56	3.006	15630	82.0	1686.4	1782.2	18.7	0.58	0.70
20.59	DELTA	31	28	335.43	407.17	945.38	334.80	101.25	101.25	105.25	104.75	103.13	206.50	203.75	20.51	3.078	17425	83.5	1713.3	1796.2	20.5	0.58	0.70
20.59	DELTA	32	28	335.43	407.17	945.38	334.80	101.25	101.00	102.00	102.75	101.75	205.00	204.50	20.48	3.116	17400	81.3	1664.9	1871.3	21.0	0.58	0.70
20.59	DELTA	33	28	335.43	407.17	945.38	334.80	101.00	101.50	102.25	104.50	102.31	205.00	204.75	20.49	3.176	18027	82.2	1684.4	1885.6	21.5	0.58	0.70
20.59	DELTA	34	28	335.43	407.17	945.38	334.80	101.50	101.00	103.00	102.25	101.94	204.25	205.25	20.48	3.063	16321	81.6	1671.0	1832.7	19.6	0.58	0.70
20.59	DELTA	35	28	335.43	407.17	945.38	334.80	101.50	101.25	102.25	104.25	102.31	205.00	205.25	20.51	3.053	16716	82.2	1686.4	1810.3	19.9	0.58	0.70
20.59	DELTA	36	28	335.43	407.17	945.38	334.80	101.25	101.25	104.00	101.25	101.94	204.75	203.50	20.41	3.137	15610	81.6	1665.9	1883.0	18.8	0.58	0.70
27.46	DELTA	1	7	400.39	401.65	932.56	322.26	102.00	102.25	102.00	101.50	101.94	206.00	207.00	20.65	3.310	12510	81.6	1685.3	1964.0	15.0	0.46	0.70
27.46	DELTA	2	7	400.39	401.65	932.56	322.26	101.50	101.50	102.25	103.00	102.06	203.00	204.00	20.35	3.270	13379	81.8	1664.9	1964.1	16.0	0.46	0.70
27.46	DELTA	3	7	400.39	401.65	932.56	322.26	101.25	101.00	102.25	102.25	101.69	205.50	204.75	20.51	3.290	12502	81.2	1665.9	1974.9	15.1	0.46	0.70
27.46	DELTA	4	7	400.39	401.65	932.56	322.26	101.25	101.00	105.25	103.25	102.69	204.00	205.25	20.46	3.410	12655	82.8	1694.7	2012.2	15.0	0.46	0.70

27.46	DELTA	5	7	400.39	401.65	932.56	322.26	101.25	101.00	103.50	102.00	101.94	205.00	205.25	20.51	3.275	12187	81.6	1674.1	1956.3	14.6	0.46	0.70
27.46	DELTA	6	7	400.39	401.65	932.56	322.26	101.25	101.50	104.50	101.50	102.19	204.50	205.00	20.48	3.495	11965	82.0	1679.2	2081.3	14.3	0.46	0.70
27.46	DELTA	7	7	400.39	401.65	932.56	322.26	101.50	101.25	103.25	103.50	102.38	204.25	204.50	20.44	3.370	12356	82.3	1682.3	2003.2	14.7	0.46	0.70
27.46	DELTA	8	7	400.39	401.65	932.56	322.26	101.00	101.25	103.00	104.00	102.31	205.00	205.25	20.51	3.348	12443	82.2	1686.4	1985.3	14.8	0.46	0.70
27.46	DELTA	9	7	400.39	401.65	932.56	322.26	101.25	101.00	104.75	101.75	102.19	203.75	203.75	20.38	3.208	12177	82.0	1671.0	1919.8	14.6	0.46	0.70
27.46	DELTA	10	14	400.39	401.65	932.56	322.26	101.25	101.25	102.75	101.50	101.69	203.50	204.50	20.40	3.038	15544	81.2	1656.7	1833.7	18.8	0.46	0.70
27.46	DELTA	11	14	400.39	401.65	932.56	322.26	101.00	102.00	101.50	101.50	101.50	205.50	205.00	20.53	3.043	15444	80.9	1660.8	1832.3	18.7	0.46	0.70
27.46	DELTA	12	14	400.39	401.65	932.56	322.26	101.75	101.50	103.50	102.00	102.19	207.25	207.00	20.71	3.091	16814	82.0	1698.7	1819.6	20.1	0.46	0.70
27.46	DELTA	13	14	400.39	401.65	932.56	322.26	101.50	101.00	101.50	105.50	102.38	203.75	203.75	20.38	3.067	16378	82.3	1677.2	1828.7	19.5	0.46	0.70
27.46	DELTA	14	14	400.39	401.65	932.56	322.26	101.25	101.50	104.00	101.25	102.00	203.75	204.75	20.43	3.262	15320	81.7	1669.0	1954.5	18.4	0.46	0.70
27.46	DELTA	15	14	400.39	401.65	932.56	322.26	101.00	101.25	101.25	104.75	102.06	205.25	204.00	20.46	3.296	15894	81.8	1674.1	1968.8	19.1	0.46	0.70
27.46	DELTA	16	14	400.39	401.65	932.56	322.26	101.25	101.25	104.00	105.50	103.00	204.50	204.00	20.43	3.304	15754	83.3	1701.9	1941.4	18.5	0.46	0.70
27.46	DELTA	17	14	400.39	401.65	932.56	322.26	101.00	101.50	105.00	101.50	102.25	204.00	203.50	20.38	3.277	16057	82.1	1673.1	1958.7	19.2	0.46	0.70
27.46	DELTA	18	14	400.39	401.65	932.56	322.26	101.25	101.25	102.75	102.00	101.81	204.75	203.50	20.41	3.182	15532	81.4	1661.8	1914.7	18.7	0.46	0.70
27.46	DELTA	19	21	400.39	401.65	932.56	322.26	101.50	101.25	101.25	104.25	102.06	205.50	208.75	20.71	3.148	15823	81.8	1694.6	1857.7	19.0	0.46	0.70
27.46	DELTA	20	21	400.39	401.65	932.56	322.26	101.25	101.00	102.50	102.25	101.75	203.00	204.75	20.39	3.083	16307	81.3	1657.8	1859.7	19.7	0.46	0.70
27.46	DELTA	21	21	400.39	401.65	932.56	322.26	101.25	101.00	103.75	105.25	102.81	204.75	206.00	20.54	3.121	16283	83.0	1705.0	1830.5	19.2	0.46	0.70
27.46	DELTA	22	21	400.39	401.65	932.56	322.26	101.25	101.50	103.75	101.75	102.06	204.50	205.00	20.48	3.115	15013	81.8	1675.1	1859.6	18.0	0.46	0.70
27.46	DELTA	23	21	400.39	401.65	932.56	322.26	101.25	101.25	104.00	102.50	102.25	204.75	205.00	20.49	3.308	18130	82.1	1682.3	1966.3	21.7	0.46	0.70
27.46	DELTA	24	21	400.39	401.65	932.56	322.26	101.25	101.25	101.75	103.00	101.81	204.50	204.25	20.44	3.100	15546	81.4	1663.9	1863.1	18.7	0.46	0.70
27.46	DELTA	25	21	400.39	401.65	932.56	322.26	101.25	101.00	101.50	103.25	101.75	205.25	204.75	20.50	3.077	17140	81.3	1666.9	1845.6	20.7	0.46	0.70
27.46	DELTA	26	21	400.39	401.65	932.56	322.26	101.25	101.00	103.50	101.00	101.69	204.50	204.50	20.45	3.079	16562	81.2	1660.8	1853.9	20.0	0.46	0.70
27.46	DELTA	27	21	400.39	401.65	932.56	322.26	101.00	101.25	102.50	102.00	101.69	204.25	204.25	20.43	2.981	16345	81.2	1658.8	1797.1	19.7	0.46	0.70
27.46	DELTA	28	28	400.39	401.65	932.56	322.26	101.00	101.50	102.25	103.75	102.13	206.00	205.75	20.59	3.038	18580	81.9	1686.4	1801.2	22.2	0.46	0.70
27.46	DELTA	29	28	400.39	401.65	932.56	322.26	101.25	101.50	101.75	102.00	101.63	205.00	203.75	20.44	3.011	18338	81.1	1657.7	1816.3	22.2	0.46	0.70
27.46	DELTA	30	28	400.39	401.65	932.56	322.26	101.50	101.50	101.50	104.75	102.31	205.75	206.75	20.63	3.038	18392	82.2	1695.7	1791.6	21.9	0.46	0.70
27.46	DELTA	31	28	400.39	401.65	932.56	322.26	101.25	101.00	105.25	104.50	103.00	208.00	209.00	20.85	3.135	19684	83.3	1737.3	1804.3	23.2	0.46	0.70

27.46	DELTA	32	28	400.39	401.65	932.56	322.26	101.50	101.00	105.25	103.00	102.69	204.25	204.00	20.41	3.065	17453	82.8	1690.5	1812.8	20.7	0.46	0.70
27.46	DELTA	33	28	400.39	401.65	932.56	322.26	101.00	101.50	102.75	104.50	102.44	203.50	204.00	20.38	3.025	19766	82.4	1679.2	1801.1	23.5	0.46	0.70
27.46	DELTA	34	28	400.39	401.65	932.56	322.26	101.00	101.25	105.00	103.00	102.56	204.75	205.00	20.49	3.305	18506	82.6	1692.6	1952.6	22.0	0.46	0.70
27.46	DELTA	35	28	400.39	401.65	932.56	322.26	101.25	101.25	105.00	103.75	102.81	204.00	204.75	20.44	3.027	17055	83.0	1696.7	1784.0	20.1	0.46	0.70
27.46	DELTA	36	28	400.39	401.65	932.56	322.26	101.25	101.25	102.50	104.25	102.31	204.25	205.00	20.46	3.055	19070	82.2	1682.3	1816.0	22.7	0.46	0.70
34.32	DELTA	1	7	471.51	395.91	919.23	308.12	102.50	101.25	102.50	101.00	101.81	206.00	204.00	20.50	3.289	15633	81.4	1669.0	1970.7	18.8	0.36	0.70
34.32	DELTA	2	7	471.51	395.91	919.23	308.12	102.25	102.00	101.75	103.25	102.31	206.25	206.00	20.61	3.326	15582	82.2	1694.6	1962.7	18.6	0.36	0.70
34.32	DELTA	3	7	471.51	395.91	919.23	308.12	102.25	101.75	101.25	101.00	101.56	207.25	206.00	20.66	3.301	15102	81.0	1673.9	1972.0	18.3	0.36	0.70
34.32	DELTA	4	7	471.51	395.91	919.23	308.12	101.25	101.50	104.75	102.75	102.56	204.75	204.00	20.44	3.307	15379	82.6	1688.5	1958.6	18.3	0.36	0.70
34.32	DELTA	5	7	471.51	395.91	919.23	308.12	101.00	101.25	104.50	102.75	102.38	204.25	204.25	20.43	3.304	15335	82.3	1681.3	1965.2	18.3	0.36	0.70
34.32	DELTA	6	7	471.51	395.91	919.23	308.12	101.25	101.00	103.50	104.75	102.63	204.25	205.00	20.46	3.330	15542	82.7	1692.6	1967.4	18.4	0.36	0.70
34.32	DELTA	7	7	471.51	395.91	919.23	308.12	101.25	101.50	103.25	101.50	101.88	204.00	204.75	20.44	3.311	15141	81.5	1665.9	1987.5	18.2	0.36	0.70
34.32	DELTA	8	7	471.51	395.91	919.23	308.12	101.00	101.00	101.25	104.25	101.88	204.00	204.50	20.43	3.315	15189	81.5	1664.9	1991.1	18.3	0.36	0.70
34.32	DELTA	9	7	471.51	395.91	919.23	308.12	101.25	101.25	102.50	103.75	102.19	204.50	204.50	20.45	3.285	15421	82.0	1677.2	1958.6	18.4	0.36	0.70
34.32	DELTA	10	14	471.51	395.91	919.23	308.12	101.75	102.25	101.25	101.25	101.63	205.00	206.25	20.56	3.250	20158	81.1	1667.9	1948.6	24.4	0.36	0.70
34.32	DELTA	11	14	471.51	395.91	919.23	308.12	102.00	101.75	101.25	101.25	101.56	203.75	204.50	20.41	3.184	20461	81.0	1653.7	1925.4	24.8	0.36	0.70
34.32	DELTA	12	14	471.51	395.91	919.23	308.12	101.25	102.25	101.50	101.25	101.56	206.25	206.00	20.61	3.215	20521	81.0	1669.9	1925.3	24.8	0.36	0.70
34.32	DELTA	13	14	471.51	395.91	919.23	308.12	101.00	101.50	103.75	103.50	102.44	203.75	203.50	20.36	3.195	18834	82.4	1678.2	1903.8	22.4	0.36	0.70
34.32	DELTA	14	14	471.51	395.91	919.23	308.12	101.00	101.25	101.25	102.00	101.38	204.75	204.25	20.45	3.476	19603	80.7	1650.6	2105.9	23.8	0.36	0.70
34.32	DELTA	15	14	471.51	395.91	919.23	308.12	101.00	101.25	103.75	103.75	102.44	204.75	204.50	20.46	3.435	19922	82.4	1686.4	2036.9	23.7	0.36	0.70
34.32	DELTA	16	14	471.51	395.91	919.23	308.12	101.50	101.00	104.00	102.50	102.25	204.00	204.00	20.40	3.332	18792	82.1	1675.1	1989.1	22.4	0.36	0.70
34.32	DELTA	17	14	471.51	395.91	919.23	308.12	101.25	101.25	102.25	101.25	101.50	203.75	203.50	20.36	3.405	18682	80.9	1647.6	2066.6	22.6	0.36	0.70
34.32	DELTA	18	14	471.51	395.91	919.23	308.12	101.50	101.25	104.00	101.00	101.94	204.00	205.00	20.45	3.401	19728	81.6	1669.0	2037.8	23.7	0.36	0.70
34.32	DELTA	19	21	471.51	395.91	919.23	308.12	101.25	101.25	103.00	103.00	102.13	205.00	205.00	20.50	3.234	21395	81.9	1679.2	1925.9	25.6	0.36	0.70
34.32	DELTA	20	21	471.51	395.91	919.23	308.12	101.50	101.25	104.25	102.75	102.44	205.25	206.00	20.56	3.229	21083	82.4	1694.7	1905.4	25.1	0.36	0.70
34.32	DELTA	21	21	471.51	395.91	919.23	308.12	101.50	101.00	104.50	104.50	102.88	205.75	204.00	20.49	3.198	21866	83.1	1702.9	1877.9	25.8	0.36	0.70
34.32	DELTA	22	21	471.51	395.91	919.23	308.12	101.25	101.25	105.25	105.25	103.25	204.75	206.00	20.54	3.232	20476	83.7	1719.6	1879.5	24.0	0.36	0.70

34.32	DELTA	23	21	471.51	395.91	919.23	308.12	101.50	101.00	101.25	104.25	102.00	204.50	204.50	20.45	3.222	20291	81.7	1671.0	1928.2	24.4	0.36	0.70
34.32	DELTA	24	21	471.51	395.91	919.23	308.12	101.00	101.25	101.00	102.00	101.31	203.75	203.75	20.38	3.261	20373	80.6	1642.5	1985.4	24.8	0.36	0.70
34.32	DELTA	25	21	471.51	395.91	919.23	308.12	101.50	101.00	101.25	104.50	102.06	203.75	205.25	20.45	3.223	20989	81.8	1673.1	1926.4	25.2	0.36	0.70
34.32	DELTA	26	21	471.51	395.91	919.23	308.12	101.00	101.50	101.75	102.75	101.75	204.50	204.75	20.46	3.270	20442	81.3	1663.9	1965.3	24.7	0.36	0.70
34.32	DELTA	27	21	471.51	395.91	919.23	308.12	101.50	101.25	101.50	101.75	101.50	205.25	204.75	20.50	3.266	21288	80.9	1658.7	1969.0	25.8	0.36	0.70
34.32	DELTA	28	28	471.51	395.91	919.23	308.12	105.25	103.00	102.25	103.00	103.38	209.50	209.50	20.95	3.333	20725	83.9	1758.3	1895.2	24.2	0.36	0.70
34.32	DELTA	29	28	471.51	395.91	919.23	308.12	103.75	102.25	102.00	101.75	102.44	208.00	207.75	20.79	3.268	21770	82.4	1713.2	1907.5	25.9	0.36	0.70
34.32	DELTA	30	28	471.51	395.91	919.23	308.12	102.50	101.00	101.25	100.25	101.25	204.00	205.00	20.45	3.143	19215	80.5	1646.5	1908.8	23.4	0.36	0.70
34.32	DELTA	31	28	471.51	395.91	919.23	308.12	102.00	101.75	101.25	101.00	101.50	207.00	205.00	20.60	3.199	21950	80.9	1666.8	1919.2	26.6	0.36	0.70
34.32	DELTA	32	28	471.51	395.91	919.23	308.12	104.75	103.00	102.25	100.75	102.69	209.00	206.25	20.76	3.274	21514	82.8	1719.5	1904.0	25.5	0.36	0.70
34.32	DELTA	33	28	471.51	395.91	919.23	308.12	101.75	102.00	101.50	100.75	101.50	206.00	206.00	20.60	3.219	22868	80.9	1666.8	1931.2	27.7	0.36	0.70
34.32	DELTA	34	28	471.51	395.91	919.23	308.12	102.25	101.00	101.50	100.75	101.38	205.50	207.50	20.65	3.205	21745	80.7	1666.8	1922.9	26.4	0.36	0.70
34.32	DELTA	35	28	471.51	395.91	919.23	308.12	103.50	104.00	102.50	101.50	102.88	207.75	206.75	20.73	3.235	22076	83.1	1722.7	1877.9	26.0	0.36	0.70
34.32	DELTA	36	28	471.51	395.91	919.23	308.12	102.50	104.00	102.75	101.50	102.69	207.50	204.75	20.61	3.363	19811	82.8	1707.1	1970.0	23.5	0.36	0.70

Fuente: Elaboración Propia

5. Tabla de Roturas Ecco

Tabla 222: Tabla de Roturas con Ignimbrita del Punto Ecco

DISEÑO MPA	MUESTREO	PROBETA	DIAS	CEMENTO_F KG	IGNIMBRITA_F KG	ARENA_F KG	AGUA_F L	T1 MM	T2 MM	F1 MM	F2 MM	D PROM MM2	H1 MM	H2 MM	ALTURA CM	PESO KGF	CARGA KGF	AREA CM2	VOLUMEN CM3	PESO U. KGF/M3	F'C MPA	A/C	Af/At
20.59	ECCO	1	7	335.43	400.18	945.38	334.21	102.00	101.50	101.25	100.00	101.19	204.50	203.75	20.41	3.152	7265	80.4	1641.5	1920.2	8.9	0.58	0.70
20.59	ECCO	2	7	335.43	400.18	945.38	334.21	102.25	102.25	101.75	101.00	101.81	207.25	205.50	20.64	3.192	7998	81.4	1680.2	1899.8	9.6	0.58	0.70
20.59	ECCO	3	7	335.43	400.18	945.38	334.21	102.25	101.50	101.25	101.25	101.56	206.50	206.75	20.66	3.186	8687	81.0	1673.9	1903.3	10.5	0.58	0.70
20.59	ECCO	4	7	335.43	400.18	945.38	334.21	101.00	105.00	101.50	102.75	102.56	209.50	209.25	20.94	3.216	7831	82.6	1729.8	1859.2	9.3	0.58	0.70
20.59	ECCO	5	7	335.43	400.18	945.38	334.21	102.00	103.50	100.75	101.25	101.88	206.50	207.50	20.70	3.201	8623	81.5	1687.3	1897.1	10.4	0.58	0.70
20.59	ECCO	6	7	335.43	400.18	945.38	334.21	102.75	103.00	102.00	101.25	102.25	204.50	209.25	20.69	3.182	8532	82.1	1698.7	1873.2	10.2	0.58	0.70

20.59	ECCO	7	7	335.43	400.18	945.38	334.21	102.75	102.25	101.50	102.00	102.13	209.00	207.75	20.84	3.188	7328	81.9	1706.9	1867.7	8.8	0.58	0.70
20.59	ECCO	8	7	335.43	400.18	945.38	334.21	102.75	103.25	102.50	101.50	102.50	209.25	204.25	20.68	3.203	8435	82.5	1706.0	1877.5	10.0	0.58	0.70
20.59	ECCO	9	7	335.43	400.18	945.38	334.21	104.00	103.00	102.00	102.00	102.75	205.75	205.25	20.55	3.198	7453	82.9	1704.0	1876.8	8.8	0.58	0.70
20.59	ECCO	10	14	335.43	400.18	945.38	334.21	101.25	107.00	102.75	101.75	103.19	208.50	206.25	20.74	3.050	12230	83.6	1734.2	1758.7	14.3	0.58	0.70
20.59	ECCO	11	14	335.43	400.18	945.38	334.21	101.00	102.00	103.00	101.75	101.94	207.50	205.75	20.66	3.046	12313	81.6	1686.3	1806.3	14.8	0.58	0.70
20.59	ECCO	12	14	335.43	400.18	945.38	334.21	106.00	104.00	103.75	103.25	104.25	210.00	209.75	20.99	3.124	11006	85.4	1791.4	1743.8	12.6	0.58	0.70
20.59	ECCO	13	14	335.43	400.18	945.38	334.21	103.50	105.00	101.00	101.50	102.75	209.25	208.25	20.88	2.938	9898	82.9	1730.9	1697.4	11.7	0.58	0.70
20.59	ECCO	14	14	335.43	400.18	945.38	334.21	104.25	101.50	101.75	100.25	101.94	205.75	209.25	20.75	3.229	9819	81.6	1693.5	1906.7	11.8	0.58	0.70
20.59	ECCO	15	14	335.43	400.18	945.38	334.21	103.25	104.50	100.50	102.75	102.75	205.00	208.00	20.65	3.183	10470	82.9	1712.3	1858.9	12.4	0.58	0.70
20.59	ECCO	16	14	335.43	400.18	945.38	334.21	103.00	102.50	103.00	102.75	102.81	209.00	205.00	20.70	3.428	10377	83.0	1718.5	1994.8	12.3	0.58	0.70
20.59	ECCO	17	14	335.43	400.18	945.38	334.21	104.75	101.75	102.00	100.75	102.31	205.25	205.00	20.51	3.148	8893	82.2	1686.4	1866.7	10.6	0.58	0.70
20.59	ECCO	18	14	335.43	400.18	945.38	334.21	104.00	104.75	101.25	102.00	103.00	204.75	205.50	20.51	2.496	10769	83.3	1709.2	1460.4	12.7	0.58	0.70
20.59	ECCO	19	21	335.43	400.18	945.38	334.21	104.25	102.50	102.75	101.50	102.75	204.25	206.00	20.51	2.971	10545	82.9	1700.9	1746.7	12.5	0.58	0.70
20.59	ECCO	20	21	335.43	400.18	945.38	334.21	105.25	102.00	102.00	101.00	102.56	206.00	204.75	20.54	3.019	12273	82.6	1696.7	1779.3	14.6	0.58	0.70
20.59	ECCO	21	21	335.43	400.18	945.38	334.21	101.75	104.75	101.50	102.25	102.56	204.75	205.00	20.49	2.988	12569	82.6	1692.6	1765.0	14.9	0.58	0.70
20.59	ECCO	22	21	335.43	400.18	945.38	334.21	102.75	104.00	102.00	102.75	102.88	206.70	204.00	20.54	3.018	12462	83.1	1706.9	1768.1	14.7	0.58	0.70
20.59	ECCO	23	21	335.43	400.18	945.38	334.21	101.25	101.75	102.25	102.50	101.94	205.00	204.50	20.48	3.214	14105	81.6	1671.0	1923.4	16.9	0.58	0.70
20.59	ECCO	24	21	335.43	400.18	945.38	334.21	103.50	102.50	103.00	101.50	102.63	206.50	209.00	20.78	3.088	10767	82.7	1718.5	1797.0	12.8	0.58	0.70
20.59	ECCO	25	21	335.43	400.18	945.38	334.21	103.50	102.75	102.00	100.75	102.25	209.25	204.75	20.70	2.979	11807	82.1	1699.8	1752.3	14.1	0.58	0.70
20.59	ECCO	26	21	335.43	400.18	945.38	334.21	105.00	103.50	100.25	103.00	102.94	207.50	205.75	20.66	2.809	10978	83.2	1719.6	1633.5	12.9	0.58	0.70
20.59	ECCO	27	21	335.43	400.18	945.38	334.21	103.75	103.00	101.25	100.50	102.13	205.50	206.50	20.60	2.735	12469	81.9	1687.4	1620.8	14.9	0.58	0.70
20.59	ECCO	28	28	335.43	400.18	945.38	334.21	102.25	101.25	101.25	101.25	101.50	207.00	206.25	20.66	2.977	13639	80.9	1671.9	1780.6	16.5	0.58	0.70
20.59	ECCO	29	28	335.43	400.18	945.38	334.21	101.00	103.00	101.75	101.25	101.75	208.00	208.00	20.80	2.976	14917	81.3	1691.3	1759.3	18.0	0.58	0.70
20.59	ECCO	30	28	335.43	400.18	945.38	334.21	102.00	102.00	101.25	102.25	101.88	204.75	205.25	20.50	2.912	14177	81.5	1671.0	1742.7	17.1	0.58	0.70
20.59	ECCO	31	28	335.43	400.18	945.38	334.21	103.00	101.00	101.75	101.00	101.69	205.00	207.50	20.63	2.963	15470	81.2	1675.0	1768.6	18.7	0.58	0.70
20.59	ECCO	32	28	335.43	400.18	945.38	334.21	102.00	102.25	101.00	101.25	101.63	208.00	210.50	20.93	2.948	13539	81.1	1697.3	1736.6	16.4	0.58	0.70
20.59	ECCO	33	28	335.43	400.18	945.38	334.21	101.50	104.75	101.25	101.50	102.25	207.00	207.25	20.71	3.003	15512	82.1	1700.8	1765.4	18.5	0.58	0.70

20.59	ECCO	34	28	335.43	400.18	945.38	334.21	104.75	104.00	101.25	102.00	103.00	206.25	208.00	20.71	2.958	13754	83.3	1725.8	1713.7	16.2	0.58	0.70
20.59	ECCO	35	28	335.43	400.18	945.38	334.21	101.25	101.50	101.25	102.25	101.56	209.25	208.25	20.88	3.034	13141	81.0	1691.2	1793.7	15.9	0.58	0.70
20.59	ECCO	36	28	335.43	400.18	945.38	334.21	105.25	105.00	103.00	102.50	103.94	208.00	208.75	20.84	2.902	13497	84.8	1768.0	1641.4	15.6	0.58	0.70
27.46	ECCO	1	7	405.90	400.18	945.38	312.36	102.25	101.25	100.50	102.25	101.56	205.25	208.75	20.70	3.161	13440	81.0	1677.0	1884.9	16.3	0.43	0.70
27.46	ECCO	2	7	405.90	400.18	945.38	312.36	102.25	104.50	100.75	101.75	102.31	205.25	204.50	20.49	3.301	12645	82.2	1684.4	1959.8	15.1	0.43	0.70
27.46	ECCO	3	7	405.90	400.18	945.38	312.36	102.75	101.00	101.50	102.75	102.00	205.50	208.75	20.71	3.029	13222	81.7	1692.5	1789.7	15.9	0.43	0.70
27.46	ECCO	4	7	405.90	400.18	945.38	312.36	103.00	103.75	103.00	101.75	102.88	209.25	209.25	20.93	3.262	12723	83.1	1739.3	1875.5	15.0	0.43	0.70
27.46	ECCO	5	7	405.90	400.18	945.38	312.36	103.25	104.75	102.75	102.50	103.31	209.25	209.50	20.94	3.166	12166	83.8	1755.2	1803.8	14.2	0.43	0.70
27.46	ECCO	6	7	405.90	400.18	945.38	312.36	102.50	101.75	100.50	102.50	101.81	205.50	205.00	20.53	3.051	13083	81.4	1671.0	1825.9	15.8	0.43	0.70
27.46	ECCO	7	7	405.90	400.18	945.38	312.36	104.25	102.75	101.50	102.50	102.75	208.75	205.00	20.69	3.137	12912	82.9	1715.4	1828.7	15.3	0.43	0.70
27.46	ECCO	8	7	405.90	400.18	945.38	312.36	101.25	102.75	103.00	101.75	102.19	204.75	206.25	20.55	3.087	13186	82.0	1685.4	1831.6	15.8	0.43	0.70
27.46	ECCO	9	7	405.90	400.18	945.38	312.36	101.00	103.50	101.25	102.75	102.13	204.25	208.75	20.65	3.241	12711	81.9	1691.5	1916.0	15.2	0.43	0.70
27.46	ECCO	10	14	405.90	400.18	945.38	312.36	102.50	101.00	101.50	101.25	101.56	203.75	203.50	20.36	3.076	15711	81.0	1649.6	1864.7	19.0	0.43	0.70
27.46	ECCO	11	14	405.90	400.18	945.38	312.36	101.00	102.75	101.00	102.00	101.69	204.00	203.25	20.36	3.122	16234	81.2	1653.7	1887.9	19.6	0.43	0.70
27.46	ECCO	12	14	405.90	400.18	945.38	312.36	99.75	103.50	101.00	101.50	101.44	204.00	203.00	20.35	3.112	16848	80.8	1644.6	1892.3	20.4	0.43	0.70
27.46	ECCO	13	14	405.90	400.18	945.38	312.36	105.25	102.25	102.75	101.50	102.94	209.25	207.00	20.81	3.139	15712	83.2	1732.1	1812.3	18.5	0.43	0.70
27.46	ECCO	14	14	405.90	400.18	945.38	312.36	101.75	101.25	102.50	100.50	101.50	205.50	205.75	20.56	3.092	15849	80.9	1663.8	1858.1	19.2	0.43	0.70
27.46	ECCO	15	14	405.90	400.18	945.38	312.36	105.00	104.75	102.75	100.50	103.25	207.00	208.25	20.76	3.282	15220	83.7	1738.4	1887.7	17.8	0.43	0.70
27.46	ECCO	16	14	405.90	400.18	945.38	312.36	101.50	101.25	100.75	100.75	101.06	208.75	209.00	20.89	3.269	14779	80.2	1675.5	1950.7	18.1	0.43	0.70
27.46	ECCO	17	14	405.90	400.18	945.38	312.36	102.25	103.50	102.75	102.50	102.75	209.50	204.00	20.68	3.124	15649	82.9	1714.3	1822.3	18.5	0.43	0.70
27.46	ECCO	18	14	405.90	400.18	945.38	312.36	101.75	102.50	101.50	100.75	101.63	208.00	204.75	20.64	3.100	16614	81.1	1674.0	1851.9	20.1	0.43	0.70
27.46	ECCO	19	21	405.90	400.18	945.38	312.36	101.25	104.75	102.25	102.50	102.69	203.50	205.00	20.43	3.155	17827	82.8	1691.6	1864.8	21.1	0.43	0.70
27.46	ECCO	20	21	405.90	400.18	945.38	312.36	101.25	102.75	102.75	100.75	101.88	204.00	203.00	20.35	3.136	17390	81.5	1658.8	1890.5	20.9	0.43	0.70
27.46	ECCO	21	21	405.90	400.18	945.38	312.36	101.75	101.75	101.00	102.50	101.75	203.75	205.00	20.44	3.143	16267	81.3	1661.8	1891.3	19.6	0.43	0.70
27.46	ECCO	22	21	405.90	400.18	945.38	312.36	104.25	105.25	102.50	101.00	103.25	203.25	205.00	20.41	3.147	17435	83.7	1709.1	1841.3	20.4	0.43	0.70
27.46	ECCO	23	21	405.90	400.18	945.38	312.36	105.00	105.00	102.50	100.50	103.25	204.75	204.50	20.46	3.135	17604	83.7	1713.3	1829.8	20.6	0.43	0.70
27.46	ECCO	24	21	405.90	400.18	945.38	312.36	103.25	102.75	102.25	100.50	102.19	206.50	205.75	20.61	3.169	17148	82.0	1690.5	1874.6	20.5	0.43	0.70

27.46	ECCO	25	21	405.90	400.18	945.38	312.36	105.25	104.00	101.25	101.50	103.00	209.50	205.00	20.73	3.168	17476	83.3	1726.9	1834.5	20.6	0.43	0.70
27.46	ECCO	26	21	405.90	400.18	945.38	312.36	103.50	102.25	100.25	102.25	102.06	209.25	204.75	20.70	3.166	17509	81.8	1693.5	1869.5	21.0	0.43	0.70
27.46	ECCO	27	21	405.90	400.18	945.38	312.36	103.00	104.50	100.75	101.00	102.31	207.50	204.25	20.59	3.135	16896	82.2	1692.6	1852.2	20.2	0.43	0.70
27.46	ECCO	28	28	405.90	400.18	945.38	312.36	101.75	102.25	101.00	101.00	101.50	205.75	205.25	20.55	3.119	16170	80.9	1662.8	1875.8	19.6	0.43	0.70
27.46	ECCO	29	28	405.90	400.18	945.38	312.36	103.00	100.00	101.00	101.50	101.38	207.25	205.00	20.61	3.097	15802	80.7	1663.7	1861.2	19.2	0.43	0.70
27.46	ECCO	30	28	405.90	400.18	945.38	312.36	100.75	103.25	101.25	101.50	101.69	207.50	205.00	20.63	3.128	16963	81.2	1675.0	1867.4	20.5	0.43	0.70
27.46	ECCO	31	28	405.90	400.18	945.38	312.36	101.75	104.00	101.50	101.00	102.06	208.00	204.25	20.61	3.088	16219	81.8	1686.4	1830.9	19.4	0.43	0.70
27.46	ECCO	32	28	405.90	400.18	945.38	312.36	102.75	101.00	102.25	101.50	101.88	204.50	208.50	20.65	3.125	16277	81.5	1683.2	1856.5	19.6	0.43	0.70
27.46	ECCO	33	28	405.90	400.18	945.38	312.36	103.25	102.00	100.50	102.50	102.06	206.75	206.25	20.65	3.153	15975	81.8	1689.4	1866.3	19.1	0.43	0.70
27.46	ECCO	34	28	405.90	400.18	945.38	312.36	103.75	103.25	101.50	100.75	102.31	208.00	204.25	20.61	3.173	16125	82.2	1694.6	1872.4	19.2	0.43	0.70
27.46	ECCO	35	28	405.90	400.18	945.38	312.36	104.50	103.50	102.50	102.00	103.13	204.75	206.50	20.56	3.169	16028	83.5	1717.5	1845.1	18.8	0.43	0.70
27.46	ECCO	36	28	405.90	400.18	945.38	312.36	103.25	104.25	101.25	101.00	102.44	209.00	206.00	20.75	3.145	15969	82.4	1710.1	1839.1	19.0	0.43	0.70
34.32	ECCO	1	7	475.89	392.73	927.78	301.12	104.25	105.00	101.50	101.75	103.13	205.50	205.50	20.55	3.204	15182	83.5	1716.4	1866.6	17.8	0.34	0.70
34.32	ECCO	2	7	475.89	392.73	927.78	301.12	103.75	104.25	101.50	100.50	102.50	209.25	207.50	20.84	3.263	15202	82.5	1719.4	1897.7	18.1	0.34	0.70
34.32	ECCO	3	7	475.89	392.73	927.78	301.12	102.25	103.25	100.50	100.50	101.63	207.50	206.75	20.71	3.182	15004	81.1	1680.1	1894.0	18.1	0.34	0.70
34.32	ECCO	4	7	475.89	392.73	927.78	301.12	102.00	101.75	100.25	100.75	101.19	209.25	208.00	20.86	3.289	15091	80.4	1677.7	1960.4	18.4	0.34	0.70
34.32	ECCO	5	7	475.89	392.73	927.78	301.12	103.75	103.75	102.75	102.50	103.19	206.50	204.75	20.56	3.062	15210	83.6	1719.6	1780.7	17.8	0.34	0.70
34.32	ECCO	6	7	475.89	392.73	927.78	301.12	102.25	105.00	101.50	102.75	102.88	209.00	207.75	20.84	3.144	15126	83.1	1732.0	1815.2	17.8	0.34	0.70
34.32	ECCO	7	7	475.89	392.73	927.78	301.12	104.75	103.75	101.00	101.00	102.63	204.50	204.50	20.45	3.193	15194	82.7	1691.6	1887.6	18.0	0.34	0.70
34.32	ECCO	8	7	475.89	392.73	927.78	301.12	102.75	104.25	102.25	101.50	102.69	207.25	205.50	20.64	3.326	15209	82.8	1709.2	1946.0	18.0	0.34	0.70
34.32	ECCO	9	7	475.89	392.73	927.78	301.12	104.75	102.50	100.75	102.50	102.63	208.75	208.75	20.88	3.162	15227	82.7	1726.7	1831.2	18.1	0.34	0.70
34.32	ECCO	10	14	475.89	392.73	927.78	301.12	102.00	102.50	101.00	101.50	101.75	203.75	206.00	20.49	3.133	19017	81.3	1665.9	1880.7	22.9	0.34	0.70
34.32	ECCO	11	14	475.89	392.73	927.78	301.12	102.25	102.00	101.00	101.00	101.56	205.75	206.75	20.63	3.168	19084	81.0	1670.9	1895.7	23.1	0.34	0.70
34.32	ECCO	12	14	475.89	392.73	927.78	301.12	103.00	100.00	101.75	101.00	101.44	206.75	207.00	20.69	3.157	18760	80.8	1671.8	1888.0	22.8	0.34	0.70
34.32	ECCO	13	14	475.89	392.73	927.78	301.12	103.50	104.75	102.00	102.50	103.19	207.50	207.75	20.76	3.091	19082	83.6	1736.3	1779.9	22.4	0.34	0.70
34.32	ECCO	14	14	475.89	392.73	927.78	301.12	104.50	102.50	100.50	101.75	102.31	208.75	206.75	20.78	3.174	18883	82.2	1708.0	1858.0	22.5	0.34	0.70
34.32	ECCO	15	14	475.89	392.73	927.78	301.12	104.75	104.25	101.50	101.75	103.06	206.25	207.25	20.68	3.303	18784	83.4	1724.8	1914.7	22.1	0.34	0.70

34.32	ECCO	16	14	475.89	392.73	927.78	301.12	105.25	101.25	102.50	101.25	102.56	205.75	204.50	20.51	3.306	18697	82.6	1694.7	1950.8	22.2	0.34	0.70
34.32	ECCO	17	14	475.89	392.73	927.78	301.12	101.50	104.50	100.50	100.75	101.81	207.00	205.75	20.64	3.180	18795	81.4	1680.2	1892.7	22.6	0.34	0.70
34.32	ECCO	18	14	475.89	392.73	927.78	301.12	101.50	103.00	101.50	102.75	102.19	207.50	206.75	20.71	3.104	19032	82.0	1698.7	1827.3	22.8	0.34	0.70
34.32	ECCO	19	21	475.89	392.73	927.78	301.12	102.25	101.75	100.50	100.50	101.25	205.25	205.75	20.55	3.174	18874	80.5	1654.6	1918.0	23.0	0.34	0.70
34.32	ECCO	20	21	475.89	392.73	927.78	301.12	103.50	105.25	102.75	101.25	103.19	203.50	203.75	20.36	3.158	19139	83.6	1702.8	1854.2	22.4	0.34	0.70
34.32	ECCO	21	21	475.89	392.73	927.78	301.12	104.50	104.25	101.75	102.25	103.19	205.25	205.00	20.51	3.212	20125	83.6	1715.4	1872.2	23.6	0.34	0.70
34.32	ECCO	22	21	475.89	392.73	927.78	301.12	105.25	104.00	102.50	102.25	103.50	205.25	206.00	20.56	3.188	18885	84.1	1730.0	1842.5	22.0	0.34	0.70
34.32	ECCO	23	21	475.89	392.73	927.78	301.12	102.00	103.75	103.00	101.25	102.50	206.25	205.25	20.58	3.161	20042	82.5	1697.8	1861.9	23.8	0.34	0.70
34.32	ECCO	24	21	475.89	392.73	927.78	301.12	103.25	104.00	100.25	101.25	102.19	204.50	204.00	20.43	3.175	19564	82.0	1675.1	1895.4	23.4	0.34	0.70
34.32	ECCO	25	21	475.89	392.73	927.78	301.12	104.25	102.00	100.75	102.50	102.38	206.75	204.75	20.58	3.212	19123	82.3	1693.6	1896.5	22.8	0.34	0.70
34.32	ECCO	26	21	475.89	392.73	927.78	301.12	103.50	104.75	101.50	101.00	102.69	209.00	204.50	20.68	3.191	18916	82.8	1712.3	1863.6	22.4	0.34	0.70
34.32	ECCO	27	21	475.89	392.73	927.78	301.12	103.25	101.25	100.75	102.25	101.88	206.50	205.50	20.60	3.140	19586	81.5	1679.2	1870.0	23.6	0.34	0.70
34.32	ECCO	28	28	475.89	392.73	927.78	301.12	103.75	100.75	101.25	102.00	101.94	205.75	205.00	20.54	3.146	20082	81.6	1676.1	1877.0	24.1	0.34	0.70
34.32	ECCO	29	28	475.89	392.73	927.78	301.12	102.25	102.00	101.25	101.00	101.63	205.25	205.00	20.51	3.178	22305	81.1	1663.8	1910.0	27.0	0.34	0.70
34.32	ECCO	30	28	475.89	392.73	927.78	301.12	101.25	102.00	101.50	101.25	101.50	205.00	206.00	20.55	3.153	19884	80.9	1662.8	1896.2	24.1	0.34	0.70
34.32	ECCO	31	28	475.89	392.73	927.78	301.12	102.50	101.25	101.25	101.00	101.50	205.75	206.00	20.59	3.191	21884	80.9	1665.8	1915.3	26.5	0.34	0.70
34.32	ECCO	32	28	475.89	392.73	927.78	301.12	104.50	104.00	100.75	101.00	102.56	205.00	207.25	20.61	3.153	19994	82.6	1702.9	1851.5	23.7	0.34	0.70
34.32	ECCO	33	28	475.89	392.73	927.78	301.12	102.00	102.00	101.25	102.25	101.88	204.00	206.25	20.51	3.169	20619	81.5	1672.0	1895.3	24.8	0.34	0.70
34.32	ECCO	34	28	475.89	392.73	927.78	301.12	102.50	104.00	100.50	101.00	102.00	205.25	208.00	20.66	3.215	20588	81.7	1688.4	1904.2	24.7	0.34	0.70
34.32	ECCO	35	28	475.89	392.73	927.78	301.12	105.00	102.50	100.75	100.75	102.25	205.50	205.00	20.53	3.182	21209	82.1	1685.4	1888.0	25.3	0.34	0.70
34.32	ECCO	36	28	475.89	392.73	927.78	301.12	102.00	102.25	102.75	101.00	102.00	208.75	206.00	20.74	3.140	21499	81.7	1694.5	1853.0	25.8	0.34	0.70

Fuente: Elaboración Propia



Arequipa - Perú

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

CONSTANCIA

El que suscribe, **Dr. Ing. Alejandro Hidalgo Valdivia** Coordinador de Laboratorio de Suelos y Concreto de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Santa María de Arequipa,

HACE CONSTAR

Que el (los) Señor(es) Bachiller(es) en Ingeniería Civil:

TALAVERA MENDOZA, ALEJANDRA VICTORIA (COD - 2013701662)
PEÑA BLONDET, JUAN DIEGO (COD - 2013602021)

Han realizado los ensayos en el Laboratorio de Suelos y Concreto correspondientes a su trabajo de tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con la tesis denominada:

"OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE MEZCLA DE CONCRETO LIGERO CON IGNIMBRITA Y EVALUACIÓN DE MODELOS DE SOSTENIBILIDAD PARA LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA EN LA CANTERA DE AÑASHUAYCO EN LA CIUDAD DE AREQUIPA"

Los ensayos efectuados por los señores Bachilleres fueron los siguientes:

DESCRIPCIÓN	C.U al 25%	CANTIDAD	TOTAL
Análisis Granulométrico de Agregados Grueso y Finos - Incluye Módulo de Fineza	12.50	18.00	225.00
Material Más Fino que el Tamiz 75 µM (Nº 200)	10.00	8.00	80.00
Peso Unitario Suelto	6.25	18.00	112.50
Peso Unitario Varillado	8.75	18.00	157.50
Abrasión Los Ángeles (L.A.) al Desgaste de los Agregados de Tamaños Menores a 1 1/2"	27.50	5.00	137.50
Compresión de Probetas de Concreto de 4" y 6"	3.00	540.00	1620.00
		TOTAL	2332.50

El costo total de los ensayos realizados asciende a: S/. 2,332.50

El costo cancelado por dichos ensayos asciende a: S/. 500.00* (Comprobante BO17-00001591)
*Según autorización de la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil.

Los trabajos realizados en las instalaciones del Laboratorio de Suelos y Concreto, se llevaron a cabo entre el **24/07/2018** y el **02/11/18**.

Se expide la presente constancia a solicitud de los interesados para continuidad en el trámite de titulación.

Arequipa, 23 de Noviembre del 2018

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Dr. Ing. ALEJANDRO VICTOR HIDALGO VALDIVIA
COORDINADOR DE LOS LABORATORIOS DE INGENIERIA (C.V.I.)
EPIC- FAICA - CAMPUS PARQUE INDUSTRIAL

6. Panel Fotográfico



Fotografía 1: Obtención de Ignimbrita de Ruma



Fotografía 4: Ensayo Contenido de Finos Ignimbrita



Fotografía 2: Transporte de la Ignimbrita



Fotografía 5: Ensayo de Abrasión Ignimbrita



Fotografía 3: Ensayo de PUS de la Arena



Fotografía 6: Vaciado de Mezcla de Concreto



*Fotografía 7: Medición del Peso
Unitario Fresco*



Fotografía 9: Rotura Método Factorial



Fotografía 8: Rotura Método Factorial



*Fotografía 10: Rotura Método
Factorial*



Fotografía 11: Rotura Método Chandra y Benrtsson



Fotografía 13: Rotura Método Chandra y Benrtsson



Fotografía 12: Rotura Método Chandra y Benrtsson



Fotografía 14: Muestra de Probetas