



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN HORMIGÓN
AUTOCOMPACTANTE CON AGREGADO GRUESO LIVIANO”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

TIGRERO CHALÉN BIANCA NICOLE
VILLÓN PANCHANA CALEB JOSUÉ

TUTOR:

ING. JAIME FERNANDO ARGUDO RODRÍGUEZ, Ph. D

LA LIBERTAD, ECUADOR

2024

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

**“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN
HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE CON
AGREGADO GRUESO LIVIANO”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

TIGRERO CHALÉN BIANCA NICOLE

VILLÓN PANCHANA CALEB JOSUÉ

TUTOR:

ING. JAIME FERNANDO ARGUDO RODRÍGUEZ, Ph. D

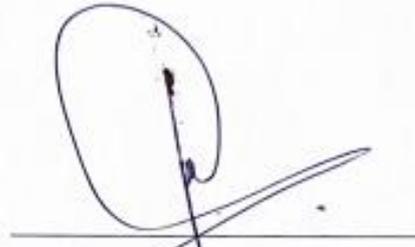
LA LIBERTAD, ECUADOR

2024

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



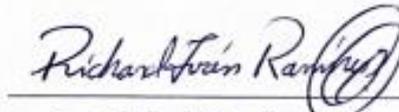
Ing. Lucrecia Moreno Alcívar, Ph. D
DIRECTOR DE CARRERA



Ing. Jaime Argudo Rodríguez, Ph. D
DOCENTE TUTOR



Ing. Raúl Villao Vera, MSc
DOCENTE ESPECIALISTA



Ing. Richard Ramírez Palma
DOCENTE UIC

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mi abuela Lucila Loor, quien me brindó su amor incondicional.

A mis padres Raúl Tigrero y Diana Chalén por acompañarme por este camino y apoyarme en cada momento de mi vida.

BIANCA NICOLE TIGRERO CHALÉN

Dedico este trabajo de titulación primero a Dios por la vida y capacidades para completar esta meta.

A mis padres Víctor Villón Reyes y Antonieta Rosario Panchana Vargas por siempre guiarme en mis estudios y ser una fuente de inspiración para nunca rendirme.

A mis hermanos por siempre ser mis ejemplos por seguir y darme la fuerza para siempre seguir superándome.

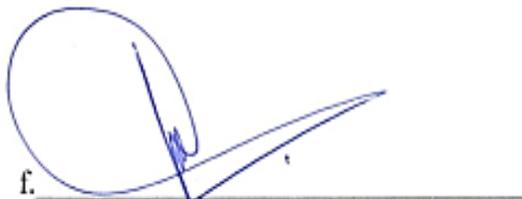
CALEB JOSUE VILLÓN PANCHANA

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema **“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE CON AGREGADO GRUESO LIVIANO”**, previo a la obtención del Título de **INGENIERO CIVIL** elaborado por, **BIANCA NICOLE TIGRERO CHALEN** y **CALEB JOSUE VILLÓN PANCHANA**, con C.I.: 245074477-2 y C.I.: 245041432-7 respectivamente, egresados de la **CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**, de la facultad de **CIENCIAS DE LA INGENIERÍA** de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que una vez analizado en el sistema anti plagio COMPILATIO, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un 7% de la valoración permitida, por consiguiente se procede a emitir el presente informe.

Adjunto reporte de similitud.

Atentamente,



f. _____

Ing. Jaime Fernando Argudo Rodríguez, PhD.

DOCENTE TUTOR

TIGRERO_VILLÓN_TESIS FINAL

7% Textos sospechosos

6% Similitudes
< 1% similitudes entre comillas
< 1% entre las fuentes mencionadas

2% Idiomas no reconocidos

Nombre del documento: TIGRERO_VILLÓN_TESIS FINAL.docx
ID del documento: d3375daf7653acd82f43b4d038bd716b87b4220
Tamaño del documento original: 13,33 MB

Depositante: JAIME FERNANDO ARGUDO RODRIGUEZ
Fecha de depósito: 22/6/2024
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 22/6/2024

Número de palabras: 27.073
Número de caracteres: 181.046

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	TESIS ALTAMIRANO - GONZALEZ.docx TESIS ALTAMIRANO - GONZALEZ #e1a23e El documento proviene de mi grupo 43 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (273 palabras)
2	Documento de otro usuario #372b62 El documento proviene de otro grupo 54 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (183 palabras)
3	repositorio.upse.edu.ec https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/9923/1/AJPSE-TIC-2023-0021.pdf 28 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (157 palabras)
4	dspace.ups.edu.ec https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22314/1/UPS - TT5740.pdf 30 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (126 palabras)
5	repositorio.upse.edu.ec https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/8250/1/AJPSE-TIP-2022-0016.pdf 5 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (128 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	bibliotecavirtual.dgb.umich.mx http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx/8083/xmlui/bitstream/DGB_UMICH/7064/1/RC-L-2008-0254.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (40 palabras)
2	dspace.ups.edu.ec Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesia... https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22314	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (36 palabras)
3	dspace.ucuenca.edu.ec https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/31362/3/Trabajo de titulación.pdf.txt	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (34 palabras)
4	ru.dgb.unam.mx https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TE501000709545/3/0709545.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (31 palabras)
5	repositorio.upao.edu.pe https://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/20.500.12759/633/1/REP_ING_CML_CARLOS.MOLINA_SAU...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (33 palabras)

Fuentes ignoradas Estas fuentes han sido retiradas del cálculo del porcentaje de similitud por el propietario del documento.

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.upse.edu.ec https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/10037/4/UPSE-TIC-2023-0026.pdf	3%		Palabras idénticas: 3% (873 palabras)
2	repositorio.upse.edu.ec https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/5963/1/AJPSE-TIC-2021-0005.pdf	2%		Palabras idénticas: 2% (504 palabras)
3	www.normalizacion.gob.ec https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/NTE_INEN_863.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (230 palabras)
4	repositorio.upse.edu.ec Diseño de mezclas de hormigón autocompactante con a... https://repositorio.upse.edu.ec/xmlui/handle/46000/10037	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (28 palabras)
5	repositorio.uss.edu.pe Comportamiento de las propiedades físico - mecánicas d... https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/11850	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (19 palabras)
6	Documento de otro usuario #339656 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (22 palabras)
7	www.doi.org https://www.doi.org/10.1016/j.CONBUILDMAT.2011.12.070	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

VILLÓN PANCHANA, declaramos bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado “ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE CON AGREGADO GRUESO LIVIANO”, no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera de Ingeniería Civil, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito y perteneciente de nuestra autoría.

Por medio de la presente declaración cedo los derechos de autoría y propiedad intelectual, correspondiente a este trabajo, a la Universidad Estatal Península De Santa Elena, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente

Atentamente,

f. 

Bianca Nicole Tigrero Chalén

CI: 245074477-2

AUTOR DE TESIS

f. 

Caleb Josué Villón Panchana

CI: 245041432-7

AUTOR DE TESIS

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. Jaime Fernando Argudo Rodríguez, PhD.

TUTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo denominado **“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE CON AGREGADO GRUESO LIVIANO”**, previo a la obtención del Título de **INGENIERO CIVIL** elaborado por, **BIANCA NICOLE TIGRERO CHALEN** y **CALEB JOSUE VILLÓN PANCHANA**, con C.I.: 245074477-2 y C.I.: 245041432-7 respectivamente, egresados de la **CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**, de la facultad de **CIENCIAS DE LA INGENIERÍA** de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes,

Atentamente,

f. 

Ing. Jaime Fernando Argudo Rodríguez, PhD.

DOCENTE TUTOR

CERTIFICACIÓN DE GRAMATOLOGÍA

Lcda. Betty Ruth Gómez Suárez, Mgtr.
Celular: 0962183538
Correo: bettyruthgomez@educacion.gob.ec

CERTIFICACIÓN GRAMATICAL Y ORTOGRÁFICA

Yo, **BETTY RUTH GÓMEZ SUÁREZ**, en mi calidad de **LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN Y MAGÍSTER EN DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MODELOS EDUCATIVOS**, por medio de la presente tengo a bien indicar que he leído y corregido el Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, denominado **"ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE CON AGREGADO GRUESO LIVIANO"**, de los estudiantes: **TIGRERO CHALEN BIANCA NICOLE** y **VILLÓN PANCHANA CALEB JOSUE**.

Certifico que está redactado con el correcto manejo del lenguaje, claridad en las expresiones, coherencia en los conceptos e interpretaciones, adecuado empleo en la sinonimia. Además de haber sido escrito de acuerdo a las normas de ortografía y sintaxis vigentes.

En cuanto puedo decir en honor a la verdad y autorizo a los interesados hacer uso del presente como estime conveniente.

Santa Elena, 21 de Junio del 2024



Lcda. Betty Ruth Gómez Suárez, Mgtr.
CI. 0915036529
LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN
MAGÍSTER EN DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MODELOS EDUCATIVOS
N° DE REGISTRO DE SENECYT 1050-2014-86052892

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitir concluir esta etapa de la vida, con salud y sabiduría.

A mis padres, Diana Chalen y Raúl Tigreiro quienes me enseñaron a no rendirme, conseguir mis objetivos, confiando en mis decisiones y apoyándome en las diferentes etapas que he vivido.

A mis hermanos Carolina Chalen, Isaac Tigreiro y especialmente a Valeria Tigreiro y Nabila Tigreiro por el tiempo compartido, anécdotas y risas. A mi sobrino Santiago Bernabé por iluminar mis días con su sonrisa y cambiar la perspectiva de mi vida en varios aspectos.

A Neira Gilda, Pezo Melanie y Vélez Anthony gracias por su amistad y los momentos compartidos durante esta época universitaria. A todas las personas que contribuyeron con la realización de este trabajo de titulación y brindaron información valiosa para mi crecimiento personal.

BIANCA NICOLE TIGREIRO CHALÉN

Agradezco a Dios por brindarme el tiempo, la salud y la fuerza para continuar ante las adversidades que surgen en el camino y nunca desfallecer.

A mis padres, Víctor Villón y Antonieta Panchana por siempre confiar en mí y en mis decisiones, y al mismo tiempo por enseñarme que a veces el camino más corto no siempre es el correcto para lograr el éxito.

A mis Hermanos Víctor J. Villón y Karen Villón por mostrarme que con fuerza y dedicación nada está fuera de tu alcance y a nunca rendirme, a mi hermana Prince Villon por los buenos momentos en los que las risas lograban relajarme y sentirme aliviado.

Al Ing. Jaime Argudo por su guía, dedicación y paciencia que nos brindó a mi compañera Bianca Tigrero, y a mí durante la realización de nuestro trabajo de titulación.

A mi enamorada, Ing. Carol Roxana Reyes Villón por su cariño y compañía en los buenos y malos momentos, también por brindarme su apoyo incondicional en cada aspecto de mi vida personal y universitaria.

A Edda Chiquito, Luis Alarcón, Kevin Orrala, Alejandro Borbor y Adrián Domínguez por brindarme su valiosa amistad y su ayuda durante mi paso por la carrera de Ingeniería Civil.

CALEB JOSUE VILLÓN PANCHANA

TABLA DE CONTENIDO

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	ii
DEDICATORIA	iii
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	v
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	vii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	viii
CERTIFICACIÓN DE GRAMATOLOGÍA.....	ix
AGRADECIMIENTOS	x
RESUMEN	xxi
ABSTRACT	xxii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.2. ANTEDECENTES	4
1.3. HIPÓTESIS	7
1.3.1. Hipótesis General.	7
1.3.2. Hipótesis Específicas.	7
1.4. OBJETIVOS.....	7
1.4.1. Objetivo General.	7
1.4.2. Objetivos Específicos.	7
1.5. ALCANCE.....	8
1.6. VARIABLES	10
1.6.1. Variables Dependientes.	10
1.6.2. Variables Independientes.	10
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	11
2.1. DEFINICIÓN	11
2.1.1. Hormigón autocompactante.....	11

2.2. ELEMENTO QUE COMPONEN LA FABRICACIÓN DE HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE.....	13
2.2.1. Cemento.	13
2.2.2. Agua.....	15
2.2.3. Aditivos.....	16
2.2.3.1. Especificaciones ASTM C494.	17
2.2.3.2. Aditivos superplastificantes clasificación como tipo F y G conforme a ASTM C 494.	19
2.2.4. Áridos.	20
2.2.4.1. Agregado grueso liviano.....	20
2.2.4.2. Agregado fino.....	21
2.2.5. Ladrillo.....	22
2.2.5.1. Ladrillo refractario.....	23
2.3. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE ..	23
2.4. ENSAYOS PARA EL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE...25	25
2.4.1. ASTM C 1610 Método de ensayo de segregación estática del Hormigón Autocompactante utilizando la columna técnica.	25
2.4.2. ASTM C 1611 Método de prueba estándar para Flujo de asentamiento del hormigón autocompactante.	26
2.4.3. ASTM C 1621 Método de prueba estándar para la capacidad de paso del Hormigón Autocompactante por el J-Ring.	27
2.4.4. NTE INEN 1 573:2010 Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico.	29
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	31
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	31
3.1.1. Tipo.....	31
3.1.2. Nivel.....	31
3.2. MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN..32	32
3.2.1. Método.....	32
3.2.2. Enfoque.	32
3.2.3. Diseño.	33
3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO	33
3.3.1. Población.....	33
3.3.2. Muestra.	34

3.3.3. Muestreo.....	35
3.4. METODOLOGÍA O.E.1: DETERMINAR LA FUNCIONALIDAD DEL LADRILLO REFRACTARIO ARTESANAL COMO AGREGADO GRUESO LIVIANO SEGÚN LA NORMATIVA NTE INEN 872/ASTM C33	35
3.4.1. Ensayos de laboratorio para el agregado grueso.	35
3.4.1.1. NTE INEN 863 ÁRIDOS. Determinación de la solidez de los áridos mediante el uso de sulfato de sodio o de sulfato de magnesio.	36
3.4.1.2. NTE INEN 860 ÁRIDOS. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37.5 mm mediante el uso de la máquina de los ángeles.....	37
3.4.1.3. ASTM 4791-99 Método de prueba estándar para Partículas planas, partículas alargadas o planas en Agregado Grueso.....	38
3.4.1.4. NTE INEN 696. Análisis Granulométrico.....	38
3.4.1.5. Material más fino que pasa el tamiz 75 µm (NTE INEN 697).....	39
3.4.1.6. Determinación de la densidad saturada superficialmente seca (NTE INEN 857).	40
3.4.1.7. NTE INEN 858 Determinación de la masa unitaria.....	40
3.5. METODOLOGÍA O.E.2: EVALUAR EL DESEMPEÑO DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE POR MEDIO DE LAS NORMAS ASTM C1610, ASTM C1611 Y ASTM C1621.	42
3.5.1. ASTM C1610 Método de ensayo estándar para segregación estática del hormigón autocompactante (Columna Técnica).....	42
3.5.2. ASTM C1611 Método estándar de ensayo para el flujo de asentamiento de hormigón autocompactante.	44
3.5.3. ASTM C1621 Método estándar de prueba capacidad de paso para hormigón autocompactante por J-Ring.....	45
3.6. METODOLOGÍA O.E.3: ANALIZAR Y COMPARAR LAS DENSIDADES Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN OBTENIDAS PARA EL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE LIVIANO CON RESPECTO A LA MEZCLA DE HORMIGÓN DE PESO NORMAL Y DETERMINAR EL FACTOR λ (LAMBDA).	46
3.6.1. NTE INEN 1573 Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico.....	47
3.6.2. Requisitos de reglamento para concreto estructural ACI 318-19.	47

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 52

4.1. DETERMINAR LA FUNCIONALIDAD DEL LADRILLO REFRACTARIO ARTESANAL COMO AGREGADO GRUESO LIVIANO SEGÚN LA NORMATIVA NTE INEN 872/ASTM C33. (O.E1.)	52
.....	52
4.1.1. Análisis granulométrico.....	53
4.1.2. Material más fino que pasa 75 µm.....	53
4.1.3. Determinación de la masa unitaria.....	54
4.1.3.1. Peso volumétrico varillado.....	54
4.1.3.2. Peso volumétrico suelto.....	54
4.1.4. Densidad saturada superficialmente seca.....	55
4.1.5. Elongación y lajosidad.....	55
4.1.6. Abrasión de los ángulos.....	56
4.1.7. Reactividad alcalina.....	56
4.2. EVALUAR EL DESEMPEÑO DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE LWSCC POR MEDIO DE LAS NORMAS ASTM 1610, ASTM 1611 Y ASTM 1621. (O.E2.)	57
4.2.1. Mezcla de hormigón por el método ACI 211.1 ajustando el factor de A/C a 0.45.	57
4.2.2. Dosificación de aditivos para la mezcla.....	63
4.2.3. Ensayo ASTM C1610 “Segregación estática del hormigón autocompactante”	
.....	65
4.2.4. Ensayo ASTM C1611 “Flujo de asentamiento del hormigón autocompactante”.	
.....	66
4.2.5. Ensayo ASTM C1621 “Capacidad de paso del Hormigón autocompactante”.	
.....	67
4.2.6. Fluidéz de la mezcla de hormigón autocompactante mediante elemento tipo u.	68
4.3. ANALIZAR Y COMPARAR LAS DENSIDADES DEL MATERIAL Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN OBTENIDAS PARA EL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE LIVIANO CON RESPECTO A LA DE UN HORMIGÓN DE PESO NORMAL; Y DETERMINAR EL FACTOR λ (LAMBDA). (O.E.3)	71

4.3.1. Cilindros de hormigón.....	71
4.3.2. Prueba ASTM C39 “Compresión simple del Hormigón”.....	71
4.3.3. Análisis de Densidades.	75
4.3.4. Determinación del factor λ (LAMBDA).	77
4.4. RESUMEN DE RESULTADOS.	77
4.5. DISCUSION DE RESULTADOS.	79
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	82
5.1. CONCLUSIONES.....	82
5.2. RECOMENDACIONES.....	83
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84
7. ANEXOS	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Hormigón autocompactante. Mezcla de HAC.....	13
Figura 2 Análisis granulométrico del agregado grueso	21
Figura 3 Molde tipo columna.....	25
Figura 4 Placa colectora.....	26
Figura 5 Molde para ensayo de asentamiento descrito en el método ASTM C143/C143M.....	27
Figura 6 Molde J-Ring	28
Figura 7 Ensayo resistencia a la compresión	30
Figura 8 Máquina de Los Ángeles	37
Figura 9 Análisis granulométrico.....	39
Figura 10 Ensayo de determinación de masa unitario	41
Figura 11 Columna técnica fabricada con PVC.....	43
Figura 12 Método estándar de ensayo para el flujo de asentamiento de HAC.	45
Figura 13 Ensayo aplicando la norma ASTM C1621	466
Figura 14 Ensayo granulométrico agregado grueso.....	58
Figura 15 Ensayo granulométrico agregado fino.....	59
Figura 16 ASTM 1610 Segregación Estática.....	666
Figura 17 ASTM 1611 Flujo de Asentamiento.....	677
Figura 18 ASTM 1621 Capacidad de paso del hormigón.....	688
Figura 19 Vaciado de mezcla 2A en estructura tipo U.	699
Figura 20 Vaciado de mezcla 2B en estructura tipo U.	699
Figura 21 Vaciado de mezcla 2C en estructura tipo U.	70
Figura 22 Compresión Simple mezcla control y 2A.....	72
Figura 23 Compresión simple mezcla control y 2B.....	73
Figura 24 Compresión simple mezcla control y 2C.....	74
Figura 25 Compresión Simple de mezcla control, 2A, 2B y 2C.....	74
Figura 26 Densidad de cilindros de hormigón peso normal, mezcla 2A, 2B y 2C.	76
Figura 27 Densidad de cilindros de hormigón de peso normal y mezcla 2A.	76

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Análisis granulométrico del agregado fino	22
Tabla 2 Dimensiones de Ladrillo Refractario	23
Tabla 3 Evaluación de bloqueo	29
Tabla 4 Fracciones de la muestra de árido grueso según su composición	36
Tabla 5 Tamices para determinar la pérdida según las fracciones del árido grueso	377
Tabla 6 Masa mínima para la muestra de ensayo de material más fino que pasa por el tamiz 75 μ m.....	39
Tabla 7 Tabla 19.2.4.2 – factor de modificación λ	48
Tabla 8 Cuadro de Operacionalización de Variables	49
Tabla 9 Resultados de material más fino de 75 μ m	54
Tabla 10 Determinación de masa unitaria.....	555
Tabla 11 Índice de alargamiento y aplanamiento.....	566
Tabla 12 Desgaste del agregado grueso	56
Tabla 13 Desgaste de la solidez de los áridos.	57
Tabla 14 Características del agregado grueso.	58
Tabla 15 Características del agregado fino.	599
Tabla 16 Volumen de agregado grueso por volumen unitario.	60
Tabla 17 Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción. ..	611
Tabla 18 Contenido de agua de mezclado y contenido de aire.	61
Tabla 19 Volúmenes de material para 1 m ³	62
Tabla 20 Peso de mezcla para elaboración de cilindros.....	633
Tabla 21 Peso de aditivo en polvo en la mezcla de hormigón.	63
Tabla 22 Peso de aditivo tipo D en la mezcla de hormigón.....	644
Tabla 23 Peso de aditivo tipo F en la mezcla de hormigón.....	64
Tabla 24 Resistencia a la Compresión Mezcla Control y 2A.	722
Tabla 25 Resistencia a la Compresión Mezcla Control y 2B.....	733
Tabla 26 Resistencia a la Compresión Mezcla Control y 2C.....	73
Tabla 27 Cilindros de hormigón de peso normal, mezcla 2A, 2B Y 2C.....	75

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 Ensayo de granulometría agregado grueso.....	89
Anexo 2 Ensayo de granulometría del agregado fino.....	900
Anexo 3 Determinación del Material más fino que pasa 75 μm	911
Anexo 4 Determinación de masa unitaria.....	922
Anexo 5 Determinación de densidad saturada superficialmente seca.	933
Anexo 6 Determinación de Partículas planas, partículas alargadas o planas en Agregado Grueso.	944
Anexo 7 Ensayo Abrasión de los Ángeles.....	955
Anexo 8 Reactividad Alcalina.	966
Anexo 9 Pruebas con Aditivo tipo D.	977
Anexo 10 Ensayo ASTM 1610, Mezcla 2A.	988
Anexo 11 Ensayo ASTM 1610, Mezcla 2B.	99
Anexo 12 Ensayo ASTM 1610, Mezcla 2C.	1000
Anexo 13 Ensayo ASTM 1611, Mezcla 2A.	1011
Anexo 14 Ensayo ASTM 1611, Mezcla 2B.	1022
Anexo 15 Ensayo ASTM 1611, Mezcla 2C.	1033
Anexo 16 Ensayo ASTM 1621, Mezcla 2A.	1044
Anexo 17 Ensayo ASTM 1621, Mezcla 2B.	1055
Anexo 18 Ensayo ASTM 1621, Mezcla 2C.	1066
Anexo 19 Especificaciones de estructura tipo U.	1077
Anexo 20 Armado de Estructura tipo U.	1088
Anexo 21 Especímenes tipo U.....	10909
Anexo 22 Cilindros de hormigón.....	1100
Anexo 23 Comprensión simple de mezcla control.	1111
Anexo 24 Comprensión simple de mezcla 2A.....	1122
Anexo 25 Comprensión simple de mezcla 2B.....	1133
Anexo 26 Comprensión simple de mezcla 2C.....	1144
Anexo 27 Datos de un hormigón de peso normal.....	1155

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1 Porcentaje de segregación estática	26
Ecuación 2 Flujo de asentamiento.....	27
Ecuación 3 Flujo de anillo.....	28
Ecuación 4 Densidad.....	47
Ecuación 5 Peso del agregado grueso.	60

“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE CON AGREGADO GRUESO LIVIANO”

Autores: Bianca Nicole Tigrero Chalen y Caleb Josué Villón Panchana

Tutor: Ing. Jaime Fernando Argudo Rodríguez PhD

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es estudiar el comportamiento del hormigón autocompactante fabricado con agregado grueso de tipo liviano y aditivo superplastificante basado en policarboxilato para evaluar la segregación, capacidad de paso y flujo de asentamiento por medio de la aplicación de las normas ASTM C1610, ASTM C1611 y ASTM C1621. Se realizaron 3 mezclas designadas como mezcla 2A al 1.0%, mezcla 2B al 1.5% y la mezcla 2C al 2.0% de aditivo policarboxilato con una adición 0.5% de aditivo tipo D y del 5% de microsílica. Se concluye a la mezcla 2A como óptima al poseer buenas características, de esta forma cumple con los requisitos de las normas establecidas en estado fresco y se obtuvo buenos resultados como una buena capacidad de paso, baja densidad, trabajabilidad, fluidez además de adaptabilidad a estructuras no convencionales. La mezcla 2B se encuentra dentro de los parámetros establecidos de las normas ASTM descritas y la mezcla 2C presenta inconvenientes debido a su exceso de fluidez que disminuye la capacidad de paso, genera mayor flujo de asentamiento que excede el rango establecido y cumple con la norma ASTM C1610.

Palabras Clave: *Hormigón autocompactante, hormigón ligero autocompactante, aditivo superplastificante basado en policarboxilato, fluidez, trabajabilidad.*

"STUDY OF THE BEHAVIOR OF A SELF-COMPACTING CONCRETE WITH LIGHTWEIGHT COARSE AGGREGATE".

Authors: Bianca Nicole Tigrero Chalen y Caleb Josué Villón Panchana

Tutor: Ing. Jaime Fernando Argudo Rodríguez PhD

ABSTRACT

The objective of this research is to study the behavior of self-compacting concrete manufactured with light coarse aggregate and polycarboxylate-based superplasticizer additive to evaluate segregation, passage capacity and flow of fall using ASTM C1610, ASTM C1611 and ASTM C1621 standards. 3 mixtures designated as mixture 2A to 1.0% were made, mixture 2B to 1.5% and mixture 2C to 2.0% polycarboxylate additive with an addition of 0.5% additive type D and 5% microsilic. The mixture 2A is concluded as optimal because it has good performance characteristics, in this way it meets the requirements of the standards established in fresh state and good results were obtained as a good passing capacity, low density, viability, fluency and adaptability to unconventional structures. The 2B mixture is within the established parameters of the ASTM standards described and the 2C mixture has drawbacks due to its excess fluidity which reduces the flow capacity, generates a higher sedimentation flow that exceeds the established range and meets the ASTM standard. C1610.

Key words: *Self-Compacting Concrete, Self-Compacting Lightweight Concrete, Polycarboxylate-based Superplasticizing Additive, fluency, workability.*

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La característica distintiva del hormigón autocompactante radica en su capacidad para consolidarse sin requerir energía adicional, evitando la separación de los materiales y manteniendo una alta facilidad de manipulación en estado fresco, puede rellenar moldes o encofrados sin dificultades, incluso cuando la estructura contiene una alta cantidad de acero (Ruiz Brito & Suárez Ortuño, 2021) y (Peláez Carretero, 2014).

Ribeiro et al. (2017) y León Brito (2012) mencionan la necesidad de crear tecnologías innovadoras para producir esta combinación autocompactante de forma sostenible y asequible que brinde una buena compatibilidad y duración; esto debido a que existen diversas estructuras que son fuertemente armadas de acero por lo que se dificulta la vibración, además que la mezcla con base química de polycarboxilato tiene tendencia a fraguar rápidamente, por el cual se recomienda emplear un agente químico retardante para controlar este proceso y prevenir la segregación en la mezcla.

Evaristo et al., (2021), Llamo Cubas (2023) y Santiago Patricio (2011), señalan que el uso de aditivos superplastificantes, específicamente aquellos que contienen polycarboxilato en una proporción del 0,5% al 1,0% con respecto al peso del cemento en la mezcla, ayuda a retrasar la hidratación del cemento. Esto implica que el proceso de fraguado del hormigón se ralentiza, lo que permite aumentar el contenido de aire y reducir su dispersión. En estas proporciones, el hormigón autocompactante alcanza su mejor nivel de manejabilidad, fluidez y resistencia.

Principalmente, el hormigón autocompactante requiere una mayor cantidad de áridos finos para que la mezcla disminuya su volumen de vacíos, lo que resulta en un concreto más denso y, por ende, con mayor resistencia a la compresión. Además, para este tipo de hormigón, es necesario usar aditivos como superplastificantes y,

en ocasiones, si la mezcla no cumple con los estándares, se utilizan agentes modificadores de viscosidad (Bermejo Núñez, 2009; Cañizares, 2012).

Nepomuceno et al. (2018), mencionan que, en las últimas décadas, la investigación intensiva en el campo de los materiales estructurales ha llevado al desarrollo de hormigones con características especiales, como los hormigones ligeros autocompactantes. Estos hormigones combinan la autocompatibilidad con la ventaja de tener una densidad reducida, lograda generalmente mediante la incorporación de agregados livianos. Además, los estudios indican que el análisis de segregación dinámica y estática en el diseño de mezclas de hormigón autocompactante, los que incluyen agregados gruesos livianos de arcilla expandida, muestran un comportamiento adecuado con la distribución uniforme de los agregados livianos.

1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Un problema frecuente en la industria de la construcción surge cuando el hormigón en el molde de una estructura no logra una compactación adecuada quedando así huecos llenos de aire. Esto puede deberse a diversos factores, como una mala vibración y una mezcla inadecuada del hormigón, además la dificultad para encontrar mano de obra cualificada para los proyectos de fabricación a pequeña y gran escala.

Uno de los principales problemas en la producción y uso del hormigón autocompactante radica en la falta de conocimiento en la comunidad dedicada a la construcción. En países en desarrollo, las investigaciones y avances han estado limitados a experimentos de laboratorio. Por lo tanto, la producción de este tipo de hormigón en un sitio de construcción se vuelve más compleja por las variaciones en su resistencia a la compresión. Esto se debe a varios factores, como la falta de capacitación de los trabajadores, la proporción agua/cemento, la granulometría, el uso inadecuado de superplastificantes, modificadores de viscosidad y otros aditivos, así como la falta de accesibilidad a métodos normalizados para su fabricación (Cañizares, 2012).

El Ecuador posee diversas zonas climáticas y regiones que condicionan la funcionalidad y durabilidad del concreto, por lo que hoy en día se puede evidenciar en el campo de la Ingeniería Civil que existen muchos problemas de resistencia del hormigón y de sus propiedades mecánicas en diversas edificaciones. Dentro del sistema constructivo en edificaciones a grandes y pequeñas escalas y con diversas especificaciones en sus estructuras de hormigón armado se busca trabajar con el hormigón de más alta calidad.

De la misma forma otro problema que suele presentarse cuando se utiliza hormigón autocompactante en estructuras reforzadas, especialmente en climas cálidos, es la aceleración del proceso de endurecimiento del hormigón, reduciendo el tiempo y la facilidad para trabajar con el material. Esto puede causar obstrucciones durante el vaciado. El tamaño máximo de los agregados gruesos tiene un impacto significativo en la fluidez y la capacidad de la mezcla para pasar a través de los espacios, es así como para mejorar la calidad del concreto autocompactante, se recomienda utilizar agregado grueso con un tamaño máximo de 1/4", en lugar del tamaño de 3/4". Esto asegurará que el hormigón tenga propiedades óptimas, ya que el control de la segregación de áridos gruesos es importante dentro de la mezcla (Reyes Baquerizo & Yagual González, 2023).

En la provincia de Santa Elena se suele emplear mezclas de hormigón convencional para la construcción de elementos estructurales en una obra civil, por lo que se reconoce la falta de conocimiento sobre las diferentes aplicaciones y variantes del hormigón que mejoran las propiedades de este.

Teniendo en cuenta lo anterior, es correcto decir que un porcentaje de las edificaciones actuales presentan varios problemas mecánicos relacionados al hormigón como una reducción de la trabajabilidad, es aquí donde la opción de optar por un hormigón autocompactante es mucho mejor; ya que, al mejorar la capacidad del concreto para adaptarse a los espacios necesarios en proyectos de construcción, se atiende a las demandas de los constructores y se contribuye a un entorno laboral más saludable (Reyes Baquerizo y Yagual González, 2023).

1.2. ANTEDECENTES

El hormigón es un material proveniente de la mezcla de cemento, agregado fino, agregado grueso y agua que posee propiedades como trabajabilidad, resistencia y durabilidad. Ha sido utilizado por los romanos desde aproximadamente 500 a.C. para la construcción de obras monumentales realizadas con hormigón simple que tenía como base cemento hecho de cal, agua y piedras desmenuzadas sin el uso de acero de refuerzo en las estructuras. El Panteón de Agripa es una de las construcciones más longevas y conservadas de Roma que se caracteriza por la estructura de su cúpula construida con arcos para obtener como resultado la desviación de cargas. Las propiedades particulares en cada componente y las interacciones entre ellos son responsables de mantener la estabilidad sin daños desde el momento de su construcción hasta el presente (Yapo Delgado y Puma Polanco, 2019).

En el ámbito internacional, se puede citar al estudio de Nepomuceno et al. (2018) basado en el “Diseño de mezcla de hormigón estructural ligero autocompactante incorporando áridos gruesos ligeros de arcilla expandida”. Esta investigación tuvo como objetivo establecer los criterios para realizar mezclas de concreto estructural liviano autocompactante que incluyan áridos gruesos livianos de arena natural y arcilla expandida. Se comenzó a utilizar el guía de Nepomuceno et al. (2014) para hormigones autocompactantes de densidad estándar, se analizaron las adaptaciones requeridas y se desarrollaron nuevas relaciones para ayudar a establecer los parámetros del diseño de la mezcla. El estudio tuvo como resultado que el volumen de agregados gruesos livianos depende de las relaciones entre las partes del mortero, la facilidad de manejo del concreto, su resistencia a la compresión y su densidad después del proceso de secado al horno, lo que demuestra que las pautas establecidas por Nepomuceno y su equipo en 2012, que incluyen la curva estándar para los agregados gruesos y las características de flujo del mortero, son aptas para la producción de hormigón Ligero autocompactante o lightweight self-compacting concrete (LWSCC).

Por su parte la investigación de Chumán & Rivas (2020), denominada “Aditivos superplastificantes a base de policarboxilatos para mejorar las propiedades físico-

mecánicas del concreto fluido”, evalúa los aditivos superplastificantes basados en policarboxilatos. Estos estudios proporcionaron datos tanto teóricos como experimentales sobre las dosis óptimas, el efecto de la pérdida de agua en la relación agua-cemento, la mejora de las características mecánicas y el aumento de la manejabilidad debido a la estructura química compleja de los policarboxilatos. El diseño de la investigación fue experimental, longitudinal, retrospectivo y de cohorte. Los resultados revelaron un aumento en el asentamiento hasta un 92,00%, alcanzando un máximo de 250 mm con una dosis de 0,60% de policarboxilato. La resistencia a la compresión mejoró en un 42,00% con una dosis de 0,30% de policarboxilato, llegando a una resistencia final de 72 MPa. En conclusión, el aditivo superplastificante hecho de policarboxilato actúa como un agente que mejora la fluidez y reduce la cantidad de agua en el concreto. Esto resulta en mejoras en las características físicas y mecánicas del material.

En el Ecuador, se resalta la tesis de Ruiz y Suárez (2021), titulada como “Transformación del hormigón autocompactante, utilizando un superplastificante”. La investigación consistió en examinar y contrastar las características de dos mezclas, tanto en su estado fresco como endurecido, variando solamente la cantidad de superplastificante utilizada. La metodología utilizada durante el trabajo de titulación fue pragmática y analítica. Como resultado de la investigación, se logró transformar un concreto convencional en un concreto autocompactante utilizando la misma proporción y relación agua/cemento que un concreto convencional, se añadió un 1,50% de superplastificante respecto al peso del cemento, de esta manera, se cumplieron los estándares de facilidad de manipulación de la mezcla de manera satisfactoria. Finalmente, los autores concluyeron que el uso del superplastificante no solo aumentó considerablemente su facilidad de manipulación, sino que también mantuvo su resistencia a la compresión prácticamente sin cambios significativos.

Otro ejemplar a nivel nacional es la investigación de Cárdenas Guilcapi & Cárdenas Martínez (2022) en su estudio “Análisis comparativo de la resistencia a la compresión de hormigón, utilizando aditivos superplastificantes sobre la base de naftalenos y policarboxilatos aplicados en la empresa concretos Chimborazo de Quito”. El proyecto comparó la resistencia a la compresión de mezclas de hormigón premezclado en la empresa UCEM. Se analizaron mezclas sin aditivos, con aditivos

a base de naftalenos y con aditivos a base de policarboxilatos. Esto proporciona a la industria del hormigón información teórica sobre el comportamiento de estas mezclas, que tienen contenidos de cemento en el rango de 250-350 kg/m³, y sobre las proporciones adecuadas de los aditivos en sus diseños. Se creó una base de datos que incluye la resistencia a la compresión de las muestras a los 7 y 28 días, en términos de eficiencia, las mezclas estándar alcanzan un promedio de 0,72 kgf/cm² por kg de cemento a los 28 días, mientras que las mezclas con aditivos de naftalenos llegan a 0,82 kgf/cm²/kg de cemento y las mezclas con aditivos de policarboxilatos alcanzan 1,02 kgf/cm²/kg de cemento a los 28 días. Los autores concluyeron que los aditivos basados en policarboxilatos proporcionan un aumento del 28% en la resistencia a la compresión en comparación con las condiciones similares cuando se utilizan aditivos basados en naftalenos. Los policarboxilatos demuestran una eficiencia un 25% superior a la de los naftalenos.

En la provincia de Santa Elena se resalta la tesis de Reyes y Yagual (2023) sobre “Diseño de mezclas de hormigón autocompactante con aditivo de base química en naftaleno y policarboxilato”. Investigación examinó el comportamiento del hormigón autocompactante al introducir aditivos superplastificantes a base de naftaleno y policarboxilato. Estos aditivos se utilizaron en dosificaciones variables del 1.5%, 2% y 2.5% para evaluar las propiedades físicas de la mezcla, se implementaron y realizaron pruebas estandarizadas según las normas de la ASTM (Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales). Estas pruebas se centraron en aspectos como segregación, fluidez, capacidad de paso y manejabilidad del hormigón. Esto se realizó a través de pruebas de laboratorio, incluyendo los ensayos ASTM C1610, ASTM C161 y ASTM C162. El estudio determinó que las muestras con un porcentaje igual o menor al 1,5% de ambos aditivos ofrecen resultados óptimos. En cuanto al policarboxilato, con el mismo porcentaje, se logró una resistencia de 23,65 MPa, mostrando características similares y asegurando una buena fluidez, manejabilidad y capacidad de paso, es así como los autores concluyen que dicha proporción de policarboxilato es la más adecuada para la mezcla.

1.3. HIPÓTESIS

1.3.1. Hipótesis General.

El Hormigón autocompactante elaborado con ladrillo refractario como agregado grueso ofrece una baja densidad y un fraguado uniforme y controlado y es adecuado para producir hormigón ligero autocompactante.

1.3.2. Hipótesis Específicas.

H.E1: El ladrillo refractario fabricado de manera artesanal cumplirá como agregado grueso liviano según la normativa NTE INEN 872/ASTM C33.

H.E2: El hormigón LWSCC elaborado cumplirá con ASTM 1610, 1611 y 1621.

H.E3: La determinación del factor λ cumplirá con el requerimiento del ACI 318-19 sobre densidad y resistencia a la compresión del LWSCC.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General.

Estudiar el comportamiento del hormigón autocompactante fabricado con agregado grueso de tipo liviano y aditivo superplastificante basado en policarboxilato, como mezcla de hormigón ligero autocompactante.

1.4.2. Objetivos Específicos.

O.E.1.: Determinar la funcionalidad del ladrillo refractario artesanal como agregado grueso liviano según la normativa NTE INEN 872/ASTM C33.

O.E.2.: Evaluar el desempeño del hormigón autocompactante LWSCC por medio de las normas ASTM 1610, ASTM 1611 y ASTM 1621.

O.E.3.: Analizar y comparar las densidades del material y resistencia a la compresión obtenidas para el hormigón autocompactante liviano con respecto a la mezcla de hormigón de peso normal y determinar el factor λ (lambda).

1.5. ALCANCE

El hormigón autocompactante tiene una gran homogeneidad y consistencia por lo que, el proyecto busca evaluar las características y comportamiento del hormigón al usar ladrillo refractario fabricado de manera artesanal como agregado grueso liviano y se verificará su rendimiento como agregado mediante las normas NTE INEN 872 Y ASTM C33; se usará un cemento tipo HE Holcim de norma NTE INEN 2380.

El estudio de las propiedades de la mezcla del hormigón autocompactante en estado fresco se basará en las siguientes normas:

La norma ASTM C 1610 (2006) cubre la determinación de la segregación estática del hormigón autocompactante (SCC) mediante la medición del contenido de agregado grueso en las partes superior e inferior de una muestra cilíndrica (o columna).

La norma ASTM C 1611 (2005) proporciona un procedimiento para la determinación del flujo de asentamiento del concreto autoconsolidante en el laboratorio o en la obra. Este método se usa para monitorear la consistencia del concreto recién moldeado, no endurecido y autoconsolidante y de su potencial de flujo no confinado.

La norma ASTM C 1621 (2008) describe el procedimiento de prueba para evaluar la habilidad de la mezcla de hormigón autocompactante para pasar a través de las armaduras.

Al emplear el ladrillo refractario como un agregado grueso liviano se busca lograr un hormigón ligero autocompactante LWSCC primordialmente y además determinar el comportamiento del aditivo policarboxilato en la mezcla del hormigón y establecer en qué proporción resulta óptimo su utilización mediante la fabricación de probetas cilíndricas y ensayos de resistencia a la compresión. Para ello, se propone ensayar para 3 dosificaciones del aditivo policarboxilato (1,0%, 1,5% y 2,0%), con lo cual se espera reducir las cargas muertas de las estructuras de hormigón armado sin afectar la trabajabilidad del material durante su colocación en moldes.

Se utilizará Aerosil 200, aditivo de microsílica para la mezcla de hormigón en un porcentaje del 5% respecto al cemento utilizado en la mezcla para el control de la segregación del agregado grueso, de la misma forma se utilizará EPS PREMIX VZ, aditivo retardante para hormigón y se realizará ensayos para 3 dosificaciones (0.25%, 0.5% y 0.75%).

La norma ACI 318 Estructural proporciona los requisitos mínimos para el diseño y la construcción de elementos de concreto estructural de cualquier estructura construida según los requisitos del reglamento general de construcción legalmente adoptado, del cual este reglamento forma parte. En relación con hormigones ligeros el factor lambda debe estar comprendido dentro del rango de 0,7 a 0,85, así como también cumplir las propiedades mecánicas mínimas requeridas por ACI 318-19 para hormigones ligeros.

La norma NTE INEN 1 573 (2010) establece el método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón y el cálculo para la densidad de especímenes cilíndricos realizados en laboratorio. El alcance del trabajo de investigación evalúa el comportamiento del hormigón autocompactante como material.

El trabajo de investigación beneficiará al campo de la Ingeniería Civil ofreciendo el uso un hormigón autocompactante mucho más liviano que el que se emplea en obras infraestructurales, de la misma manera busca ayudar a reducir el tiempo del proceso constructivo y aminorar los costos de mano de obra y la utilización de

herramientas para la fundición del hormigón; también será de gran ayuda para futuras investigaciones o trabajos de grado que se lleven al respecto

1.6. VARIABLES

1.6.1. Variables Dependientes.

- a) El desempeño del hormigón autocompactante (fluidez, habilidad para no segregar agregados y trabajabilidad para pasar a través de armadura).
- b) La resistencia a compresión simple y la densidad del hormigón autocompactante con agregado grueso liviano en comparación con las correspondientes al hormigón de peso normal.

1.6.2. Variables Independientes.

- a) Porcentaje de aditivo basado en policarboxilato (1,0%, 1,5%, 2,0%).
- b) La resistencia a compresión y la densidad del hormigón de peso normal.
- c) Las características de los agregados.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. DEFINICIÓN

El hormigón al ser compuesto por varios ingredientes (cemento, agua, áridos y aditivos) depende de las características que aporta cada uno de ellos en la mezcla para su comportamiento y desempeño. Por tal motivo se debe obtener información de los materiales a través de realizar ensayos que cumplan con las normas ASTM para los agregados y ACI para el material (hormigón) (Cárdenas Guilcapi & Cárdenas Martínez, 2022).

Yagual Vera y Villacís Apolinario (2015) describen que las densidades del concreto liviano con arcilla expandida oscilan entre 1594 y 1781 kg/m³, lo cual cumple con la normativa del ACI 318, que cataloga la densidad de los hormigones livianos entre 300 y 1850 kg/m³. El resultado obtenido es una reducción del peso del hormigón de hasta un 40%, un valor considerablemente significativo en comparación con el hormigón convencional.

2.1.1. Hormigón autocompactante.

Ruiz Brito & Suárez Ortuño (2021) establecen que el hormigón autocompactante tiene la capacidad de llenar los encofrados sin presentar problemas, independientemente de las cuantías de acero que se usen, impidiendo la segregación que pueden presentar los materiales debido a que es capaz de consolidarse a través de la acción de la gravedad.

El hormigón autocompactante y el hormigón convencional tienen el mismo tiempo de vida útil y propiedades estructurales. La diferencia radica en que la mezcla de hormigón autocompactante debe tener una fluidez, cohesión y viscosidad apropiadas para poseer la capacidad de fluir por el encofrado a través de la armadura

de acero consolidándose sin la necesidad de usar equipos de compactación y evitar la segregación de los materiales (Segura Molina y Saldaña Pacheco, 2014).

El hormigón autocompactante es aquel que tiene la propiedad de compactarse por la gravedad, tiene la capacidad de fluir por cada espacio del encofrado sin la necesidad de la utilización de vibradores. Posee como características su consistencia viscosa, una fluidez alta, trabajabilidad y homogeneidad en estado fresco, mientras que en estado endurecido tiene la propiedad de ser tan resistente y durable como un hormigón normal con la misma cantidad de cemento, además en dicha mezcla no se presenta separación en los componentes. Su creación acredita al Japón alrededor de la década de los 80; debido a que en dicho país se vieron en la obligación de buscar un material que permita homogeneidad en la mezcla para la construcción de estructuras de altura (Flores Cornejo, 2015).

De acuerdo con Vilanova Fernández (2009) la modificación en las proporciones de la dosificación en el hormigón autocompactante incluye altos contenidos de pasta y de finos, bajas relaciones agua/cemento y agua/finos, bajos contenidos de árido grueso, tamaños máximos de árido más pequeños y el uso de aditivos tales como, agentes reductores de agua de alto rango (superfluidificantes) y agentes modificadores de viscosidad. La mejora en la microestructura viene dada por las características de la pasta y a la menor porosidad en la zona de transición de la interfase árido-pasta. La baja relación agua/finos, necesaria para lograr la adecuada trabajabilidad, es la responsable, junto al uso de los reductores de agua de alto rango, de la mejora de la microestructura del hormigón. Por último, la ausencia de vibración durante la colocación del hormigón autocompactante hace que se eliminen los defectos propios de tal actividad, tales como la posibilidad de segregación de la mezcla.

Existe una diferencia en la composición final de la mezcla entre el hormigón autocompactante o sus siglas HAC y hormigón convencional (HC), dado que a pesar de contener los mismos componentes como cemento, agregado fino y grueso, agua y aditivos, la mezcla HAC en su composición final contiene mayor volumen de cenizas volantes o caliza, más contenido de aditivo superplastificante y menor tamaño máximo de agregado grueso en comparación con el HC. En estado fresco

el HAC debe ser homogéneo, sin producir segregación de los agregados gruesos, exudación de pasta y capaz de atravesar el encofrado, en estado endurecido posee las mismas características mecánicas de un hormigón convencional (León Parra, 2009).

El HAC puede diseñarse utilizando la norma EN-206 donde especifica los requisitos de durabilidad, la densidad y resistencia. Este tipo de hormigón se deben considerar aspectos como las contracciones plásticas o fluencias comunes en el hormigón debido a la cantidad elevada de polvo, la trabajabilidad del HAC es mayor a la descrita en la norma EN-206 por lo tanto se caracteriza por poseer la capacidad de llenado, capacidad de paso y resistencia a la segregación (EFNARC, 2002)

Figura 1

Hormigón autocompactante. Mezcla de HAC



2.2. ELEMENTO QUE COMPONEN LA FABRICACIÓN DE HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE

2.2.1. Cemento.

Según Flores Cornejo (2015) denomina cemento Portland aquel que se logra obtener en la trituración del yeso junto al Clinker. La mezcla de materiales arcillosos y calcáreos sometida a temperaturas entre 1300 y 1400 °C se nombra Clinker. A temperaturas que excedan los 50 °C el cemento podrá ser utilizado solo

si se comprueba que la temperatura no sea superior a 35°C al finalizar la preparación de la mezcla de hormigón. Las mezclas de hormigón autocompactante comúnmente tienen un contenido mayor de volumen de cemento que varía entre 350 kg/m³ a 450 kg/m³ en su dosificación.

De acuerdo con Reyes Baquerizo y Yagual González (2023) el término utilizado para referirse al cemento Portland proviene de Inglaterra en la región Portland, es un producto obtenido a partir de la trituración de materiales crudos mezclados en una adecuada proporción como las arcillas y calizas. A una temperatura de aproximada de 1400°C se realiza la calcinación para finalizar con enfriar lo obtenido y moler con yeso para obtener polvo.

Debido a la necesidad de cumplir con el diseño que tendrá una estructura en el área de construcción la norma ASTM C 150 (2007) define los siguientes

- Tipo I. Es un cemento de uso general en la construcción.
- Tipo II. Este cemento cuenta con un grado moderado de resistencia a los sulfatos y calor de hidratación, permite la construcción de estructuras expuestas a temperatura ambiental alta y agua.
- Tipo III. Este tipo de cemento tiene un fraguado rápido por lo que es necesario que exista control en la obra. Permite construcciones de estructuras que están en contacto con el agua.
- Tipo IV. Empleado en construcciones que requieran mayor volumen de hormigón, tiene un fraguado lento de esta manera puede alcanzar la resistencia de diseño debido
- Tipo V. Es un cemento con mayor resistente a los sulfatos, tiene similitud con el cemento tipo II, pero el cemento tipo de cemento tiene menos probabilidad que a través del tiempo se deteriore.

Teniendo en cuenta los criterios desempeño del hormigón la norma ASTM International C1157 (2008) se clasifica para el cemento conforme a la especificación de rendimiento estándar para cemento hidráulico

- Tipo GU. Conocido también como cemento empleado en construcciones de tipo general.
- Tipo HE-Alta resistencia temprana. obtiene elevadas resistencias en el tiempo estimado de aproximadamente una semana
- Tipo MS-Resistencia moderada al sulfato. Utilizados para muros, estructuras, relleno, cimentaciones a causa de la resistencia al sulfato.
- Tipo HS-Alta resistencia al sulfato. Implementado en ambientes con condiciones extremas para realizar obras que se encuentran en contacto de sulfatos en área de trabajo.
- Tipo MH-Calor moderado de hidratación. Usado en la elaboración de tuberías de hormigón y puentes por la capacidad de obtener a velocidad inferior resistencias moderadas.
- Tipo LH-Bajo Calor de Hidratación. Empleada en obras de construcción como muros, presas y diques y estructuras que soliciten un bajo calor de hidratación.

2.2.2. Agua.

El agua es una componente importante que no debe contener residuos tales como las sales y material orgánico que perjudique el fraguado del hormigón y altere la resistencia final del mismo, la durabilidad o el acero que está presente en los hormigones. Utilizado en la elaboración de la mezcla de hormigón y morteros para obtener la reacción de las partículas que contiene el cemento, tener trabajabilidad en el amasado y en el curado (Flores Cornejo, 2015)

De acuerdo con Tomalá Pozo y Cucalón Rosales (2020) uno de los componentes del hormigón más importante es el agua, este deberá ser limpia es decir no tendrá impurezas como ácidos, aceites y sales que ocasionarían reacciones en el comportamiento de la mezcla del hormigón. La norma empleada para cumplir con los requisitos es la ASTM C1602.

2.2.3. Aditivos.

Rubio Aranda (2007) describe a los aditivos como aquellas productos orgánicos e inorgánicos en una proporción menor o igual del peso del cemento equivalente al 5% que son incorporados en la mezcla del hormigón antes o durante del amasado produciendo la modificación de alguna característica de las propiedades de este o del comportamiento tanto en estado fresco y endurecido para obtener trabajabilidad, durabilidad, regular su proceso de fraguado y endurecimiento, etc.

Uno de los componentes importantes usado en la elaboración de hormigón autocompactante es el aditivo. El más utilizados son los superplastificantes y los agentes cohesionantes, aunque se pueden introducir otros aditivos a la mezcla dependiendo de las propiedades que se requiera en el hormigón (Ruiz Brito & Suárez Ortuño, 2021).

Existe una gran variedad de aditivos dependiendo de su funcionabilidad usados con la finalidad de mejorar las propiedades que tiene el concreto en las diversas fases que atraviesa hasta llegar al endurecimiento. En las investigaciones realizadas se determinó que al reducir el contenido de agua en la mezcla de hormigón esta aumenta la resistencia, pero existe un efecto contrario en el que se presenta pérdidas en la consistencia de la mezcla. Sin embargo, para solucionar este problema se recurre adicionar a la mezcla aditivos que optimizan la resistencia y su fluidez (Zhang et al., 2018).

La química de los aditivos influye en las propiedades del concreto porque estos funcionan en la interfaz sólido-líquido del cemento. Por tanto, hay que tener en cuenta los grupos funcionales que componen la cadena de los aditivos, ya que estos son los responsables del proceso de adsorción. Esto implica que cualquier mezcla de cemento debe ser estudiada con cada aditivo si se desea un material óptimo. El uso del aditivo basado en policarboxilato tiene una mayor eficacia en la mejora de las diversas propiedades de la mezcla. A medida que la dosis aumenta en peso, aumentan la trabajabilidad, la fluidez y el tiempo de fraguado. Esto implica una disminución de la porosidad y, por tanto, el valor de la resistencia a la compresión

aumenta. Además, este superplastificante se puede utilizar para reducir tanto la cantidad de agua (Muñoz-Zapata et al., 2022).

2.2.3.1. Especificaciones ASTM C494.

De acuerdo con la American Society for Testing and Materials (ASTM C494) (2005) que contiene la “Especificación estándar para mezclas químicas para hormigón”, menciona la clasificación de los aditivos.

- a) **Tipo A— Aditivos reductores de agua:** Los aditivos de tipo A tienen la capacidad de reducir la cantidad de agua aplicada en la mezcla conservando la trabajabilidad, disminuyendo la segregación y obteniendo una mejor plasticidad, este aditivo puede usarse en hormigones bombeados. Su finalidad es disminuir la relación de agua/cemento (a/c) para obtener mejores resultados respecto a la trabajabilidad y afecta la consistencia de la mezcla del hormigón (Santiago Patricio, 2011)
- b) **Tipo B— Aditivos retardantes:** Santiago Patricio (2011) menciona que los aditivos de tipo B son útiles en climas con temperaturas elevadas debido a que la mezcla se endurezca de forma lenta, sin crear efectos negativos en la composición de la mezcla. Debido al tiempo transcurrido para que se realice el fraguado es de 4 horas posibilita el transporte y compactación de mezcla. Trabaja como un retardante admisible cuando se emplee una cantidad mínima cercano al 0.05% de masa del hormigón.
- c) **Tipo C— Aditivos acelerantes:** Acelera el proceso de endurecimiento con la ventaja de obtener mejores la resistencia del hormigón en edades tempranas, se debe emplear cuando las temperaturas sean bajas, utilizados en la elaboración de trabajos que requieran reparación urgente o en el hormigón prefabricado. El cloruro de calcio es considerado como el acelerante más común utilizado por mucho tiempo debido a su efectividad (Santiago Patricio, 2011).
- d) **Tipo D— Aditivos reductores y retardantes de agua:** Es un tipo de aditivo plastificante reductor de agua, tiene la capacidad de aumentar la

trabajabilidad debido a su consistencia fluida, disminuir la cantidad de agua en la mezcla sin afectar la manejabilidad incrementando la resistencia del hormigón a edades tempranas y reduciendo la segregación, retrasa el fraguado lo que permite ser transportado por distancias extensas (Santiago Patricio, 2011).

- e) **Tipo E— Aditivos reductores y acelerantes de agua:** Conocido como un aditivo que permite reducir el contenido de agua y acelerar el proceso de fraguado obtiene buenas resistencias a diferentes edades. Utilizado en climas con temperaturas bajas e idóneo para realizar hormigón bombeado, el tiempo de colocación es de 1 hora por ende se debe colocar el aditivo en mismo lugar de obra. Este aditivo debido a la baja relación de a/c aumenta la resistencia, reduce la segregación al disminuir el agua en porcentajes de 15% hasta 18% y se emplea en cimentaciones, columnas, paredes, losas de hormigón, estructuras consideradas estrechas (Santiago Patricio, 2011).
- f) **Tipo F —Aditivos reductores de agua de alto rango:** Santiago Patricio (2011) define a los aditivos de tipo F como un reductor elevado del 15% de agua en la mezcla, las ventajas obtenidas por el uso de este aditivo son una consistencia fluida permitiendo una fácil colocación, una mejor homogenización de la mezcla en estado fresco y alcanza resistencia finales uniformes, uso del vibrado al menos que sea necesario.
- g) **Tipo G —Aditivos reductores de agua, de alto rango y retardantes:** Es un aditivo superplastificante añadido a la mezcla reduce el agua en rangos de 15% a 18% logra una consistencia fluida obteniendo mejores resultados en la resistencia a partir de cualquier edad. Debido a que el tiempo que se permite ser manejables es de 8 horas sirve para emplearse en climas con temperaturas elevadas facilitando el bombeo e incrementa la durabilidad e impermeabilidad que tendrá el hormigón (Santiago Patricio, 2011).
- h) **Tipo S—Aditivos de comportamiento específico.**

2.2.3.2. Aditivos superplastificantes clasificación como tipo F y G conforme a ASTM C 494.

El desarrollo de aditivos superplastificantes basados en policarboxilatos genera en la mezcla fresca mejor cohesión y más tiempo de trabajabilidad, también reduce la cantidad de agua de amasado incluso de 40% en comparación de los superplastificantes tradicionales. Esta capacidad permite colocar la mezcla sin vibrado es decir es fluida y se obtiene un hormigón durable, impermeable y resistente (Flores Cornejo, 2015).

Con el uso de aditivo en la mezcla logra un hormigón fluido, homogéneo y compactable que permite obtener resistencia uniformes finales, disminuir la segregación del material, elimina el afloramiento de fisuras cuando se reduce la contracción del hormigón (Alvarado Boza & Tivanta Jaramillo, 2020).

Palomino (2017) plantea que los aditivos superplastificantes pueden producir hormigones trabajables, reducir el porcentaje de relación agua/cemento a 0.32, también ante las condiciones climáticas se presenta como un material con mayor durabilidad y resistencias altas. El policarboxilato su estructura química son macromoléculas que poseen cadenas laterales que se basa en policarboxilatos modificados (copolímeros de ácido acrílico y ésteres de estos ácidos), permite que la mezcla acceda con facilidad a elementos con cuantías de acero de refuerzo.

El aditivo basado en policarboxilato es un químico que permite mejorar propiedades como la trabajabilidad, reduce en la mezcla el contenido de agua facilitando su puesta en obra por el mejoramiento de la fluidez del hormigón e incremento de su resistencia, en concreto endurecido a largo plazo se obtiene durabilidad y mejor acabado. Se obtienen resultados negativos tales como la segregación y viscosidad cuando se usa el aditivo de forma excesiva en la mezcla provocando una reacción poco favorable, esto sucede especialmente en policarboxilatos sobre dosificado y de cadenas laterales largas cubriendo en exceso las partículas de cemento, provocando

como consecuencia problemas en la puesta en los encofrados en obra, así como mayor viscosidad plástica (Chumán & Rivas, 2020).

2.2.4. Áridos.

Feijoó & Sanchez (2020) establecen que “Los agregados son la fase discontinua del concreto y son materiales que están embebidos en la pasta que ocupan del 65% al 80% del volumen de la unidad cubica de concreto”.

Los agregados como la arena y grava para la elaboración de hormigones reúnen características de durabilidad y resistencia. Para la elaboración de hormigones se emplea material natural como gravas y arenas que cumplen con todas las características para lograr en el hormigón la durabilidad y resistencia. Al material mayor a 4mm se denomina grava o agregado grueso y aquellas partículas menores de 4mm se reconocen como arena o agregado fino. El árido fino se divide en arena gruesa a partir de los 2mm y la porción menor a 0.08 mm se denomina finos o polvos de la arena (Rubio Aranda, 2007).

2.2.4.1. Agregado grueso liviano.

Los agregados ligeros debido al sistema de poros tienen una baja densidad relativa de partículas. Estos áridos tienen un sistema de poros uniformes distribuidos aproximadamente 5 a 300 μm de tamaño, los poros que se encuentran cerca de la superficie son permeables, sin embargo, los poros ubicados en el interior necesitan meses sumergidos para saturarse (ACI 213R-03, 2003).

Los agregados livianos se diferencian de los agregados usados comúnmente en las construcciones en la alta porosidad que poseen, así como también en el bajo peso específico, permitiendo con su baja densidad una disminución de secciones estructurales y contribuyendo el peso del hormigón final. El peso volumétrico seco suelto (P.V.S.S.) del agregado ligero es 880 kg/m² máximo (ASTM C330-05, 2005).

Yagual Vera y Villacís Apolinario (2015) describe a los agregados livianos naturales aquellos que se son sometidos a procesos de trituración y abrasión, originarios de la explotación de lugares naturales. Por lo tanto, sus características y propiedades no son modificadas y pueden usarse tal como se encuentran en la naturaleza. Los agregados orgánicos como el poliestireno expandido, fibra de coco, aserrín, cascara de arroz y viruta de madera, poseen bajas resistencias en la fabricación de hormigón y menor densidad, aportan aislamiento térmico a las estructuras.

La densidad de los agregados livianos artificiales se encuentra entre 300 kg/m³ y 1000 kg/m³, este material es sometido a temperaturas elevadas hasta su fusión, ocasionando la liberación de gases del material que está conformado, se expande reduciendo la densidad. Lo áridos ligeros más utilizados son las pizarras, cenizas volantes calcinadas y las arcillas expandidas, a diferencia del hormigón convencional se puede obtener hormigones con menor densidad (Yagual Vera y Villacís Apolinario, 2015).

Figura 2

Análisis granulométrico del agregado grueso



Nota. Clasificación por tamices del agregado grueso

2.2.4.2. Agregado fino.

El agregado fino son partículas que tiene un tamaño superior al 0.125 mm y menores al 4.75 mm, el volumen del agregado en el HAC se encuentra entre 57% - 67% mientras que en el HC el volumen es alrededor de 70% del volumen de la mezcla. Es importante mencionar en el cálculo de agua

presente en la mezcla se debe considerar el nivel de humedad del agregado debido a la sensibilidad de la mezcla de hormigón autocompactante provocada por la variación de agua a diferencia del hormigón convencional, esta característica se puede compensar utilizando agentes que altere la viscosidad (Flores Cornejo, 2015).

El agregado fino consiste en arena fabricada, natural o una combinación de estas, el módulo de finura que se encuentra entre el rango de 2.3 a 3.1, en los tamices no deberán pasar más del 45% del agregado fino y se el resto del material quedara retenido en el siguiente tamiz indicados en la tabla (ASTM C 33, 2008).

Tabla 1

Análisis granulométrico del agregado fino

Tamiz	Porcentaje que pasa (%)
3/8 in (9.5 mm)	100
No. 4 (4.75 mm)	95-100
No. 8 (2.36 mm)	80-100
No. 16 (1.18 mm)	50-85
No. 30 (600 µm)	25-60
No. 50 (300 µm)	5-30
No. 100 (150 µm)	0-10

Fuente. ASTM C 33 (2008)

2.2.5. Ladrillo.

El ladrillo se obtiene a través del proceso de cocción a la temperatura de 800 °C como mínimo, está elaborado con arcilla y en ocasiones se agrega adiciones de diferentes materiales, debe tener mayor plasticidad para lograr una forma permanente y evitar las grietas o deformaciones después del secado. Los ladrillos son de coloración rojiza, tienen una resistencia uniforme (Gavilanes Castillo & Santellán Naulasaca, 2016).

2.2.5.1. Ladrillo refractario.

Según Soto Cahuana (2019) el ladrillo refractario posee la característica de resistir altas temperaturas, se emplea en el área de trabajos domésticos e instalaciones industriales. Considerado como material costoso debido a sus características térmicas y la capacidad de mantener el calor, es decir, refractar. Dependiendo de la cantidad y concentración de alúmina se emplea en diferentes medios y tiene mayor resistencia a temperaturas elevadas.

Es un material de tipo cerámico que tiene como propiedad resistir las altas temperaturas. Por lo general la superficie de las caras del ladrillo refractario son lisas, disminuye la adherencia con el mortero. Existen dos tipos de ladrillos que depende de la cantidad de arcilla con alúmina o sílice, la resistencia a elevadas temperaturas se da por el empleo de las porciones de estos componentes, aunque también afecta el comportamiento de este. La cantidad de alúmina y sílice va desde el uso del 36% hasta el 99% (Villatoro Villatoro, 2018).

Tabla 2

Dimensiones de Ladrillo Refractario

Formato normal o fundamental (mm)	Dimensiones y tolerancias (mm)		
	a (largo)	c (ancho)	e (espesor)
229 x 144 x 63	229 ± 5	114 ± 3	63 ± 2

Fuente. Norma INEN 607

2.3. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE

Las propiedades que posee el hormigón autocompactante están estrechamente relacionadas con las características de la mezcla de cemento, este hormigón es conocido por la capacidad de autocompactarse bajo la influencia de su propio peso.

La capacidad de relleno está relacionada con la fluidez y movilidad del hormigón, por ende, tiene la habilidad de amoldarse y pasar en las armaduras bajo la acción de la gravedad sin la utilización de equipos de vibrado. Para la adecuada capacidad del relleno se debe disminuir la fricción entre las partículas de los materiales y mejorar la facilidad de moldeo de la pasta (León Parra, 2009).

La mezcla de hormigón debe ser homogénea sin que exista segregación o exudación de agua para mantener esta característica debe tener una viscosidad y estabilidad adecuada. La resistencia a la segregación está vinculada con la viscosidad de la pasta de concreto. Si la viscosidad es elevada en una mezcla se producen consecuencias negativas como la reducción de la velocidad de deformación (León Parra, 2009).

La capacidad de paso que tiene el hormigón en atravesar el encofrado, esta propiedad depende de los elementos que está compuesto las armaduras, la distancia existente entre las barras de acero, y los obstáculos presentes en la estructura que debe pasar la mezcla de hormigón, es decir el bloqueo se origina cuando el agregado grueso tiene un tamaño máximo grande y también puede ocasionarse por el acero (Chanta Muñoz y Zuta Quirohuayo, 2020).

El uso de aditivos modificadores de viscosidad, reducción del tamaño máximo nominal del árido grueso y elevar la fracción pasta, permiten optimar la capacidad de paso del hormigón teniendo en cuenta la homogeneidad de la mezcla y evitando la segregación excesiva (Flores Cornejo, 2015).

La trabajabilidad es la característica que tiene la mezcla de permite la facilidad de mezclado, compactación y colocación en obra debido a la consistencia y homogeneidad de este. El hormigón autocompactante posee una elevada trabajabilidad debido a varios elementos como la fluidez, la eliminación del uso de equipos de vibrado y la viscosidad. El contenido de agua, la granulometría, forma y textura de los áridos presente en la mezcla son factores que influyen en la trabajabilidad (Flores Cornejo, 2015).

2.4. ENSAYOS PARA EL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE

2.4.1. ASTM C 1610 Método de ensayo de segregación estática del Hormigón Autocompactante utilizando la columna técnica.

Este método determina la segregación estática del hormigón autocompactante a través de del uso de una columna técnica que mide en la parte superior e inferior el contenido del árido grueso.

Resumen del método de ensayo

Se debe colocar una porción de la mezcla de hormigón autocompactante sin vibrar o apisonar en un molde en forma de cilindro. La columna técnica se divide en tres niveles (o secciones). Las proporciones de la mezcla tanto de la parte superior e inferior deben lavarse en el tamiz N°4 (4.75 mm), dejando el agregado grueso en el tamiz. Determinar la masa del árido grueso de la sección superior e inferior y calcular el porcentaje de la segregación estática (ASTM C 1610, 2006).

Figura 3

Molde tipo columna

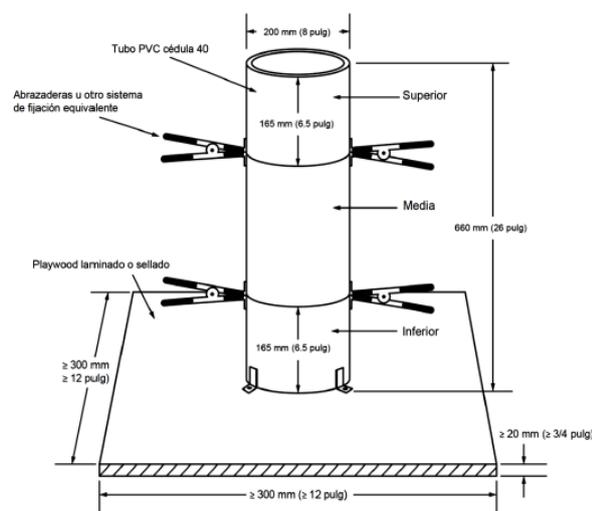


Figura 1: Detalle del molde tipo columna

Fuente. ASTM C 1610 (2006)

Figura 4

Placa colector

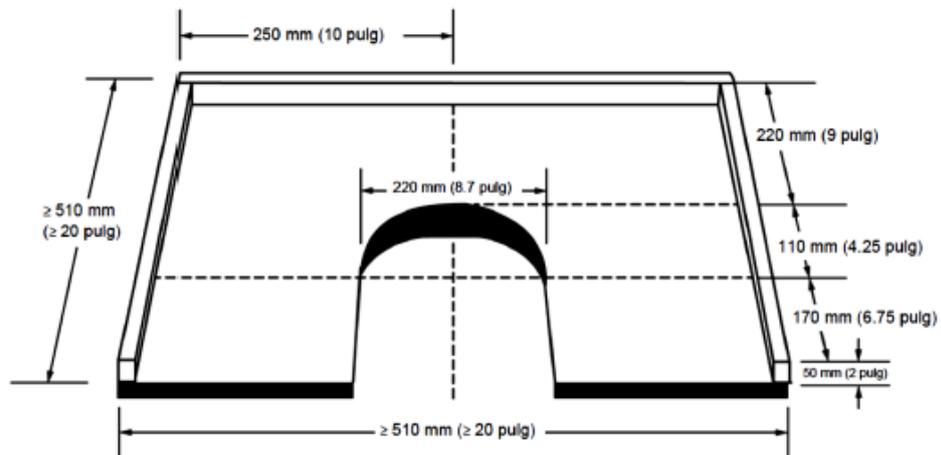


Figura 2: Detalle de la placa colector

Fuente. ASTM C 1610 (2006)

Ecuación 1

Porcentaje de segregación estática

$$S = 2 \left[\frac{CA_B - CA_T}{CA_B + CA_T} \right] \times 100 \quad \text{cuando } CA_B > CA_T$$

$$S = 0, \quad \text{cuando } CA_B < CA_T$$

S= Porcentaje de segregación estática.

CA_T= masa de agregado grueso en la parte superior de la columna.

CA_B= masa de agregado grueso en la parte inferior de la columna.

2.4.2. ASTM C 1611 Método de prueba estándar para Flujo de asentamiento del hormigón autocompactante.

Este ensayo determina el flujo de asentamiento del hormigón autocompactante, monitorea la consistencia del concreto fresco.

Resumen del método de ensayo

Colocar en un molde en forma de cono una muestra de la mezcla sin realizar la acción de vibrado o apisonamiento. Se eleva el molde y el hormigón fluye o se

esparce. Posteriormente al finalizar el esparcimiento del hormigón, medir en direcciones ortogonales aproximadamente la mezcla de concreto dos diámetros y se promedia los dos diámetros para obtener el flujo de asentamiento (ASTM C 1611, 2005).

Figura 5

Molde para ensayo de asentamiento descrito en el método ASTM C143/C143M

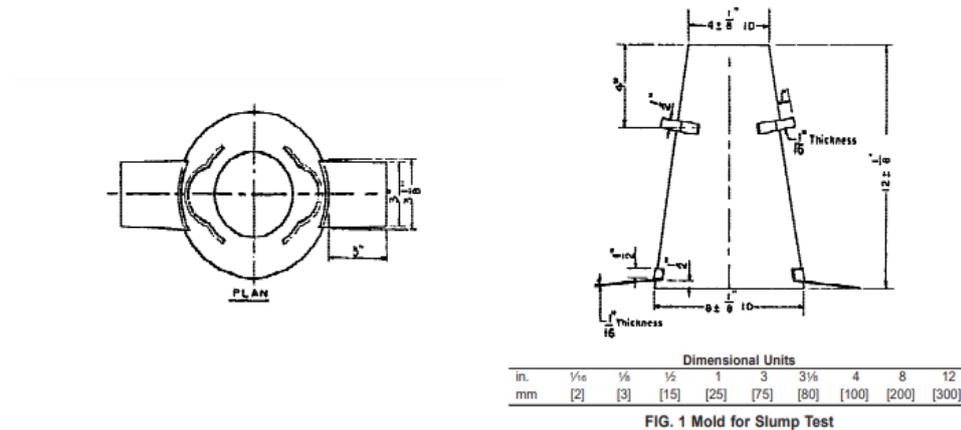


FIG. 1 Mold for Slump Test

Fuente. ASTM C 143/C 143M (2003)

Ecuación 2

Flujo de asentamiento

$$\text{flujo de asentamiento} = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

d1= Diámetro más grande de la extensión circular del hormigón,

d2= Diámetro menor del esparcimiento o extensión del hormigón.

2.4.3. ASTM C 1621 Método de prueba estándar para la capacidad de paso del Hormigón Autocompactante por el J-Ring.

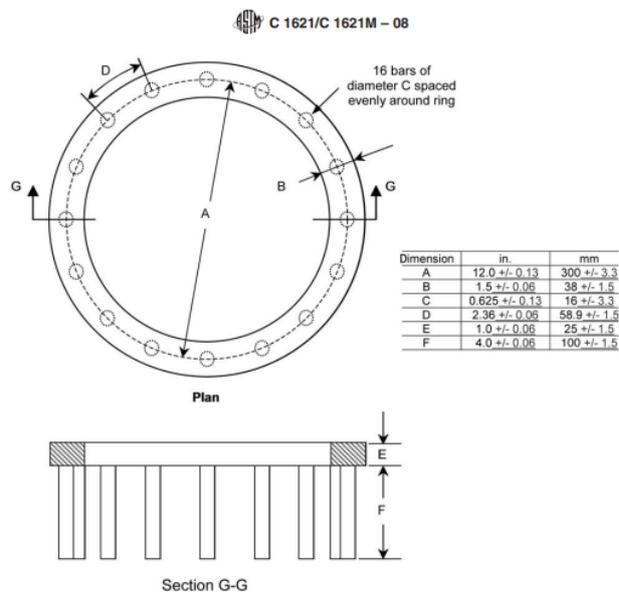
Este ensayo determina la capacidad de paso del hormigón autocompactante usando el anillo J en combinación con el molde en forma de cono, este método limita al hormigón con un tamaño del agregado máximo nominal de hasta 25 mm (1 in).

Resumen del ensayo

En el molde de asentamiento se coloca una muestra recién mezcla de concreto que es concéntrico con el anillo J. El hormigón se coloca una sola vez sin vibración o apisonamiento. Se levanta el molde, y el concreto fluye a través de anillo J hasta asentarse. Los diámetros del hormigón, en dos direcciones es aproximadamente perpendicular entre ellas, se mide y promedian para obtener el flujo de anillo J. Este método se repite sin el uso de anillo J para obtener el flujo de asentamiento. La diferencia que existe entre el flujo de asentamiento y el anillo J es un indicador de la capacidad de paso del hormigón (ASTM C 1621, 2008).

Figura 6

Molde J-Ring



Fuente. ASTM C 1621 (2008)

Ecuación 3

Flujo de anillo

$$\text{flujo de anillo } J = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

La capacidad de paso se obtiene al calcular la diferencia entre el flujo del anillo J y el flujo de asentamiento al ½ pulgada más próximo (10 mm).

Evaluación de bloqueo

Tabla 3

Evaluación de bloqueo

Diferencia entre Flujo de asentamiento y flujo de anillo en J	Evaluación de bloqueo
0 a 25 mm (0 a 1 in)	Bloqueo no visible
>25 a 50 mm (>1 a 2 in.)	Bloqueo mínimo a notable
>50 mm (2 in)	Bloqueo notable a extremo

Nota: Fuente. ASTM C 1621 (2008)

2.4.4. NTE INEN 1 573:2010 Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico.

En este ensayo se emplea una carga axial de compresión a especímenes de hormigón de cemento hidráulico a un rango de velocidad que se encuentra establecido hasta que se logre la falla de los cilindros moldeados. Para la obtención de la resistencia a la compresión se debe calcular dividiendo la carga máxima soportada del espécimen durante el ensayo para el área de la sección transversal del cilindro(NTE INEN 1 573, 2010)

Procedimiento

- 1) Realizar el ensayo tan pronto han sido extraídos los especímenes, debido a que se deben mantener húmedos.
- 2) Aplicar una carga axial hasta que señale que la carga está disminuyendo constantemente en el indicador y que se observe un patrón de fractura específico.

Calcular la resistencia a la compresión dividiendo la carga máxima alcanzada para el promedio de la sección transversal, los resultados se deberán expresar en una aproximación.

Figura 7

Ensayo resistencia a la compresión



CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo.

El presente trabajo de investigación es de tipo aplicada, debido a que utiliza un enfoque práctico, Castro Maldonado et al. (2023) define al tipo de investigación aplicada como aquella que cumple los objetivos planteados a través de la información obtenida en un área específica de una investigación previa y tiene la finalidad de dar solución a un planteamiento o problema determinado.

Esta investigación tiene el propósito de evaluar el comportamiento del hormigón autocompactante con agregado grueso ligero en estado fresco y endurecido por medio del uso de diferentes porcentajes de aditivo policarboxilato a través de la aplicación de ensayos de laboratorio.

3.1.2. Nivel.

Esta investigación es de enfoque explorativo-comparativo debido que busca determinar la resistencia a la segregación, asentamiento, capacidad de paso entre las armaduras y trabajabilidad de la mezcla de hormigón autocompactante usando las dosis de 1%, 1.5% y 2% de aditivo superplastificante a través de la experimentación mediante la implementación de ensayos de laboratorio y especímenes de hormigón para conocer el comportamiento que tendrá la mezcla de hormigón autocompactante y así también comparar la resistencia a la compresión y densidad referente a un hormigón con peso normal.

3.2. MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. Método.

Este estudio es de enfoque experimental debido a que mediante la ejecución de los ensayos de laboratorio se pretende estudiar el comportamiento del hormigón autocompactante con agregado grueso ligero para realizar un análisis comparativo entre las diferentes mezclas con distintos porcentajes de aditivo y la densidad y resistencia a la compresión con respecto a la mezcla de hormigón de peso normal y concluir que dosis es óptima para obtener mejores características en el hormigón.

3.2.2. Enfoque.

La investigación posee un enfoque mixto citando a Hernández Sampieri & Mendoza Torres (2018) un método mixto es aquel que comprende como la recopilación de información, discusión e integración de datos cualitativos y cuantitativos formando parte del conjunto de varios procesos empírico, críticos y sistemáticos de un estudio para lograr mayor comprensión de la investigación y deducciones respecto a toda la información obtenida.

El enfoque cuantitativo permite establecer un modelo de comportamiento empleando recolección de información para comprobar hipótesis por medio de análisis de estadísticas y razonamiento numérico (Hernández Sampieri y Mendoza Torres, 2018). De acuerdo con la recopilación y evaluación de información técnica que vincula los datos obtenidos mediante los ensayos descritos en las normas ASTM C1611, ASTM C1621 y ASTM C1610 se pretende conocer las características y propiedades del hormigón autocompactante. Acorde a la norma NTE-INEN-1573:2010 se realiza un control de las posibles diferenciaciones que podría tener los especímenes de hormigón autocompactante en cuanto a la resistencia a la compresión y densidad, también establecer el factor lambda expuesto en la Norma ACI 318.

En el enfoque cualitativo busca relacionar el análisis de los resultados obtenidos en los ensayos aplicados durante la investigación conforme a las diferentes dosis de aditivo superplastificante agregado a la mezcla de hormigón en comparación con los datos de otros autores referente al comportamiento del hormigón y definir conclusiones.

3.2.3. Diseño.

Debido a que la investigación es de tipo experimental, en el que las variables independiente y dependiente establecidas se estudiarán y controlarán por el análisis de los resultados obtenidos a través de las pruebas de laboratorio, donde se demuestra el comportamiento del hormigón autocompactante con distinta dosificación de aditivo brindando información sobre capacidad de paso entre las armaduras, la resistencia a la segregación, trabajabilidad y asentamiento estandarizados por las normas ASTM, esto permite verificar y comparar si la hipótesis se cumple. Por esta razón se realiza una investigación previa en documentos que tratan sobre temas con similitud al hormigón autocompactante.

3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

3.3.1. Población.

La aplicación del hormigón autocompactante se estableció en un subconjunto de edificios ubicados en la provincia de Santa Elena. La ventaja que posee el HAC está en la facilidad de hormigonado, agilizando el relleno de encofrados complejos y secciones reforzada permitiendo la construcción de estructuras complejas, garantiza mayor productividad y mejor calidad de construcción. No necesita vibrado para alcanzar una correcta consolidación, por medio de mayor tasa de fundición se puede acelerar el proceso de construcción (Reyes Baquerizo y Yagual González, 2023).

De esta forma la población de estudio en la investigación está compuesta por un total de 7 mezclas en donde se modificó los porcentajes del aditivo de base química policarboxilato y aditivo retardante, teniendo así una mezcla denominada patrón o

control que no posee aditivo, tres mezclas con aditivo retardante y tres mezclas con dosis de 1.0%, 1.5% y 2.0% de aditivo superplastificante.

Sobre el número de 3 mezclas de hormigón autocompactante con aditivo policarboxilato establecidas se elaboran los respectivos ensayos de laboratorio aplicando las normas ASTM que permiten estudiar el comportamiento que tendrá el hormigón.

Las mezclas serán preparadas en el laboratorio para evaluar sus propiedades en los estados frescos y endurecidos. Los resultados de diversos ensayos serán organizados y analizados meticulosamente. Se proporcionarán observaciones y conclusiones basadas en los datos recolectados durante la preparación y ensayos de las mezclas. el objetivo es asegurar que las mezclas de hormigón autocompactante cumplan con los estándares establecidos por la federación europea de la asociación del concreto (EFNARC), demostrando así las ventajas que ofrece este tipo de hormigón en comparación con el hormigón convencional (Reyes Baquerizo y Yagual González, 2023).

3.3.2. Muestra.

En el total de 7 mezclas se elaboraron 63 especímenes cilíndricos de hormigón, se tiene 1 mezcla de control donde se realizó 9 cilindros de hormigón sin aditivos y 6 mezclas con aditivos. Se fabricaron 9 especímenes de hormigón para cada una de las 3 mezclas con dosificación de aditivo retardante tipo D donde la mezcla 1A tiene 0.25%, mezcla 1B tiene 0.5% y mezcla 1C tiene 0.75% de aditivo.

Finalmente, se prepararon 3 mezclas, cada una evaluada con 9 cilindros de hormigón por cada porcentaje de aditivo policarboxilato (1%, 1.5% y 2%) combinado con la dosificación seleccionada del 0.5% de aditivo tipo D y una adición del 5% de microsílica para mejorar el desempeño de estas 3 mezclas. Es de importancia mencionar que la mezcla sigue la misma dosificación de ingredientes básicos (cemento, piedra, arena y agua) planteada para el hormigón de control y solo se realizó modificación en la adición de aditivos, por lo tanto, se designó como

mezcla 2A a la dosis correspondiente de 1.0%, mezcla 2B al 1.5% y mezcla 2C al 2.0% de aditivo.

3.3.3. Muestreo.

El muestreo se considera como un instrumento para determinar los elementos sujetos a estudios por medio de una muestra que se estableció. Por ende, para este estudio se utiliza la norma NTE INEN 1573:2010 donde indica que, para obtener la resistencia a la compresión simple se debe someter los cilindros de hormigón a una carga axial, se realiza el ensayo en los 63 especímenes de hormigón, 27 cilindros con aditivo superplastificante, 18 cilindros con aditivo tipo D y 9 cilindros de hormigón sin aditivos (hormigón de control), se escogerán tres cilindros por cada una de las edades indicadas en la norma de 7, 14 y 28 días.

3.4. METODOLOGÍA O.E.1: DETERMINAR LA FUNCIONALIDAD DEL LADRILLO REFRACTARIO ARTESANAL COMO AGREGADO GRUESO LIVIANO SEGÚN LA NORMATIVA NTE INEN 872/ASTM C33

3.4.1. Ensayos de laboratorio para el agregado grueso.

Para conocer las características del ladrillo refractario utilizado en la mezcla de hormigón, según la norma NTE INEN 872/ASTM C33 que describe los requisitos que deben tener los agregados para la elaboración de la mezcla de hormigón. Se definirá las características del agregado grueso a través del empleo de ensayos de laboratorios como: análisis granulométrico, material más fino que pasa 75 μm , determinación de la masa unitaria, densidad saturada superficialmente seca, elongación y lajosidad, abrasión de los ángeles y reactividad alcalina.

3.4.1.1. NTE INEN 863 ÁRIDOS. Determinación de la solidez de los áridos mediante el uso de sulfato de sodio o de sulfato de magnesio.

Este método se utiliza para determinar el desempeño del agregado en el ambiente, se utiliza solución de sulfato o de sulfato de magnesio. Cubrir la muestra con la solución previamente preparada en un tiempo establecido no mayor a 18 horas ni menos de 16 horas y tapar el recipiente. Después del tiempo sumergido en la solución retirar el agregado y colocar en el horno. Se debe repetir este proceso alternando el agregado sumergido en la solución y el secado hasta lograr completar el número de ciclos. Al finalizar el último ciclo se lava la muestra para eliminar el sulfato o de sulfato de magnesio (NTE INEN 863, 2011).

Tabla 4

Fracciones de la muestra de árido grueso según su composición

Fracción	Tamaño (Tamices con aberturas cuadradas)	Masa (g)
1	9,5 mm a 4,75 mm	300 ± 5
	19,0 mm a 9,5 mm	1000 ± 10
2	material consistente de:	
	12,5 mm a 9,5 mm	300 ± 5
	19,0 mm a 12,5 mm	670 ± 10
	37,5 mm a 19,0 mm	1500 ± 50
3	material consistente de:	
	25,0 mm a 19,0 mm	500 ± 30
	37,5 mm a 19,0 mm	1000 ± 50
	63 mm a 37,5 mm	5000 ± 300
4	material consistente de:	
	50 mm a 37,5 mm	2000 ± 200
	63 mm a 50 mm	3000 ± 300
	75 mm a 63 mm	7000 ± 1000
	90 mm a 75 mm	7000 ± 1000
100 mm a 90 mm	7000 ± 1000	
5	material consistente de:	
	75 mm a 63 mm	7000 ± 1000
	90 mm a 75 mm	7000 ± 1000
	100 mm a 90 mm	7000 ± 1000

Nota: Obtenido de NTE INEN 863 (2011)

Tabla 5

Tamices para determinar la pérdida según las fracciones del árido grueso

Tamaño del árido	Tamiz utilizado para determinar la pérdida
100 mm a 90 mm	75 mm
90 mm a 75 mm	63 mm
75 mm a 63 mm	50 mm
63 mm a 37.5 mm	31.5 mm
37.5 mm a 19.0 mm	16.0 mm
19.0 mm a 9.5 mm	8.0 mm
9.5 mm a 4.75 mm	4.0 mm

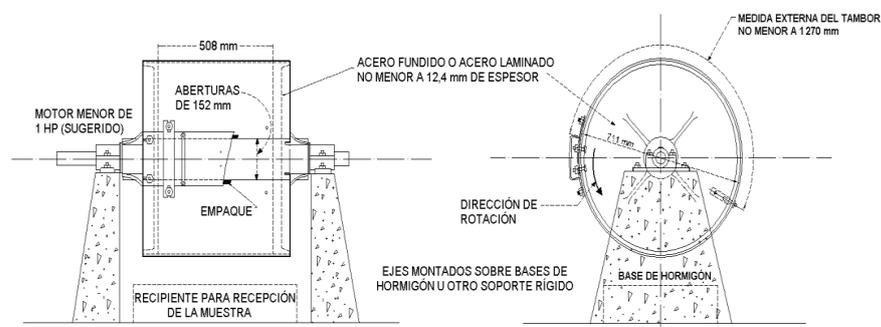
Nota: Obtenido de (NTE INEN 863, 2011)

3.4.1.2.NTE INEN 860 ÁRIDOS. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37.5 mm mediante el uso de la máquina de los ángeles.

Consiste en establecer la pérdida de masa de los áridos por medio de la acción del desgaste resultante del implemento de la molienda a través un tambor de acero que gira y contiene cierta cantidad de esferas de acero. Existe una plataforma que recoge las esferas y la muestra cuando el tambor gira, elevando la muestra hasta que caiga en el otro extremo del tambor, se repite el proceso hasta lograr las revoluciones especificadas de forma que genera la acción de moler. Después se retira el contenido de la maquina y se mide la degradación del agregado en valores de porcentaje de pérdida (NTE INEN 860, 2011).

Figura 8

Máquina de Los Ángeles



Nota: Obtenido de NTE INEN 860 (2011)

3.4.1.3.ASTM 4791-99 Método de prueba estándar para Partículas planas, partículas alargadas o planas en Agregado Grueso.

El agregado grueso se divide en partículas por medio del uso de tamices para obtener para los porcentajes de partículas planas o partículas alargadas y partículas ni planas ni alargadas. En la prueba de partículas planas se establece que es plana cuando se coloca en la rendija más pequeña, se clasifica como alargada cuando el ancho se coloca en la rendija más pequeña. El calibrador sirve para medir la longitud de los agregados. Después la proporción de la muestra del agregado se determina a través del recuento o masa (ASTM D 4791, 1999)

3.4.1.4.NTE INEN 696. Análisis Granulométrico.

Este ensayo permite categorizar y conocer a través del tamizado los distintos tamaños de partículas presentes en el agregado fino y grueso. Utilizando diferentes tamaños de malla en los tamices.

Procedimiento

- Escoger los tamices a utilizar y ordenarlos de forma ascendente. Para este ensayo la muestra debe estar seca para evitar obstrucción en los tamices más finos.
- Colocar el árido en porciones adecuadas para lograr agitar los tamices de forma adecuada y que puedan atravesar las partículas.
- Tamizar de forma manual a través de movimientos de rotación y vibración.
- Separar los tamices y pesar el peso del material retenido en cada uno de ellos.
- Registrar el peso del agregado retenido en cada tamiz.

Figura 9

Análisis granulométrico



Nota: Ensayo de análisis granulométrico del agregado grueso.

3.4.1.5. Material más fino que pasa el tamiz 75 μm (NTE INEN 697).

Este ensayo se determina mediante el lavado del árido fino para así obtener el porcentaje de material pasante del tamiz 75 μm ., primero se escogió el tamaño de la muestra según el tamaño máximo nominal del agregado según la siguiente tabla.

Tabla 6

Masa mínima para la muestra de ensayo de material más fino que pasa el tamiz 75 μm

Tamaño máximo nominal	Masa mínima (g)
4.75 mm (No. 4) o menor	300
Mayor que 4.75 mm (No.4) hasta 9.5 mm	1000
Mayor que 9.5 mm hasta 19.0 mm	2500
Mayor que 19.0 mm	5000

Nota: Fuente NTE INEN 697

Este ensayo se realizó siguiendo el procedimiento A, que incluye el lavado con agua potable y el uso de un conjunto de tamices según las especificaciones. Después de secar la muestra en el horno hasta alcanzar una masa constante a una temperatura

de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, se sumergió la muestra en un recipiente con suficiente agua para cubrirla. La muestra se agitó vigorosamente para suspender el material fino, y luego se colocó inmediatamente en el conjunto de tamices. Se añadió más agua y se volvió a agitar la muestra.

Se utilizó un recipiente para colocar todo el material retenido en el conjunto de tamices y la muestra se secó en el horno hasta alcanzar una masa constante. Finalmente se determina la masa de la muestra.

3.4.1.6. Determinación de la densidad saturada superficialmente seca (NTE INEN 857).

Este método permite determinar la densidad saturada superficialmente seca (psss) aplicando las normas de acuerdo con el agregado grueso. Este ensayo se realizó siguiendo los parámetros expuestos en la norma NTE INEN 857, seleccionar la muestra del agregado grueso y tamizar usando el tamiz No. 4 con la finalidad de eliminar las partículas que no se retienen en el tamiz mencionado. Se deberá lavar la muestra hasta descartar cualquier partícula no deseada en el material para dejarla durante 24 horas sumergida. Luego del tiempo transcurrido retirar el agregado saturado del agua y secar con un paño hasta lograr la mayor absorción de agua, colocar el agregado saturado en la canasta en agua y determinar el peso de la muestra sumergida. Poner la muestra en el horno y esperar el secado para pesar el material (Instituto Ecuatoriano de Normalización NTE INEN 857, 2010).

3.4.1.7. NTE INEN 858 Determinación de la masa unitaria.

Este ensayo permite conocer el peso volumétrico del agregado mediante la compactación usando el procedimiento de varillado y paladas, se calcula aplicando las ecuaciones estipuladas en la norma.

Procedimiento por varillado

- El material debe llenar 1/3 del molde y nivelar la parte superior de la capa, compactar con una varilla por medio de 25 golpes distribuidos por la superficie tener en cuenta no golpear el fondo del molde.

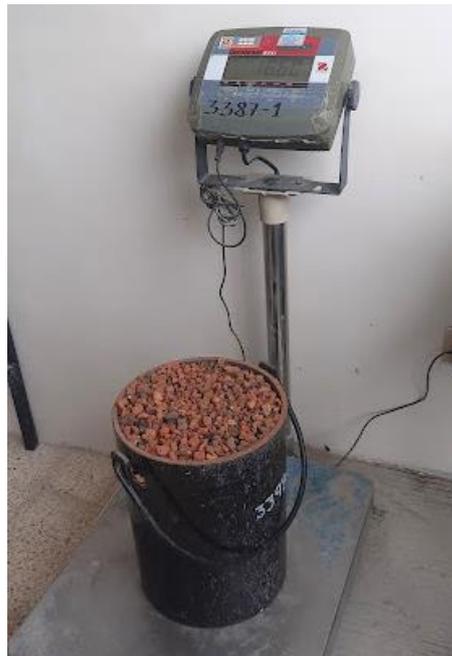
- Rellenar el resto del molde faltante y realizar el proceso anterior de compactar y nivelar. La compactación se realiza sin afectar la primera capa colocada.
- Pesar y registrar la masa obtenida cercana a 0.05 kg. Determinas peso del molde y masa de la muestra contenida en el recipiente.

Procedimiento por paladas

- Llenar el molde con una elevación que no supere los 50mm por arriba del molde con el material hasta la superficie utilizando un cucharón.
- Enrazar la superficie con una regleta, de esta forma se busca nivelar el área.
- Registrar los valores del peso de molde con el contenido y peso del molde.

Figura 10

Ensayo de determinación de masa unitario



Nota: Ensayo de peso volumétrico suelto en el agregado grueso

3.5. METODOLOGÍA O.E.2: EVALUAR EL DESEMPEÑO DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE POR MEDIO DE LAS NORMAS ASTM C1610, ASTM C1611 Y ASTM C1621.

Para el estudiar y analizar el desempeño que tendrá el hormigón autocompactante y establecer el mejor resultado obtenido por la diferente dosificación, se utiliza las normas estandarizadas ASTM C1610, ASTM C1611 Y ASTM C1621 que permite conocer las características de la mezcla del hormigón autocompactante en estado fresco. Para la aplicación de estas normal se usaron una columna fabricada de PVC y el anillo en J siguiendo las medidas respectivas dictada por la norma.

3.5.1. ASTM C1610 Método de ensayo estándar para segregación estática del hormigón autocompactante (Columna Técnica).

Por medio de este ensayo aplicado en el laboratorio se determina la posible segregación que tendría el hormigón autocompactante medido en la sección superior e inferior de la columna técnica y no deberá exceder los limites determinados.

Procedimiento

- Realizar el método en una superficie nivelada donde la columna técnica utilizada no este sometida a vibraciones y perturbaciones.
- Limpiar y humedecer la columna.
- Usar una pala o cuchara para remezclar la muestra y llenar la columna por completo en un tiempo estimada de dos minutos.
- Después de completar el relleno de la columna técnica en enrazar la superficie hasta que este nivelada. Dejar en reposo el hormigón en la columna durante 15 ± 1 minutos.

- Inmediatamente sujetar la parte superior de la columna y retirar el sistema al que se sujeta. Realizar estos pasos dentro del tiempo establecido de 20 min.
- Colocar la placa colectora alrededor de la columna entre la parte superior y media para recolectar el hormigón.
- Depositar el hormigón retenido en la parte superior de la columna y la placa recolectora en un balde.
- Repetir el procedimiento anterior con la sección central y desechar el hormigón
- Colocar el hormigón contenido en la sección superior en el tamiz No. 4 (4.75 mm)
- Retirar a través del lavado el hormigón de modo que solo quede el agregado grueso en el tamiz, ubicar el árido en un recipiente limpio. Repetir el proceso con el contenido de hormigón ubicado en la sección inferior de la columna.
- Con un paño retirar toda cantidad de agua visible del agregado grueso de la sección superior e inferior.
- Determinar la cantidad de masa obtenida en la parte de la columna superior e inferior más cercanos a 50 gr.

Figura 11

Columna técnica fabricada con PVC



3.5.2. ASTM C1611 Método estándar de ensayo para el flujo de asentamiento de hormigón autocompactante.

Este método proporciona el proceso para determinar el flujo de asentamiento del hormigón autocompactante en el laboratorio, usado para monitorear la consistencia en estado fresco.

Procedimiento

- Este ensayo se lleva a cabo en una superficie plana y nivelada con el uso de la placa base o superficie de hormigón previamente humedecida.
- El usuario podrá utilizar el método A o B para el llenado del molde. El procedimiento A consiste en humedecer el molde, ubicarlo en el centro de la superficie plana o placa base en modo de que la abertura más grande quede hacia abajo, sostener y rellenar el molde hasta la parte superior. En procedimiento B se molde de forma invertida humedecer y colocar la abertura más pequeña en el centro de la placa base o suelo de hormigón, rellenar el molde hasta la superficie del molde.
- Enrazar el molde en la parte superior y retirar elevándolo a una distancia de 225 ± 75 mm en un tiempo de 3 ± 1 segundos evitando realizar movimientos torsionales. Completar el procedimiento en un tiempo transcurrido de 2 minutos y medio.
- Esperar que el hormigón fluya y después medir el diámetro más grande de extensión de la circunferencia más cercana a 5 mm ($\frac{1}{4}$ in). Medir el segundo diámetro de forma perpendicular al diámetro inicial medido.
- El ensayo contará como invalido y deberá repetirse si los diámetros medidos difieren entre sí por más de 50 mm (2 in).

Figura 12

Método estándar de ensayo para el flujo de asentamiento de HAC.



3.5.3. ASTM C1621 Método estándar de prueba capacidad de paso para hormigón autocompactante por J-Ring.

Este método determina la capacidad de paso que tiene el hormigón autocompactante usando el J-Ring en combinación de molde de cono de asentamiento.

Procedimiento

- Realizar el procedimiento en una superficie nivelada y plana. Con una toalla o esponja humedecer la base donde será apoyado el anillo en J (J-Ring).
- Escoger el método A o B para realizar el ensayo. En este caso se usará el procedimiento B que consiste en humedecer el molde y colocarlo en el centro de la superficie o placa base con la abertura de tamaño más pequeño y centrado con el anillo en J, llenar el molde hasta la superficie.
- Nivelar la superficie del molde y retirar el hormigón excedente para que no interfiera con el resultado final. Levantar el molde sin realizar movimiento torsionales o laterales a una distancia de 260 ± 75 mm (9 ± 3 in) en un tiempo

estimado de 3 ± 1 segundos, se deberá completar en tiempo de $2 \frac{1}{2}$ min el procedimiento.

- Dejar que fluya el hormigón y medir en la circunferencia de hormigón el d_1 (diámetro más grande), medir el diámetro dos (d_2) de forma perpendicular con respecto al diámetro d_1 aproximadamente más cercado a 5mm (1/4 in). Calcular el flujo de capacidad de paso con la formula.
- Completar el procedimiento con y sin el uso de J-Ring en un tiempo de 6 minutos. Realizar el ensayo con el anillo en J acorde con el método descrito en la normativa ASTM C 1611/ C 1611M.

Figura 13

Ensayo aplicando la norma ASTM C1621



3.6. METODOLOGÍA O.E.3: ANALIZAR Y COMPARAR LAS DENSIDADES Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN OBTENIDAS PARA EL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE LIVIANO CON RESPECTO A LA MEZCLA DE HORMIGÓN DE PESO NORMAL Y DETERMINAR EL FACTOR Λ (LAMBDA).

Se utilizará los datos y resultados de las densidades y resistencia a la compresión obtenidas por Reyes Baquerizo & Yagual González (2023), para poder realizar la comparación ya que ellos usaron piedra caliza Guayco como agregado grueso obteniendo así un hormigón autocompactante de peso normal; también se va a

determinar el factor λ (lambda) que relaciona las densidades y resistencias del hormigón liviano con las del hormigón normal previamente descrito.

3.6.1. NTE INEN 1573 Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico.

En este primer análisis se realizará el cálculo para la resistencia a la compresión simple de los ejemplares realizados con hormigón autocompactante liviano respecto a un hormigón de peso normal (fabricado por Reyes y Yagual). Esta prueba implica someter a los cilindros o núcleos de hormigón de cemento hidráulico a una carga axial de compresión a una velocidad específica dentro de un intervalo determinado, hasta que se produzca la falla del material. La resistencia en la compresión de un espécimen se determina dividiendo la carga máxima registrada durante la prueba por el área de la sección transversal del espécimen.

De igual manera. Se ejecutará el cálculo de la densidad de los especímenes de hormigón autocompactante liviano para la respectiva comparación con las densidades de un hormigón de peso normal obtenidas por Yagual y Reyes.

Ecuación 4

Densidad

$$densidad = \frac{w}{v}$$

Donde:

W=masa de la muestra cilíndrica en kg

V= volumen hallado a partir de la longitud promedio y diámetro promedio de la muestra cilíndrica.

3.6.2. Requisitos de reglamento para concreto estructural ACI 318-19.

El Reglamento para el concreto estructural establece los requisitos mínimos para los materiales, el diseño y la especificación de construcciones de concreto

estructural, aplicables tanto a edificaciones como otras estructuras. Este reglamento fue desarrollado a través de un proceso de consenso aprobado por ANSI y abarca sistemas estructurales, componentes y conexiones, abordando diversas técnicas de construcción, como el concreto vertido en sitio, prefabricado simple, no pretensado, pretensado y compuesto. Incluye directrices sobre diseño y construcción para garantizar resistencia, rendimiento y durabilidad; considerando combinaciones de cargas, factores de carga, reducción de resistencia, métodos de análisis estructural, límites de deflexión, anclajes mecánicos y adheridos, desarrollo y empalme de refuerzo, información sobre documentos de construcción, inspección en obra, pruebas de materiales y métodos para evaluar la resistencia de estructuras existentes (ACI 318, 2019).

En esta parte se determina los requisitos de diseño y durabilidad del hormigón realizado, enfocado en el factor lambda (λ), definido como factor de modificación para reflejar las propiedades mecánicas reducidas del hormigón ligero en relación con el hormigón normal de la resistencia a la compresión. El valor (λ) debe estar basado en la composición del agregado de la mezcla de concreto de acuerdo con la tabla 19.2.4.2 (ACI 318S, 2014).

Tabla 7

Tabla 19.2.4.2 – factor de modificación λ

Concreto	Composición de los agregados	λ
Todos livianos	Fino: ASTM C330M Grueso: ASTM C330M	0.75
Liviano, mezcla fina	Fino: Combinación de ASTM C330M y C33M Grueso: ASTM C330	0.75 a 0.85
Arena, liviana	Fino: ASTM C33M Grueso: ASTM C330M	0.85
Arena, liviana, Mezcla gruesa	Fino: ASTM C33M Grueso: Combinación de ASTM C330M y C33M	0.85 a 1.00
Peso normal	Fino: ASTM C33M Grueso: ASTM C33M	1.00

Nota: Fuente. ACI 318S (2014)

Tabla 8

Cuadro de Operacionalización de Variables

VARIABLES	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala	
Porcentaje de aditivo basado en policarboxilato (2.0%, 2.5%, 3.0%) en la mezcla del hormigón autocompactante con agregado grueso liviano.	Los aditivos superplastificantes se incorporan a la mezcla para obtener mayor trabajabilidad, resistencia a la compresión y durabilidad. Los valores recomendados a utilizarse son de 0.6% a 1.2%.	Dosificación de aditivos evaluado en el rango de 2.0%, 2.5% y 3.0%.	Aditivo basado en policarboxilato	Elaboración de especímenes cilíndricos de hormigón con aditivo basado en policarboxilato	cm ³	
La resistencia a compresión simple y la densidad del hormigón de peso normal	La resistencia a la compresión consiste en aplicar al espécimen cilíndrico de concreto una carga axial hasta su rotura, determinando su máxima resistencia.	Se determina mediante el uso de la norma NTE INEN 1 573:2010	NTE INEN 1 573:2010	Resistencia a la compresión	Especímenes cilíndricos de hormigón	kg/cm ²
			NTE INEN 1 573:2010	Densidad	Especímenes cilíndricos de hormigón	kg/m ³
Las características de los agregados	El uso de ensayos estandarizados por las normas NTE INEN determinan las propiedades mecánicas de los agregados para el diseño de hormigón.	Se obtiene mediante los ensayos de laboratorio, siguiendo las normas NTE INEN 696, NTE INEN 857, NTE	NTE INEN 696.	Análisis Granulométrico	Ensayo para determinar el tamaño de partícula del agregado	%
			NTE INEN 863		Determinar de la solidez de los áridos mediante el uso de sulfato de sodio o de sulfato de magnesio	%
			NTE INEN 860		Determinar el valor de la degradación del árido	%

		INEN 858, NTE INEN 863, NTE INEN 860 y ASTM D 4791-99.		grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de los ángeles	
			ASTM D 4791-99	Método para establecer Partículas planas, partículas alargadas	%
			NTE INEN 0862:2011	Prueba para determinar el porcentaje de humedad	%
			NTE INEN 857	Determinación de la densidad saturada superficialmente seca	kg/m ³
			NTE INEN 858	Ensayo para obtener el Peso Volumétrico Varillado (PVV)	kg/m ³
			Determinación de la masa unitaria	Ensayo para obtener el Peso Volumétrico Suelto (PVS)	kg/m ³
El desempeño del hormigón autocompactante (fluidez, habilidad para no segregar agregados y habilidad para pasar a través de armadura)	Las propiedades físicas, químicas y mecánicas de la mezcla de HAC se define a través de los ensayos realizados usando las normas ASTM.	Se determina por medio de ensayos de laboratorio, siguiendo las normas ASTM C1610, ASTM C1611 y ASTM C1621.	ASTM C1610	Método para determinar la segregación estática del hormigón autocompactante	Escala numérica de razón.
			ASTM C1611	Ensayo para determinar el flujo de asentamiento del hormigón autocompactante	Escala numérica de razón.
			ASTM C1621 J-Ring	Prueba para determinar la capacidad de paso del hormigón autocompactante	Escala numérica de razón.

La resistencia a compresión simple y la densidad del hormigón autocompactante con agregado grueso liviano en comparación con las correspondientes al hormigón de peso normal.	Una característica mecánica del hormigón es la capacidad que tiene una probeta cilíndrica de hormigón para soportar una carga. Se mide a través de una prensa hidráulica.	Se determina mediante el uso de la norma NTE INEN 1 573:2010	NTE INEN 1 573:2010	Resistencia a la compresión	1	Elaboración de especímenes cilíndricos de hormigón con aditivo basado en policarboxilato	kg/cm ²
			NTE INEN 1 573:2010	Densidad	1	Elaboración de especímenes cilíndricos de hormigón con aditivo basado en policarboxilato	kg/m ³

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A continuación, presentaremos los resultados de nuestra investigación, acorde a los objetivos descritos en el Capítulo I. Los resultados conseguidos mediante pruebas de laboratorio se valoran por las normas ASTM C1610 (2021), ASTM C1611 (2021), ASTM C1621 (2017) para cumplir los estándares de un hormigón LWSCC, de la misma manera se evalúa el factor λ con el requerimiento del ACI 318-19 para modelar densidad y resistencia a la compresión del hormigón autocompactante de baja densidad fabricado.

En esta sección utilizaremos las definiciones siguientes para las mezclas realizadas:

- Mezcla 1A: tiene 0.25% de aditivo tipo D.
- Mezcla 1B: tiene 0.5% de aditivo tipo D.
- Mezcla 1C: tiene 0.75% de aditivo tipo D.
- Mezcla 2A: tiene 0,5 % de aditivo tipo D, 5% de microsíllica y 1% de aditivo tipo F.
- Mezcla 2B: tiene 0,5 % de aditivo tipo D, 5% de microsíllica y 1,5% de aditivo tipo F.
- Mezcla 2C: tiene 0,5 % de aditivo tipo D, 5% de microsíllica y 2% de aditivo tipo F.

4.1. DETERMINAR LA FUNCIONALIDAD DEL LADRILLO REFRACTARIO ARTESANAL COMO AGREGADO GRUESO LIVIANO SEGÚN LA NORMATIVA NTE INEN 872/ASTM C33. (O.E1.)

4.1.1. Análisis granulométrico.

Este ensayo está regido por la norma NTE INEN 696, este método se empleó para verificar que el ladrillo refractario triturado usado como agregado grueso en el hormigón desarrollado en este trabajo de titulación cumpla con la distribución granulométrica requerida.

El agregado grueso para el hormigón fue comprado y triturado en la ladrillera “Jhonny Sánchez” ubicada en el barrio Lirios de los Valles, vía a la represa del cantón La Libertad y conforme a la norma NTE INEN 695, se tomó una cantidad adecuada de muestra para el ensayo. La muestra se secó en el horno hasta obtener una masa constante. Se seleccionaron los tamices necesarios y se dispusieron en orden decreciente según el tamaño de las partículas del agregado fino. Los tamices se agitaron durante un periodo de tiempo adecuado, evitando la sobrecarga de material en cada uno.

Podemos observar en el **Anexo 1** las masas del material retenido en cada tamiz que se obtuvo utilizando una balanza. Luego, se calculó el porcentaje de material fino retenido, el porcentaje de material que pasa por cada tamiz y el módulo de finura.

4.1.2. Material más fino que pasa 75 μm .

Este ensayo se realizó siguiendo el procedimiento A y se puede apreciar en el **Anexo 3**, que incluye el lavado con agua potable y el uso de un conjunto de tamices según las especificaciones. Después de secar la muestra en el horno hasta alcanzar una masa constante a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, se sumergió la muestra en un recipiente con suficiente agua para cubrirla. La muestra se agitó vigorosamente para suspender el material fino, y luego se colocó inmediatamente en el conjunto de tamices. Se añadió más agua y se volvió a agitar la muestra.

Se utilizó un recipiente para colocar todo el material retenido en el conjunto de tamices y la muestra se secó en el horno hasta alcanzar una masa constante. Finalmente se determina la masa de la muestra y se obtuvo el porcentaje de material

más fino que pasa 75 μm es del 0% por lo tanto cumple con la norma al ser $< 1\%$ como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9

Resultados de material más fino de 75 μm

Material	Descripción	%
Ladrillo refractario triturado	% más fino de 75 μm	0,000
Parámetro INEN 699: $<1\%$		

4.1.3. Determinación de la masa unitaria.

4.1.3.1. Peso volumétrico varillado.

En este ensayo se utilizó una varilla de compactación de acero lisa, con un diámetro de 16 mm y una longitud de 600 mm. Se formaron tres capas aproximadamente iguales con el agregado, compactando cada una con 25 golpes. Finalmente, se niveló el recipiente con el agregado y se procedió a pesar el contenido junto con el recipiente.

4.1.3.2. Peso volumétrico suelto.

El agregado se colocó en el recipiente en tres capas para el agregado grueso, usando paladas. Cabe destacar que en este ensayo no se compacta el material con la varilla, después de nivelar la superficie se procedió a pesar el agregado junto con el recipiente.

En el **Anexo 4** podremos ver que para la obtención de mejores datos se procedió a ejecutar 4 muestras, para así poder calcular un promedio; en la siguiente tabla se muestran los resultados:

Tabla 10

Determinación de masa unitaria.

Elemento	Muestra	Unidad
P.V. V	781,565	Kg/m ³
P.V. S	703,511	Kg/m ³

4.1.4. Densidad saturada superficialmente seca.

Este ensayo está regulado por la norma NTE INEN 857 para el árido grueso. El agregado se sumergió en agua durante 24 horas para llenar sus vacíos. Luego, se retiró la muestra del agua, se secó superficialmente el agregado y se determinó su peso sumergido en agua. Finalmente, se aplicó la fórmula correspondiente para obtener el valor de la DSSS.

La densidad saturada superficialmente seca obtenida fue de 1746,72 kg/m³ y su desarrollo lo podemos encontrar en el **Anexo 5**.

4.1.5. Elongación y lajosidad.

Este ensayo está regido por la norma ASTM 4791-99. La muestra se separó mediante tamizado. Una vez obtenidas las fracciones de la muestra, se utilizó un calibrador de longitudes y un calibrador de espesores para verificar si cada partícula pasa o no pasa por estos, con el fin de determinar el aplanamiento y alargamiento de las partículas.

En el **Anexo 6** podemos visualizar los resultados obtenidos para la determinación del índice de aplanamiento y alargamiento de nuestro agregado grueso, de la misma forma en la siguiente Tabla:

Tabla 11*Índice de alargamiento y aplanamiento.*

Agregado Grueso: Ladrillo refractario triturado		
Índice Alargamiento.	12,86	<30%
Índice Aplanamiento.	5,99	<30%

4.1.6. Abrasión de los ángeles.

Este ensayo está regulado por la norma INEN 860. Se determinó la pérdida de masa del agregado grueso (ladrillo refractario triturado). La muestra se colocó en un tambor giratorio de acero con el número de esferas requerido según la granulometría realizada nos dio una gradación Tipo C. Al girar el tambor, se produce una acción de trituración debido al impacto del agregado con las esferas de acero. Después de completar las 500 revoluciones, se retiró el material del tambor y se tamizó para obtener el porcentaje de pérdida de material. El resultado obtenido se presenta en el **Anexo 7** y en la siguiente tabla.

Tabla 12*Desgaste del agregado grueso*

Ladrillo Refractario Triturado	
% Desgaste	60%
Parámetro ASTM C131	>50%

4.1.7. Reactividad alcalina.

Este ensayo está regido por la norma INEN 863. La muestra se obtuvo conforme a la NTE INEN 695 y luego se procedió a reducir su tamaño según la **tabla 4**, se lavó la muestra y se procedió a secarla en el horno, luego se separó por medio del tamizado. La muestra se sometió a 5 ciclos de exposición y secado, en una solución de sulfato de magnesio con una gravedad específica entre 1,295 y 1,308. La muestra se sumergió por un periodo de 16 a 18 horas. Después de completar los ciclos requeridos y luego se dejó enfriar la muestra.

A continuación, para eliminar el sulfato de magnesio la muestra se lavó con agua a una temperatura de 43 ± 6 °C. Una vez eliminado el sulfato, se procedió a tamizar la muestra según los parámetros de la **tabla 5**. Por último, determinamos la masa del material que se retuvo en cada tamiz y la masa inicial de cada fracción, expresándolas como un porcentaje de la masa inicial. Podemos ver el resultado en el **Anexo 8** así como en la siguiente tabla:

Tabla 13

Desgaste de la solidez de los áridos.

Ladrillo refractario triturado	
% Desgaste Total	8,86

4.2. EVALUAR EL DESEMPEÑO DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE LWSCC POR MEDIO DE LAS NORMAS ASTM 1610, ASTM 1611 Y ASTM 1621. (O.E2.)

4.2.1. Mezcla de hormigón por el método ACI 211.1 ajustando el factor de A/C a 0.45.

La dosificación para mezclas de hormigón en la que nos guiamos fue el procedimiento indicado en la investigación de (Alvarado Boza & Tivanta Jaramillo, 2020). Los resultados de nuestros ensayos se encuentran en el **Anexo 1**, donde podemos visualizar que nuestra mezcla que contiene ladrillo refractario triturado como agregado grueso con tamaño máximo de 1/2" en una proporción de 40% y 60% de agregado de tamaño máximo No 3/8 de la cantera "El triunfo", cumple con los requerimientos dentro de la norma INEN 696 (**Anexo 2**).

Tomando esta dosificación del agregado grueso como base para la investigación, se procedió a calcular los volúmenes y las dosificaciones de los demás componentes del hormigón necesarios para los ensayos ASTM, cilindros de hormigón según la norma ASTM C39 y silla con estructura tipo u.

El procedimiento seguido se describe a continuación:

1. Se obtuvo las características de los agregados grueso y fino para corroborar que cumplan con lo establecido en la norma **ASTM 696**, los resultados se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 14

Características del agregado grueso.

Agregado grueso TMA ½"	
Peso volumétrico suelto	703,511 kg/cm ³
Peso volumétrico varillado	781,565 kg/cm ³
D.S.S.S	1746,72 kg/cm ³
Tamaño máximo nominal	12,5 mm (1/2)
Absorción	25,60 %
humedad	18,07 %

Figura 14

Ensayo granulométrico agregado grueso.

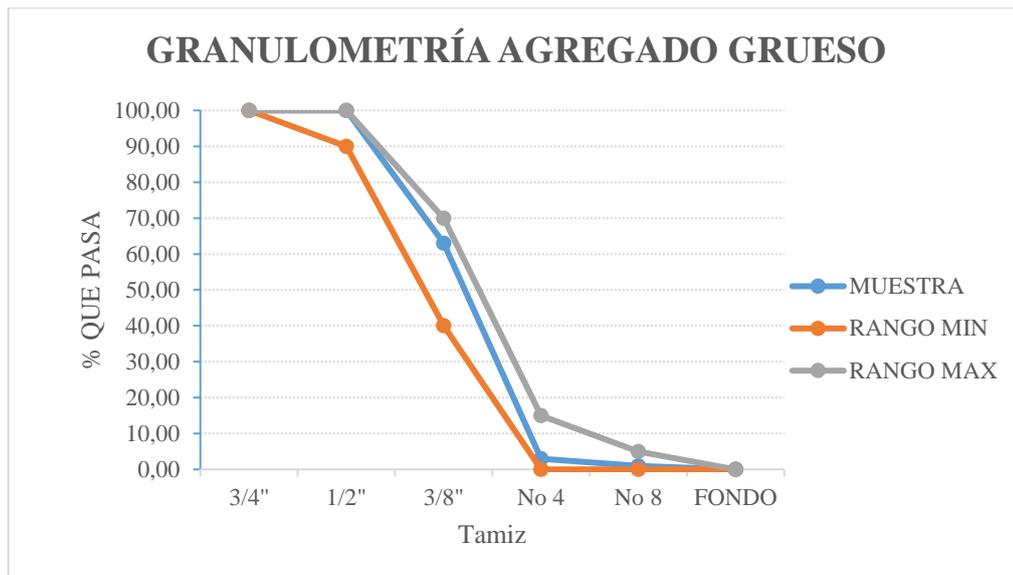


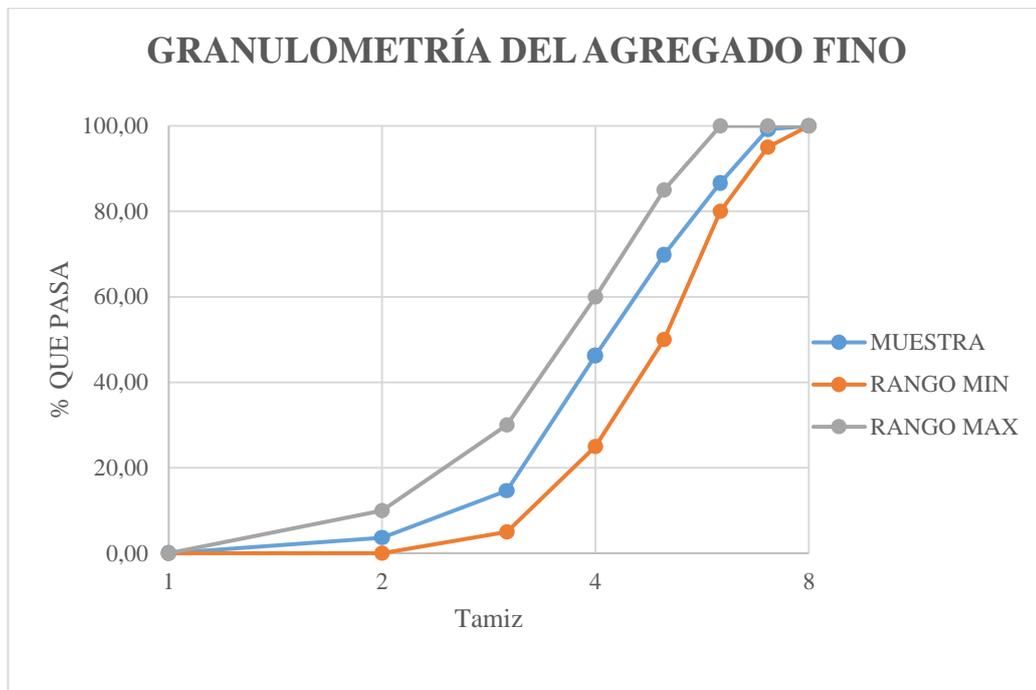
Tabla 15

Características del agregado fino.

Agregado fino	
Peso Especifico	2551,02 kg/cm ³
Absorción	0,82 %
Humedad	0,69 %
Módulo de finura	2,80
Cemento	2950 kg/cm ³

Figura 15

Ensayo granulométrico agregado fino.



2. Dado que se utiliza una mezcla de 1/2" y 3/8", se emplea información del ACI que caracteriza al agregado grueso como de 3/8", obteniendo así los parámetros para la dosificación al correlacionar el tamaño máximo nominal de 3/8" y el módulo de finura de 2,80.

Tabla 16*Volumen de agregado grueso por volumen unitario.*

Tamaño máximo de agregado, mm	Volumen de agregado grueso varillado en seco, por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de la arena			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5 (3/8")	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5 (1/2")	0,59	0,57	0,55	0,53
19 (3/4")	0,66	0,64	0,62	0,60
25 (1")	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5 (1 1/2")	0,75	0,73	0,71	0,69
50 (2")	0,78	0,76	0,74	0,72
75 (3")	0,82	0,80	0,78	0,76
150 (6")	0,87	0,85	0,83	0,81

Fuente: Método ACI-211.1 (2022)

Una vez obteniendo como resultado un factor de 0,46 se procede a obtener los volúmenes de material:

Ecuación 5*Peso del agregado grueso.*

$$\text{Peso del A. grueso} = (0,46)(781,565 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^3})$$

$$\text{Peso del A. grueso} = 359,519 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^3}$$

3. Procedemos a escoger el valor de revenimiento adecuado para nuestra mezcla con la ayuda de la tabla. Se escogerá un valor de 10 cm conforme al ACI 211.1 (2022).

Tabla 17*Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción.*

Tipos de Construcción	Revenimiento [cm]	
	Máximo*	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas, cajones de cimentación y muros de subestructura sencillos.	7,5	2,5
Vigas y muros reforzados.	10	2,5
Columnas para edificios.	10	2,5
Pavimentos y losas.	7,5	2,5
Concreto masivo.	7,5	2,5

*Pueden incrementarse en 2,5 cm cuando los métodos de compactación no sean mediante vibrado

Nota: Tomado del Método ACI-211.1 (2022)

4. A continuación, se selecciona la cantidad de agua necesaria para la mezcla tomando en cuenta que tenemos un tamaño máximo nominal de 3/8" y un revenimiento de 2,5 a 10 cm para un hormigón sin aire incluido por lo tanto el agua de mezclado será de 228 lts.

Tabla 18*Contenido de agua de mezclado y contenido de aire.*

TABLA 6.3.3 Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado									
Agua, kg/cm3 concreto para TMG. mm									
Revenimiento, cm	9,5	12,5	19	25	38	50	75	150	
Concreto sin aire incluido									
De 2,5 a 5,0	207	199	190	179	166	154	130	113	
De 7,5 a 10	228	216	205	193	181	169	145	124	
De 15 a 17,5	243	228	216	202	190	178	160	
Cantidad aprox. Aire atrapado	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2	
Concreto con aire incluido									

De 2,5 a 5,0	181	175	168	160	150	142	122	107
De 7,5 a 10	202	193	184	175	165	157	133	119
De 15 a 17,5	216	205	197	174	174	166	154
Promedio recomendado de aire por incluir por exposición								
Exposición ligera	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0
Exposición moderada	6,0	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5	3,0
Exposición severa	7,5	7,0	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0

Nota: Tomado del Método ACI-211.1 (2022)

5. Procedemos a calcular los valores de cada material para 1 m³ de acuerdo con el ACI 211.1 con los factores obtenidos previamente.

Tabla 19

Volúmenes de material para 1 m³

	Peso (w)	% humedad	% abs	D (kg/cm³)	V (m³)
Aire					0,030
Cemento	625,66			2950,00	0,212
Piedra	359,51	18,07	25,60	1746,72	0,206
Arena	670,92	0,69	0,82	2551,02	0,263
Agua	288,20			1000,00	0,288

Nota: Mezcla obtenida de Alvarado Boza y Tivanta Jaramillo (2020) y ACI-211.1 (2022), con factor A/C 0,45.

6. Después de haber obtenido los volúmenes de material para 1m³ continuaremos con el cálculo del peso por agregado necesario para la producción de los cilindros de hormigón (9) que tendrán el curado respectivo debajo del agua y a los 7,14 y 28 días se procederá a realizar la respectiva rotura para así conocer la resistencia de los especímenes y analizar los resultados y variaciones que tengan por el uso de diferentes cantidades de aditivo superplastificante.

Tabla 20*Peso de mezcla para elaboración de cilindros.*

	Volumen por fundir	Vol. Material	D (kg/cm³)	Kg a pesar
Cemento		0,00451	2950,00	13,30
Piedra		0,00398	1746,72	6,95
Arena	0,021	0,00597	2551,02	15,22
Agua		0,00611	1000,00	6,11
TOTAL		0,02057		41,58

Nota: Mezcla obtenida de Alvarado Boza y Tivanta Jaramillo (2020) y ACI-211.1 (2022), con factor A/C 0,45.

4.2.2. Dosificación de aditivos para la mezcla.

En esta parte presentaremos las dosificaciones de aditivos que se utilizaron para la realización de la mezcla de hormigón, el cálculo de las proporciones fue elaborado en relación con el peso del cemento manipulado en la respectiva mezcla que es lo especificado en las fichas técnicas de los productos, los resultados (kg) de estos cálculos los presentamos a continuación.

Para el aditivo microsílca se utilizará una proporción del 5%, lo cual fue establecido en el alcance del presente trabajo, obteniendo un resultado de 0,665 kg que se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 21*Peso de aditivo en polvo en la mezcla de hormigón.*

Peso del cemento (kg)	% Aditivo	Peso resultante de Aditivo (kg)
13,30	5	0,665

Para el aditivo tipo D (Plastificante-acelerante) se realizó el estudio con las mezclas 1A, 1B y 1C, las cuales tienen proporciones diferentes con el fin de obtener el

porcentaje con un mejor rendimiento, podemos apreciar en el **Anexo 9** se evidencia que con un porcentaje del 0,5% de aditivo se obtiene mejores resultados en cuanto a tiempo de maniobrabilidad en relación con la resistencia a la compresión.

Tabla 22

Peso de aditivo tipo D en la mezcla de hormigón.

Peso del cemento (Kg)	% Aditivo	Peso resultante de Aditivo (Kg)
13,30	0,25	0,03325
13,30	0,50	0,06650
13,30	0,75	0,09975

Para el aditivo tipo F (plastificante base de policarboxilato) se ensayó en 3 proporciones (1%, 1.5% y 2%) respectivamente en las mezclas ya establecidas 2A, 2B y 2C; las cuales contienen ya el porcentaje de aditivo tipo D y microsíllica óptimos.

Tabla 23

Peso de aditivo tipo F en la mezcla de hormigón.

Peso del cemento (Kg)	% Aditivo	Peso resultante de Aditivo (Kg)
13,30	1,0	0,1330
13,30	1,5	0,1995
13,30	2,0	0,2660

Con las dosificaciones de aditivos calculadas se realiza el procedimiento correspondiente para la realización de la mezcla de hormigón, primero con la ayuda de una balanza se pesa la cantidad de cada material necesaria, después procedemos a ir colocando los materiales en la concretera, primero el agregado grueso previamente humedecido seguido de la mitad del agregado fino y la mitad del aditivo en polvo junto a la mitad del agua en la cual se agregó los aditivos líquidos.

A continuación, esperamos de 1 a 2 minutos para incorporar en la concretera el resto de aditivo en polvo, así como el restante de los agregados gruesos y finos, por último, agregamos la otra mitad de agua y esperamos a que la mezcla sea uniforme para poder proseguir con los ensayos ASTM y la fundición de cilindros junto con la estructura tipo U.

4.2.3. Ensayo ASTM C1610 “Segregación estática del hormigón autocompactante”

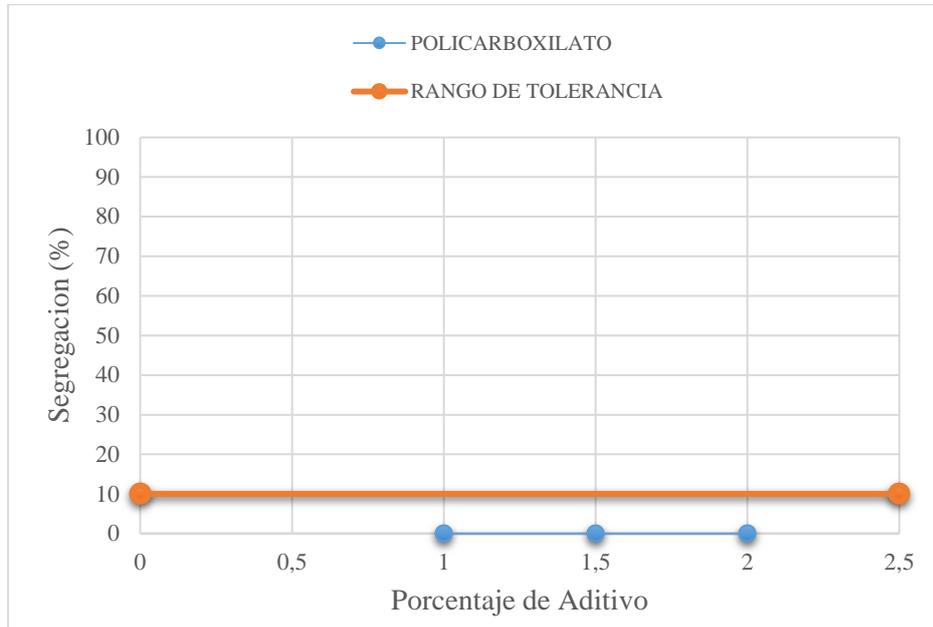
El ensayo se realizó de acuerdo con los parámetros dentro de la norma que se explican en el capítulo 2 en la sección 2.4.1, la evaluación realizada a la mezcla 2A que contiene 1% de policarboxilato dio como resultado un porcentaje de segregación del 0% (**Anexo 10**), para la mezcla 2B que contiene 1,5% de policarboxilato se obtuvo un porcentaje de segregación de 0% (**Anexo 11**) y por último para la mezcla 2C que contiene 2% de policarboxilato se obtuvo de la misma forma un porcentaje de segregación del 0% (**Anexo 12**).

Por lo tanto, las mezclas 2A, 2B Y 2C presentan una distribución adecuada de los materiales que las componen, debido a que mediante el cálculo de la segregación la cantidad de material grueso en la parte inferior de la columna es menor a la cantidad encontrada en la parte superior, por lo que, siguiendo con lo descrito en la norma equivale a un 0% de segregación, por lo cual los valores obtenidos se encuentran dentro del rango de tolerancia (10%) como podemos apreciar en la figura 16.

De toda forma se puede inferir que en la mezcla 2C existe mucha diferencia en el material encontrado en la parte inferior con el de la parte superior, por consecuencia la mezcla tiene un cambio de viscosidad y presenta una elevada fluidez mientras que los valores de las mezclas 2A Y 2B están mucho más cercanos y no presentan un cambio excesivo en su fluidez.

Figura 16

ASTM 1610 Segregación Estática.



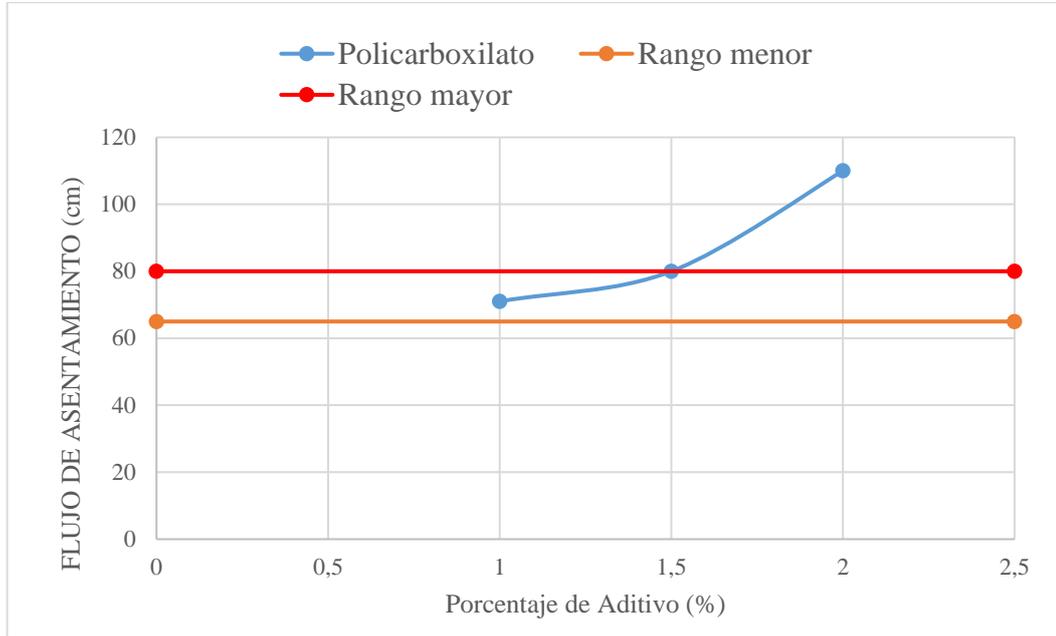
4.2.4. Ensayo ASTM C1611 “Flujo de asentamiento del hormigón autocompactante”.

De acuerdo con la evaluación del ensayo según el procedimiento explicado en el capítulo 2 sección 2.4.2, obtuvimos que para la mezcla 2A que contiene 1% de policarboxilato se obtuvo un flujo de asentamiento de 71 cm (**Anexo 13**), para la mezcla 2B con 1,5% de policarboxilato el flujo de asentamiento fue de 80 cm (**Anexo 14**) y para la mezcla 2C con un 2% de policarboxilato se tuvo un flujo de asentamiento de 110 cm (**Anexo 15**).

Por lo tanto, la mezcla 2A tuvo el mejor flujo de asentamiento de acuerdo con el requisito de las normas europeas EFNARC (2002) en las cuales el rango del flujo de asentamiento para establecer la mezcla con mejor habilidad para el relleno de moldes así como también evitar problemas con la segregación y disminución en la consistencia debe ser entre 65 a 80 cm, mientras que las mezclas 2B se ubica en el límite del rango mayor, pero de todas está dentro de la condición, en cambio la mezcla 2C no cumple con el requisito ya que al tener un flujo de asentamiento de 110 cm sobrepasa el rango máximo. Se puede apreciar en la figura 17.

Figura 17

ASTM 1611 Flujo de Asentamiento.



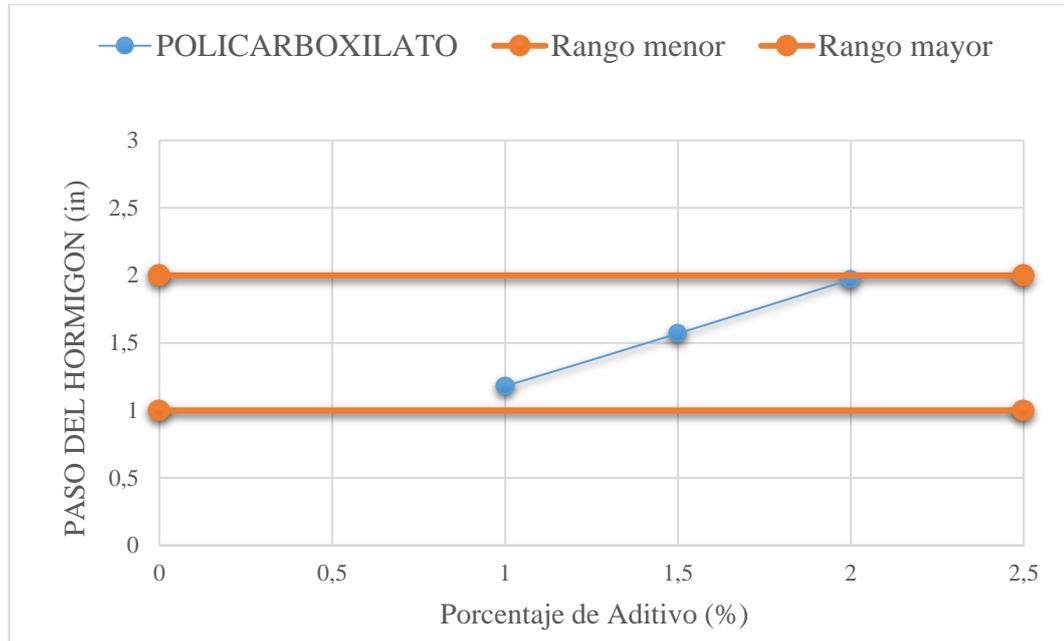
4.2.5. Ensayo ASTM C1621 “Capacidad de paso del Hormigón autocompactante”.

La prueba se realizó de la misma manera como está explicada en el capítulo 2 sección 2.4.3, y con lo cual se obtuvo que para la mezcla 2A con 1% de policarboxilato la capacidad de paso del hormigón fue de 1,18 pulgadas (**Anexo 16**), la mezcla 2B con 1,5% de policarboxilato obtuvo una capacidad de paso de 1,57 pulgadas (**Anexo 17**) y por último la mezcla 2C con un valor de 1,97 pulgadas (**Anexo 18**).

De acuerdo con lo establecido en la norma ASTM C1621 las mezclas 2A, 2B y 2C tienen un bloqueo mínimo a notable entrando en el rango de mayor a 1 y menor a 2 pulgadas, aun así, la mezcla 2C teniendo un valor de 1,97 pulgadas es la que está más cerca de un bloqueo notable a extremo, por lo cual se puede inferir que a medida que el aditivo de policarboxilato aumenta, la capacidad de paso del hormigón en este caso disminuye debido a que la mezcla no tiene buenas características en estado fresco por lo cual no hubo una buena interacción entre los agregados y los aditivos. Se puede visualizar dicho efecto en la figura 18.

Figura 18

ASTM 1621 Capacidad de paso del hormigón.



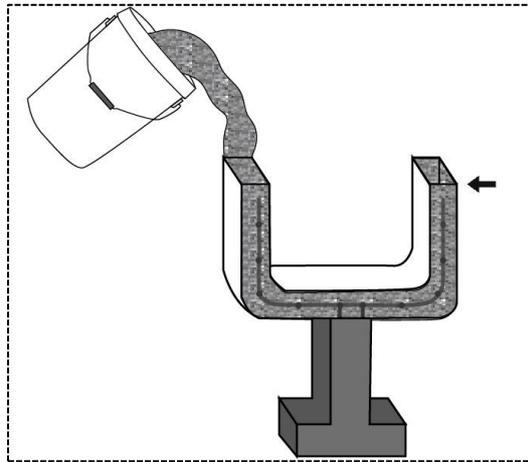
4.2.6. Fluidez de la mezcla de hormigón autocompactante mediante elemento tipo u.

Para este análisis se realizó la misma estructura que (Reyes Baquerizo & Yagual González, 2023), se trabajó con los mismos datos con el fin de poder realizar una comparación con los resultados que ellos obtuvieron. Las dimensiones de la estructura y las especificaciones de acero podemos visualizarla mejor en el **Anexo 19 y Anexo 20**. Mediante la realización del elemento tipo U y de acuerdo con las normas ASTM antes comprobadas se busca verificar la facilidad de paso de las mezclas dentro de la estructura, con el fin de que la mezcla que se ingresó por un extremo saliera por el otro sin ningún tipo de problema de obstrucción.

Con la mezcla 2A se realizó el vaciado en la estructura tipo U y se pudo verificar que en un tiempo de 10 segundos la mezcla logró pasar de un lado al otro fácilmente como se puede visualizar en la siguiente figura 19.

Figura 19

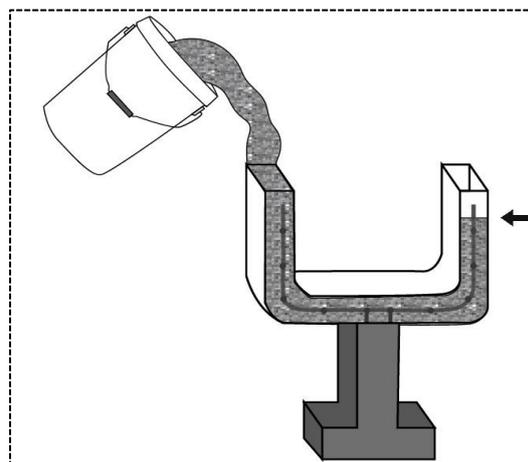
Vaciado de mezcla 2A en estructura tipo U.



Con la mezcla 2B también se realizó el respectivo vaciado en la estructura y dentro de un tiempo de 15 segundos la mezcla logró pasar de un lado al otro, un poco más lenta que la mezcla 2A, pero no hubo mayores problemas; se puede visualizar en la figura 20 lo antes mencionado.

Figura 20

Vaciado de mezcla 2B en estructura tipo U.

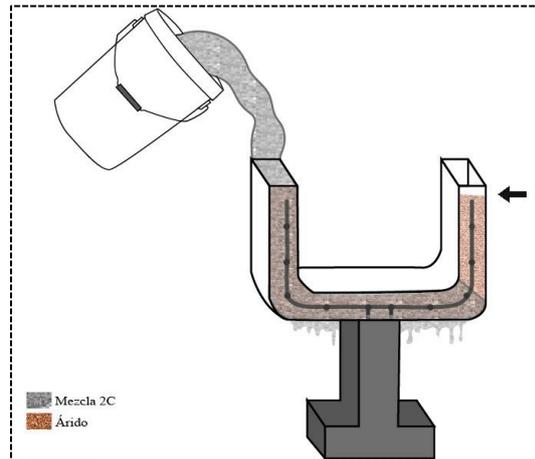


Por último, con la mezcla 2C durante el vaciado se presentó un inconveniente, la mezcla comenzó a filtrarse por las ranuras de la estructura de madera lo que provocó que dentro de la estructura solo quedaran los áridos es así como podemos inferir

que la causa fue la poca viscosidad de la mezcla ya que esta tenía una consistencia de lechada, se puede visualizar mejor en la figura 21.

Figura 21

Vaciado de mezcla 2C en estructura tipo U.



De acuerdo con los resultados obtenidos del vaciado de las tres mezclas se puede afirmar que en las mezclas 2A Y 2B el tiempo de paso de un extremo a otro es muy corto por lo que aunque en el ensayo ASTM 1621 que hace referencia a la capacidad de paso del hormigón autocompactante se obtuvo un bloqueo mínimo a notable esto no tuvo mayores repercusiones en el vaciado dentro de la estructura tipo U, se asevera entonces que gracias a la utilización del aditivo tipo D se obtuvo un mayor rango de maniobrabilidad de la mezcla. En este caso también se pudo apreciar que en las mezclas 2A Y 2B no se presenció segregación de los agregados lo cual podemos atribuir a la utilización de la microsílca dentro de la mezcla y debido también al tamaño del agregado la misma fluye fácilmente y es capaz de adaptarse, aunque el encofrado tenga su armadura metálica y sea de 7cm de espesor.

Debido a que durante el vaciado de la mezcla 2C en la estructura tipo U se presentaron inconvenientes por el estado muy fluido de la mezcla se pudo apreciar que no tenía buenas características en estado fresco, se puede inferir que esto paso por el nivel de aditivo tipo F utilizado en la misma por lo cual al actuar junto a los otros aditivos no se obtuvo buenos resultados. De acuerdo con los resultados obtenidos se establece que se debe ajustar la dosis de aditivo de policarboxilato

además de evaluar el porcentaje de aditivo tipo D utilizado para obtener resultados positivos para controlar la fluidez, consistencia de la mezcla y evitar una mala cohesión de los agregados con la pasta de cemento y los aditivos. **Anexo 21.**

4.3. ANALIZAR Y COMPARAR LAS DENSIDADES DEL MATERIAL Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN OBTENIDAS PARA EL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE LIVIANO CON RESPECTO A LA DE UN HORMIGÓN DE PESO NORMAL; Y DETERMINAR EL FACTOR Λ (LAMBDA). (O.E.3)

4.3.1. Cilindros de hormigón.

Para la realización de los cilindros de hormigón se emplearon las especificaciones descritas en la norma NTE INEN 1576:2011, se procedió a utilizar cilindros de dimensiones de 0,10 m de ancho y 0,20 m de alto. Primero se limpia previamente el espécimen y se coloca un poco de aceite en el interior, luego se procede a colocar un poco de la mezcla en una carretilla y con la ayuda de un cucharón fuimos realizando dos capas y por cada capa se varilló 25 veces como lo explica la norma, luego de haber completado las dos capas se procede a rasar con la varilla el exceso de mezcla y con la ayuda de una llana se deja lisa la superficie.

Este proceso se repitió para todos los especímenes que se realizaron, después de haber esperado 24 horas se procede a desencofrar y colocar dentro de una piscina para su respectivo curado como lo indica la norma NTE INEN 2528:2010, donde se los dejará reposar el tiempo necesario para que a los 7,14 y 28 días se pueda realizar la prueba de compresión simple ASTM C39 para establecer la resistencia que alcanza la mezcla. Se muestra en el **Anexo 22.**

4.3.2. Prueba ASTM C39 “Compresión simple del Hormigón”.

Según las especificaciones dentro de la norma ASTM C39 los cilindros de hormigón de la mezcla control y de las mezclas 2A, 2B y 2C fueron ensayados a

los 7,14 y 28 días para poder saber los valores de las resistencias a la compresión que muestran los diferentes especímenes realizados con dosificaciones variables bajo las mismas condiciones de curado. En la Tabla 24 y figura 22 podemos apreciar los valores de las resistencias obtenidas por parte de la mezcla 2A, de la misma forma en la tabla 25 y figura 23 visualizaremos los valores correspondientes a la mezcla 2B y por último en la tabla 26 y figura 24 tenemos los valores de las resistencias de la mezcla 2C.

Presentamos a continuación los resultados que se encuentran en los **Anexos 23** a al **Anexo 26**.

Tabla 24

Resistencia a la Compresión Mezcla Control y 2A.

Descripción	Edad (días)	Carga (KN)	Resistencia (MPa)
Mezcla Control	7	154,70	19,70
	14	187,80	23,91
	28	215,60	27,46
Mezcla 2A	7	198,80	24,33
	14	213,61	27,20
	28	257,47	32,65

Figura 22

Compresión Simple mezcla control y 2A.

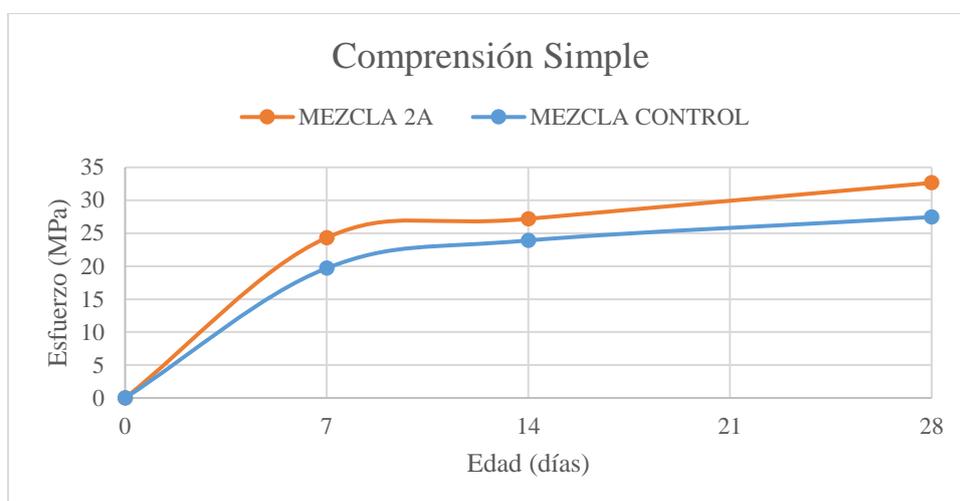
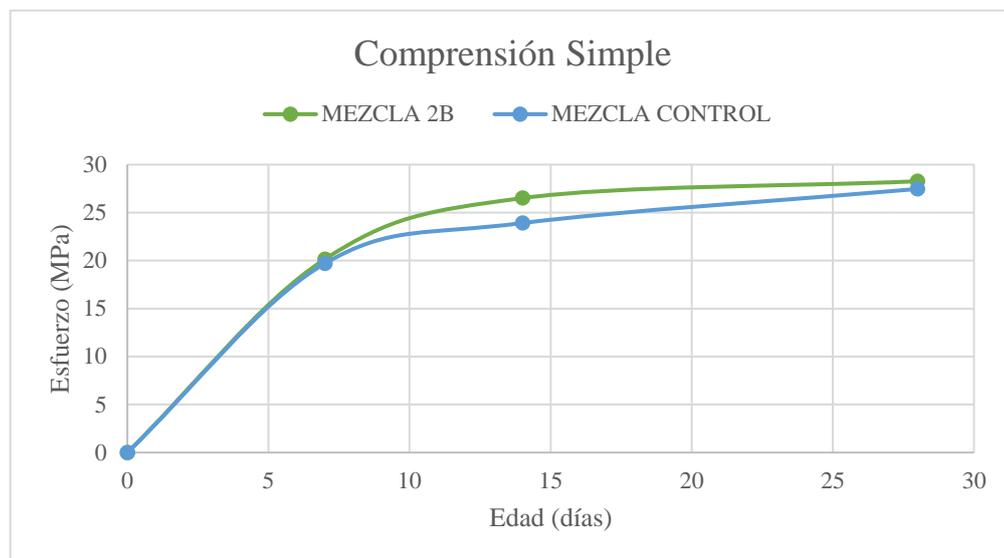


Tabla 25*Resistencia a la Compresión Mezcla Control y 2B.*

Descripción	Edad (días)	Carga (KN)	Resistencia (MPa)
Mezcla Control	7	154,7	19,70
	14	187,8	23,91
	28	215,6	27,46
Mezcla 2B	7	158,23	20,15
	14	216,63	26,51
	28	228,10	28,27

Figura 23*Compresión simple mezcla control y 2B.***Tabla 26***Resistencia a la Compresión Mezcla Control y 2C.*

Descripción	Edad (días)	Carga (KN)	Resistencia (MPa)
Mezcla Control	7	154,7	19,70
	14	187,8	23,91
	28	215,6	27,46
Mezcla 2C	7	148,10	18,86
	14	154,70	19,70
	28	181,87	22,25

Figura 24

Compresión simple mezcla control y 2C.

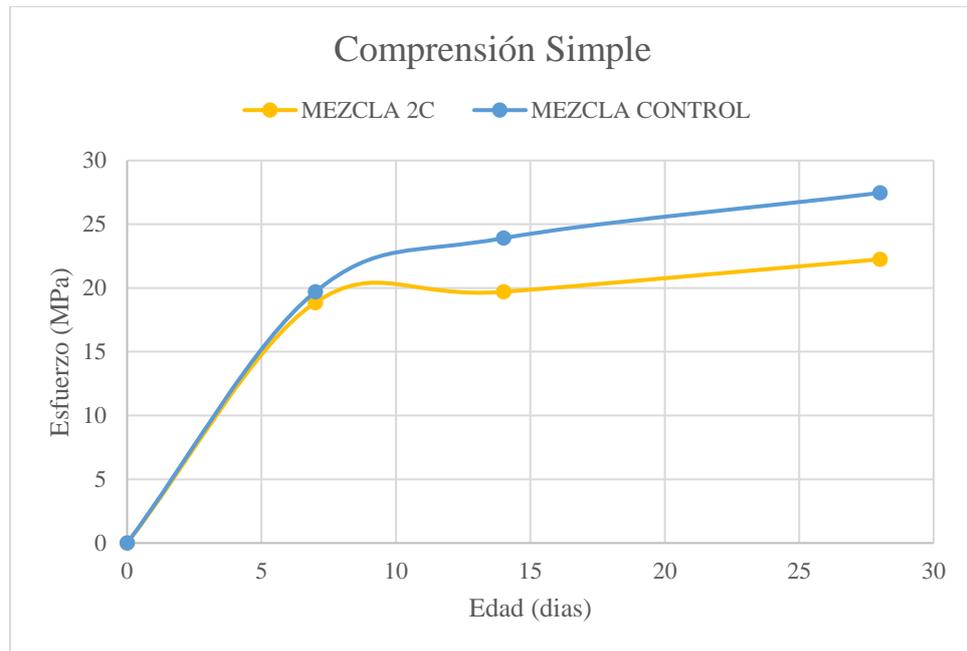
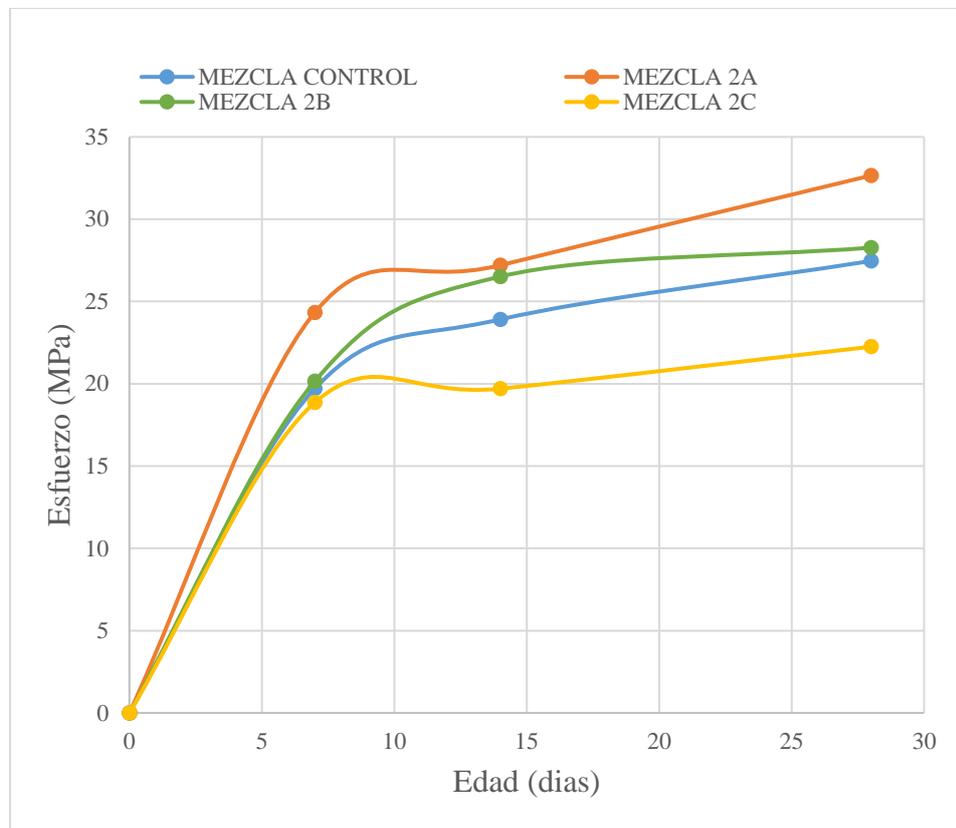


Figura 25

Compresión Simple de mezcla control, 2A, 2B y 2C.



De acuerdo con los datos obtenidos después de haber realizado el ensayo de compresión simple a todos los especímenes nos podemos dar cuenta que la resistencia varia aunque el diseño es el mismo para todas las mezclas, la mezcla 2A es la que obtuvo mejores resultados en cuanto a resistencia a compresión, mientras que en segundo lugar esta la mezcla 2B en la cual los resultados disminuyeron un poco pero aun así sus resultados son mayores al f_c de 28 MPA; mientras que la mezcla 2C tuvo una caída en su resistencia estando por debajo de la mezcla control, podemos atribuir que esta baja en resistencia se debe al porcentaje que se usó de aditivo policarboxilato (2%), es así que la combinación de aditivos de la mezcla 2C no es la más factible para poder fabricar un hormigón autocompactante liviano.

4.3.3. Análisis de Densidades.

Se procederá a realizar el análisis de la densidad del hormigón autocompactante liviano fabricado por nosotros comparándolo con la densidad de un hormigón de peso normal, por lo cual se usará el hormigón fabricado con piedra Guayco por (Reyes Baquerizo & Yagual González, 2023). **Anexo 27.**

Para el cálculo de la densidad se utilizará la formula recomendada dentro de la norma NTE INEN 1573 como se lo mencionó en el capítulo 3 sección 3.6.1, a continuación, los resultados de las densidades de los cilindros en la tabla 27.

Tabla 27

Cilindros de hormigón de peso normal, mezcla control, 2A, 2B Y 2C.

Descripción	Edad (días)	Densidad (Kg/m ³)
Hormigón de peso normal con piedra Guayco	7	2254,71
	14	2257,52
	28	2371,24
Hormigón de control con ladrillo refractario	7	2061,01
	14	2036,56
	28	2049,12
Hormigón con mezcla 2A	7	1988,59
	14	1989,97

	28	1989,87
Hormigón con mezcla 2B	7	1981,55
	14	1993,56
	28	1993,26
Hormigón con mezcla 2C	7	2011,08
	14	2015,71
	28	2018,06

Figura 26

Densidad de cilindros de hormigón peso normal, mezcla control, 2A, 2B y 2C.

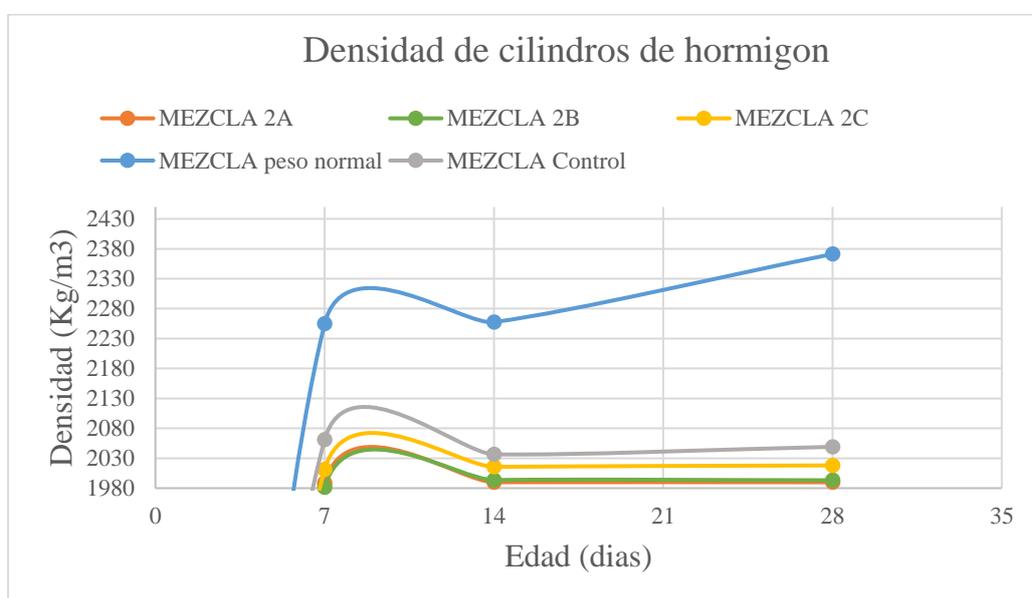
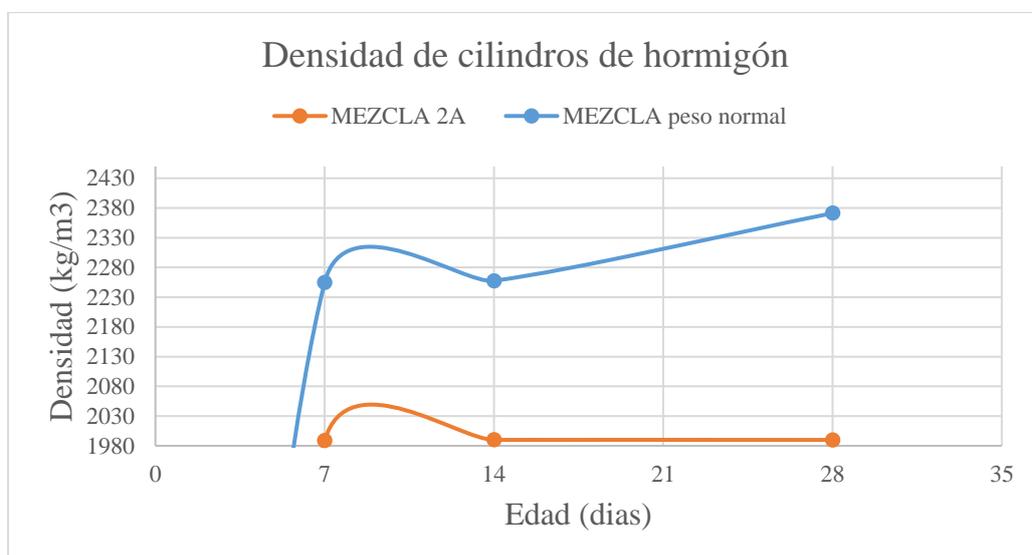


Figura 27

Densidad de cilindros de hormigón de peso normal y mezcla 2A.



Teniendo en cuenta los resultados obtenidos mediante el cálculo de las densidades de los especímenes podemos darnos cuenta que la mezcla 2A obtuvo una densidad mucho menor en comparación con las mezclas 2B Y 2C, y también estuvo por debajo de las densidades del hormigón de peso normal fabricado con piedra Guayco y el hormigón control, estos resultados son respondidos a la utilización del ladrillo refractario triturado como agregado grueso debido a que al ser un agregado de menor peso se obtienen valores de densidad muchos más bajos en comparación con un agregado de peso normal.

4.3.4. Determinación del factor λ (LAMBDA).

De acuerdo con el hormigón que se ha logrado obtener vamos a determinar el factor lambda λ el cual servirá para poder definir los requerimientos de diseño y durabilidad, como habíamos explicado en el capítulo 2 sección 3.6.2, este factor está relacionado a los componentes con los cuales fue diseñado el hormigón, en este caso el hormigón fabricado ha alcanzado una densidad de 1988,59 Kg/m³ por lo cual no se puede definir como un hormigón autocompactante liviano debido a que en el ACI 318S-2014 el rango máximo es de 1840 kg/m³, no obstante se pudo producir un hormigón autocompactante de muy baja densidad en comparación a un hormigón de peso normal de 2260 Kg/m³.

Debido a esto entonces con base en la composición de nuestros agregados dentro de la mezcla de concreto determinaremos un factor lambda de 0.9 entrando en el rango de 0.85 a 1.00 según la normativa del ACI 318S, la cual precisa su composición como agregado fino de norma ASTM C33M y un agregado grueso por Combinación de ASTM C330M Y ASTM C33M.

4.4. RESUMEN DE RESULTADOS.

Las características del ladrillo refractario triturado obtenido de la ladrillera “Jhonny Sánchez” ubicada en el barrio Lirios de los Valles, cumplió con las normas de ensayo granulométrico conociendo que el agregado grueso tiene un tamaño máximo de 1/2” y un tamaño máximo nominal de 3/8”, también en el ensayo de material más fino que pasa 75 μ m se obtuvo un porcentaje del 0% cumpliendo con el

parámetro INEN 699, de la misma forma se obtuvo un peso volumétrico varillado de 781,565 kg/m³ y un peso volumétrico suelto de 703,511 kg/m³, sin embargo la densidad saturada superficialmente seca obtenida fue de 1746,72 kg/m³.

En el ensayo de índice de alargamiento y aplanamiento se obtuvieron los valores de 12,86% y 5,99% respectivamente, siendo estos valores menores a 30% cumplen con los requerimientos de la norma ASTM 4791-99, en el ensayo de abrasión de los ángeles que está regulado por la norma INEN 860 se obtuvo un valor del 60% cumpliendo con sus requisitos y por último en el ensayo de reacción alcalina regido por la norma INEN 863 se obtuvo un porcentaje de 8,86% como desgaste total.

Al evaluar el desempeño del hormigón por medio de la normas ASTM 1610, 1611 y 1621, se obtuvo que las mezclas 2A presenta una buena distribución de los materiales que las componen, además de buena trabajabilidad obteniendo buenos resultados en el desarrollo de los 3 test, la mezcla 2B cumple de igual forma con los ensayos normados pero en la norma 1611 el flujo de asentamiento está en el borde del rango máximo, mientras que la mezcla 2C obtuvo resultados no favorables debido a que los porcentajes de aditivos utilizados para esta no se complementaron.

También de acuerdo con el vaciado del hormigón en las estructuras tipo U podemos definir que las mezclas 2A Y 2B tienen también una buena fluidez debido al tamaño del agregado grueso y una excelente adaptabilidad con estructuras no convencionales, siendo este un parámetro muy importante para la realización de un hormigón autocompactante, no obstante, el exceso de fluidez afecta directamente a las propiedades del hormigón como lo pudimos notar con la mezcla 2C.

Al momento de elaborar los cilindros de hormigón las mezclas 2A y 2B tuvieron una buena maniobrabilidad en estado fresco gracias al aditivo tipo D que retrasó su tiempo de fraguado y por lo cual se pudo trabajar fácilmente incluso sin tener problemas de segregación de los agregados, esto debido al uso de la microsílica. En cambio, con la mezcla 2C el fraguado de la mezcla se retrasó y la maniobrabilidad de la mezcla se vio afectada.

Las densidades obtenidas una vez que se realizó el ensayo de compresión simple a los especímenes de hormigón dieron como resultado una densidad muy baja de 1988,59 Kg/m³, un resultado muy por debajo de los 2260 Kg/m³ para un hormigón normal, por lo cual se estableció un factor lambda de 0,9 relacionando la densidad más baja obtenida con la densidad de un hormigón de peso normal.

4.5. DISCUSION DE RESULTADOS.

Durante la realización del presente trabajo de titulación se analizó las variables que se plantearon y principalmente se respondió al objetivo general que estaba definido al estudio el comportamiento del hormigón autocompactante fabricado con agregado grueso de tipo liviano y aditivo superplastificante basado en policarboxilato, como mezcla de hormigón ligero autocompactante, determinamos las propiedades y características mediante ensayos de la normativa ASTM (C-1610, C-1611, C-1621) a las diferentes mezclas de hormigón con sus respectivas dosificaciones de aditivos, de la misma forma a los especímenes cilíndricos se realizaron las respectivas pruebas de compresión simple y densidad según la normativa ASTM C39, además se determinó el factor lambda según lo establecido en el ACI 318-19 que servirá para poder definir los requerimientos de diseño y durabilidad.

Las actividades realizadas en el laboratorio son esenciales porque están relacionadas con la realización de las pruebas anteriormente descritas en conjunto con la elaboración de la mezcla que debe realizarse en un ambiente en el cual el cambio de la temperatura no vaya a afectar con los resultados y no se presenten variaciones en los mismos, debido a que el factor ambiental suele tener repercusiones no favorables en la elaboración del hormigón.

Para poder realizar un hormigón autocompactante de peso ligero se utilizó ladrillo refractario artesanal previamente triturado como agregado grueso liviano y así la densidad del hormigón fabricado sea mucho menor a la de un hormigón de peso normal, de acuerdo con esto se determinó su funcionalidad según la normativa NTE INEN 872/ASTM C33. El análisis de las características del ladrillo refractario como agregado grueso liviano obtuvo buenos resultados en cuanto a su análisis

granulométrico, material más fino que pasa 75 μm , determinación de la masa unitaria, elongación y lajosidad, abrasión de los ángulos y reactividad alcalina, sin embargo, la densidad saturada superficialmente seca obtuvo un valor de 1746,72 kg/m^3 , lo cual presenta inconsistencias con su densidad para calificar como agregado liviano.

El trabajo principal realizado a tres mezclas de porcentaje de aditivo policarboxilato fue conocer la fluidez, trabajabilidad y capacidad de paso del hormigón autocompactante de peso ligero, las actividades realizadas en el laboratorio junto al trabajo investigativo y análisis de datos se complementan para poder analizar y comparar las densidades del hormigón en estado endurecido y su resistencia a la compresión respecto a la mezcla de hormigón de peso normal.

Los resultados obtenidos durante la realización de las mezclas 2A Y 2B son óptimos y tuvieron una excelente trabajabilidad durante las fundiciones de cilindros en la cual no se presentó segregación ni tampoco se comprometió la capacidad de paso además que durante el vaciado en las estructuras no hubo complicaciones. La mezcla 2C no consiguió los mismos resultados que las otras dos mezclas. Estos resultados son de gran relevancia ya que nos proporcionan información referente a la proporción de aditivo que se ha utilizado y el tamaño del agregado grueso.

De acuerdo con lo antes explicado se encontró que las proporciones de 1% y 1,5% de aditivo policarboxilato tienen una excelente trabajabilidad junto al aditivo tipo D y la microsílica ya que estas proporciones presentaron una buena sinergia entre fluidez, segregación y capacidad de paso del hormigón. La utilización de una proporción de aditivo de policarboxilato más alta provoca que la mezcla presente inconvenientes como un fraguado rápido y una excesiva fluidez que ocasiona un mal fraguado inicial y por consecuencia no existe una buena interacción entre todos los agregados dentro de la mezcla ocasionando que la misma no tenga buenas características en su estado endurecido.

Se selecciona el factor de modificación lambda (λ) para el hormigón autocompactante escogiendo así un 0,85 a 1,00, esto debido a las composiciones de los agregados con la cual fue elaborada la mezcla con un agregado fino según

normativa ASTM C33M y un agregado grueso por combinación de normativas ASTM C330M y ASTM C33M, este factor determina los requisitos de diseño y durabilidad del hormigón realizado enfocados en este factor.

Los resultados de densidad más baja obtenida por los especímenes de hormigón fabricado fueron de 1989,87 Kg/m³ a los 28 días por cual sobrepasa los 1840 Kg/m³ que la normativa ACI 318S especifica como la densidad máxima que puede llegar a tener un hormigón autocompactante liviano, no obstante, es mucho menor que 2371,24 Kg/m³ que fue la densidad obtenida por un hormigón de peso normal con piedra Guayco.

De acuerdo con todo lo expuesto es importante considerar que los resultados obtenidos se basan en los parámetros establecidos en el alcance del presente estudio.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Una de las formas para poder realizar hormigón autocompactante ligero es cambiando el agregado grueso por uno más liviano. El ladrillo refractario triturado cumple con la normativa ASTM C330 habiendo inconsistencias en su densidad atribuidas por su fabricación de manera artesanal la cual no controla el porcentaje de vacíos en el producto final, es así como nos podemos dar cuenta que se necesita probar con otro agregado grueso un poco más liviano y de preferencia fabricado industrialmente.

Las características obtenidas de las mezclas en estado fresco por medio de las pruebas ASTM 1610, 1611 y 1621 nos reflejan que la combinación de aditivos para poder producir un hormigón autocompactante de baja densidad tienen una buena sinergia en porcentajes menores a 1% de aditivo de policarboxilato, además cuentan con una buena fluidez y adaptabilidad a estructuras no convencionales por lo cual la producción en porcentajes muchos más altos tendrían efectos negativos en las propiedades del hormigón fresco y endurecido.

La elaboración de los especímenes modificando el porcentaje de aditivo de policarboxilato evidencia que las mezclas 2A y 2B poseen resistencia a la compresión superior al f_c de 28 MPA; mientras que la mezcla 2C presentó una disminución en sus resultados, de acuerdo con esto se adjudica que los porcentajes de aditivos usados para su elaboración no tuvieron la relación que se esperaba disminuyendo notablemente sus propiedades mecánicas.

Las densidades obtenidas por los especímenes de hormigón utilizando ladrillo refractario triturados son menores en comparación a las densidades del hormigón

de peso normal fabricado con piedra Guayco. La baja densidad de 1989,87 Kg/m³ se atribuye a la utilización de los ladrillos refractarios como árido grueso que tiene un menor peso debido a que un hormigón de peso normal alcanza los 2260 Kg/m³, se establece entonces que el factor lambda para el hormigón fabricado es de 0,9 relacionando ambas densidades.

5.2. RECOMENDACIONES

Para mejorar las propiedades de la mezcla de hormigón se recomienda el uso del siguiente agregado grueso: arcilla expandida de 2 a 10 mm, esta arcilla posee la característica de ser ligera, resistencia al calor, densidad de 380 kg/cm³, absorción al agua menor al 34% de masa seca, capacidad de ser un aislante térmico y resistencia a la compresión.

Se recomienda realizar mezclas con dosificaciones de 0.5, 0.75 y 1% de aditivo de policarboxilato debido a que de acuerdo con los resultados se obtienen mejores cualidades en porcentajes menores al 1% que concuerda con el rango de dosificación entre 0,19% al 0,9% del peso del cemento establecido en la ficha técnica del aditivo de base química en policarboxilato Viscocret 4100 ASTM C-494 tipo A y F.

También se recomienda probar las características que un aditivo tipo B retardante pueda proporcionar a la mezcla y así poder verificar su comportamiento con los aditivos tipo F y microsíllica. El aditivo tipo B tiene la capacidad de controlar el tiempo de fraguado, no posee cloruros y no afecta las armaduras; debido a que es un aditivo retardante se usa cuando se presenta temperaturas elevadas, prevenir juntas frías, en la elaboración de hormigón en grandes cantidades.

Finalmente se recomienda realizar más pruebas del hormigón fabricado en estado fresco para saber su grado de trabajabilidad en encofrados más complejos en forma de arcos debido a que el hormigón autocompactante tiene como característica no utilizar vibrado para atravesar las diferentes estructuras.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI 213R-03. (2003). *ACI 213R-03 Guide for Structural Lightweight-Aggregate Concrete*.
- ACI 318. (2019). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318R-19)*.
- ACI 318S. (2014). *ACI 318S-14 Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*.
- Alvarado Boza, I. A., & Tivanta Jaramillo, K. J. (2020). *Análisis comparativo de sensibilidad de diferentes aditivos superplastificantes en el hormigón* [Universidad Estatal Península de Santa Elena]. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/5267>
- American Society for Testing and Materials (ASTM C494). (2005). *C 494/ C 494M Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete*. www.astm.org,
- ASTM C 33. (2008). *Standard Specification for Concrete Aggregates 1*. www.astm.org.
- ASTM C 143/C 143M. (2003). *Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete*. www.astm.org
- ASTM C 150. (2007). *Designation: C 150-07 Standard Specification for Portland Cement 1*. www.astm.org,
- ASTM C 1610. (2006). *Standard Test Method for Static Segregation of Self-Consolidating Concrete Using Column Technique 1*. www.astm.org,
- ASTM C 1611. (2005). *Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete 1*. www.astm.org,
- ASTM C 1621. (2008). *Standard Test Method for Passing Ability of Self-Consolidating Concrete by J-Ring 1*. www.astm.org,
- ASTM C330-05. (n.d.). *Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete 1*. www.astm.org,

- ASTM D 4791. (1999). *Standard Test Method for Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate*. <http://www.astm.org>
- ASTM International C1157. (2008). *C1157 Especificación de rendimiento estándar para cemento hidráulico*.
- Bermejo Núñez, E. B. (2009). *Dosificación, propiedades y durabilidad en hormigón autocompactante para edificación* [Universidad Politécnica de Madrid]. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.1733>
- Cañizares, I. (2012). *Diseño de mezclas de hormigón autocompactante utilizando materiales de la zona*. Universidad de Cuenca.
- Cárdenas Guilcapi, M., & Cárdenas Martínez, C. (2022). *Análisis comparativo de la resistencia a la compresión de hormigón, utilizando aditivos superplastificantes sobre la base de naftalenos y policarboxilatos aplicados en la empresa Concretos Chimborazo de Quito* [TESIS]. Universidad Politécnica Salesiana.
- Castro Maldonado, J. J., Gómez Macho, L. K., & Camargo Casallas, E. (2023). La investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI. *Tecnura*, 27(75), 140–174. <https://doi.org/10.14483/22487638.19171>
- Chanta Muñoz, D. F., & Zuta Quirohuayo, C. G. (2020). *Influencia de aditivos basados en policarboxilato en las propiedades del concreto autocompactante* [Universidad Ricardo Palma]. <https://hdl.handle.net/20.500.14138/3824>
- Chumán, A., & Rivas, Y. (2020). *Aditivos superplastificantes a base de policarboxilatos para mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto fluido* [TESIS]. Universidad Ricardo Palma.
- EFNARC. (2002). *Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete*. www.efnarc.org
- Evaristo, W. F. de O., Almeida, V. L. de, & Capuzzo, V. M. S. (2021). Evaluation of the influence of the viscosity modifying admixture on the properties of self-compacting concrete. *Revista Materia*, 26(3). <https://doi.org/10.1590/S1517-707620210003.13050>

- Feijoó, J., & Sanchez, L. (2020). *Características físico-mecánicas de los agregados con adición de policarboxilato para mejorar las propiedades del concreto* [TESIS]. Universidad Ricardo Palma.
- Flores Cornejo, B. A. (2015). *Hormigón Autocompactante* [TESIS, Universidad Central del Ecuador].
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/4482>
- Gavilanes Castillo, C. F., & Santellán Naulasaca, G. C. (2016). *Normalización y estandarización de la fabricación de ladrillos y tejas del cantón Chambo* [Universidad Nacional de Chimborazo].
<http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/1378>
- Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización NTE INEN 857. (2010). *NTE INEN 857:2010 Áridos. determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso*.
- León Brito, N. E. (2012). *Influencia de la adición de nano sílice en el hormigón autocompactante*. <https://oa.upm.es/13798/>
- León Parra, L. R. (2009). *Diseño de mezclas para Hormigón Autocompactante* [Escuela Superior Politécnica del Litoral].
<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/55033>
- Llamo Cubas, J. R. (2023). *Comportamiento de las propiedades físico - mecánicas de un concreto autocompactante con aditivo superplastificante y con fibra de caucho reciclado*.
<https://hdl.handle.net/20.500.12802/11850>
- Muñoz-Zapata, A., Colorado Lopera, H. A., & Cifuentes-Mosquera, S. (2022). Morteros de cemento Portland probados con dos superplastificantes: estudio de caso para la reducción de cemento y agua en concretos. *Tecnura*, 26(72), 114–146. <https://doi.org/10.14483/22487638.16824>
- Nepomuceno, M. C. S., Pereira De Oliveira, L. A., & Lopes, S. M. R. (2014). Methodology for the mix design of self-compacting concrete using different mineral additions in binary blends of powders. *Construction and*

Building Materials, 64, 82–94.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.021>

Nepomuceno, M. C. S., Pereira-de-Oliveira, L. A., & Pereira, S. F. (2018). Mix design of structural lightweight self-compacting concrete incorporating coarse lightweight expanded clay aggregates. *Construction and Building Materials*, 166, 373–385.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.161>

NTE INEN 1 573. (2010). *NTE INEN 1 573: Hormigón de cemento hidráulico. determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico.*

NTE INEN 860. (2011). *Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de los Ángeles.* www.inen.gob.ec

NTE INEN 863. (2011). *NTE INEN 863:2011 Áridos. Determinación de la solidez de los áridos mediante el uso de sulfato de sodio o de sulfato de magnesio.* www.inen.gob.ec

Palomino, J. (2017). *Estudio comparativo en la autoconstrucción de edificaciones utilizando concreto autocompactante con la incorporación de aditivo superplastificante frente al concreto convencional realizados en la ciudad de Abancay* [TESIS]. Universidad Tecnológica De Los Andes.

Peláez Carretero, A. (2014). *Hormigón autocompactante con nano-adiciones de sílice y alúmina.* <https://oa.upm.es/31173/>

Reyes Baquerizo, J., & Yagual González, R. (2023). *Diseño de mezclas de hormigón autocompactante con aditivo de base química en naftaleno y policarboxilato* [TESIS]. Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Ribeiro, G. O., Guetti, P. C., & Serna, P. (2017). Experimental study of the mechanical behavior of self-compacting concrete based on fracture mechanics. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 10(3), 744–759.
<https://doi.org/10.1590/s1983-41952017000300010>

Rubio Aranda, A. (2007). *Los aditivos del mundo del hormigón.* <http://hdl.handle.net/2099.1/4609>

- Ruiz Brito, J., & Suárez Ortuño, K. (2021). *Transformación del hormigón convencional a hormigón autocompactante, utilizando un superplastificante* [TESINA]. Universidad del Azuay.
- Santiago Patricio, E. (2011). *Diferentes tipos de aditivos para el concreto*.
- Segura Molina, C. J., & Saldaña Pacheco, S. O. (2014). *Influencia Del Aditivo Hiperplastificante Plastol 200 Ext en las propiedades del concreto Autocompactante en esta fresco y endurecido*. <https://hdl.handle.net/20.500.12759/633>
- Soto Cahuana, A. A. (2019). *Ladrillos refractarios de alúmina a partir de lodos residuales minerales en la región Junín* [Universidad Peruana Los Andes]. <https://hdl.handle.net/20.500.12848/1353>
- Tomalá Pozo, J. M., & Cucalón Rosales, R. F. (2020). *Optimización de hormigón $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ aplicando diferentes aditivos superplastificantes* [Universidad Estatal Península de Santa Elena]. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/5367>
- Vilanova Fernández, A. (2009). *Influencia de la dosificación y empleo de diferentes tipos de cemento y adiciones en las propiedades mecánicas del hormigón autocompactante*. [Universidad Politécnica de Madrid]. <https://oa.upm.es/1813/>
- Villatoro Villatoro, L. A. (2018). *Análisis del rendimiento del ladrillo refractario en horno cuchara utilizando Kalister P, en planta de acería, Corporación Aceros de Guatemala S.A.* [Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/8623>
- Yagual Vera, D. G., & Villacís Apolinario, D. W. (2015). *Hormigón liviano de alto desempeño con arcilla expandida* [Universidad Estatal Península de Santa Elena]. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/2294>
- Yapo Delgado, J. A., & Puma Polanco, Z. R. (2019). *Historia y crítica de la arquitectura I*.
- Zhang, J., Deng, H., Taheri, A., Deng, J., & Ke, B. (2018). Effects of superplasticizer on the hydration, consistency, and strength development of cemented paste backfill. *Minerals*, 8(9). <https://doi.org/10.3390/min8090381>

7. ANEXOS

Anexo 1

Ensayo de granulometría agregado grueso.

	UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA					
	FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA					
	CARRERA DE INGENIERIA CIVIL					
TEMA DE TESIS	ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE CON AGREGADO GRUESO LIVIANO					
TESISTAS	Villón Panchana Caleb Josue Tigrero Chalén Bianca Nicole					
TUTOR	Ing. Jaime Argudo Rodríguez PhD.					
TITULO DEL ENSAYO	ENSAYO DE GRANULOMETRIA					
FECHA DE ENSAYO	12 DE JULIO DEL 2023					
FUENTE DE AGREGADO FINO	LADRILLO REFRACTARIO TRITURADO MANUALMENTE					
ENSAYO GRANULOMETRICO - AGREGADO GRUESO						
TAMIZ	W PARCIAL (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACION A.S.T.M	
3/4"	0	0	0	100	100	100
1/2"	0	0	0	100	90	100
3/8"	2590	37	37	63	40	70
No 4	4200	60	97	3	0	15
No 8	140	2	99	1	0	5
FONDO	70	1	100	0	0	0
TOTAL	7000	100				

GRANULOMETRIA AGREGADO GRUESO

FIRMA DE RESPONSABLES DEL ENSAYO	 Villón Panchana Caleb	 Tigrero Chalén Bianca
---	--	--

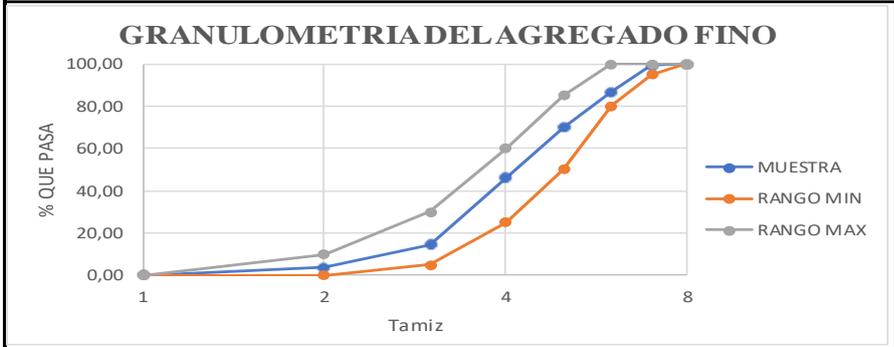
Fuente: Alvarado Boza y Tivanta Jaramillo (2020)

Anexo 2

Ensayo de granulometría del agregado fino.

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA					
	FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA					
	CARRERA DE INGENIERIA CIVIL					
TEMA DE TESIS	ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE CON AGREGADO GRUESO LIVIANO					
TESISTAS	Villón Panchana Caleb Josue Tigrero Chalén Bianca Nicole					
TUTOR	Ing. Jaime Argudo Rodríguez PhD.					
TITULO DEL ENSAYO	ENSAYO DE GRANULOMETRIA					
FECHA DE ENSAYO	12 DE JULIO DEL 2023					
FUENTE DE AGREGADO FINO	CANTERA "EL TRIUNFO"					
ENSAYO GRANULOMETRICO - AGREGADO FINO						
TAMIZ	W PARCIAL (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACION A.S.T.M	
3/8"	0	0,00	0,00	100,00	100	100
No 4	120	0,80	0,80	99,20	95	100
No 8	1880	12,53	13,33	86,67	80	100
No 16	2520	16,80	30,13	69,87	50	85
No 30	3540	23,60	53,73	46,27	25	60
No 50	4740	31,60	85,33	14,67	10	30
No 100	1660	11,07	96,40	3,60	2	10
FONDO	540	3,60	100	0	0	0
TOTAL	15000	Modulo de Finura	2,80			

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO



FIRMA DE RESPONSABLES DEL ENSAYO	 Villón Panchana Caleb	 Tigrero Chalén Bianca
---	--	--

Fuente: Alvarado Boza y Tivanta Jaramillo (2020)

Anexo 3

Determinación del Material más fino que pasa 75 µm.

	UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA		
	FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA		
	CARRERA DE INGENIERIA CIVIL		
TEMA DE TESIS	ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE CON AGREGADO GRUESO LIVIANO		
TESISTAS	Villón Panchana Caleb Josue Tigrero Chalén Bianca Nicole		
TUTOR	Ing. Jaime Argudo Rodríguez Ph.D.		
TITULO DEL ENSAYO	DETERMINACION DE PARTICULAS MAS FINAS DE 75 µm		
FECHA DE ENSAYO	20 DE MAYO DEL 2024		
FUENTE DE AGREGADO	LADRILLO REFRACTARIO TRITURADO MANUALMENTE		
CARACTERISTICAS DEL AGREGADO GRUESO			
LADRILLO REFRACTARIO TRITURADO			
AGREGADO GRUESO	Descripcion	Lectura	Observaciones La muestra cumple con lo establecido en la norma ASTM C117-95
	Masa Inicial	1000	
	Masa luego del secado	1000	
	Masa luego del lavado y secado	1000	
	% mas fino de 75 µm	0,00	
PARAMETRO INEN 699: <1%			
FIRMA DE RESPONSABLES DEL ENSAYO	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  Villón Panchana Caleb </div> <div style="text-align: center;">  Tigrero Chalén Bianca </div> </div>		

Anexo 4

Determinación de masa unitaria.

	UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA				
	FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA				
	CARRERA DE INGENIERIA CIVIL				
TEMA DE TESIS	ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE CON AGREGADO GRUESO LIVIANO				
TESISTAS	Villón Panchana Caleb Josue Tigrero Chalén Bianca Nicole				
TUTOR	Ing. Jaime Argudo Rodríguez PhD.				
TITULO DEL ENSAYO	DETERMINACION DE MASA UNITARIA				
FECHA DE ENSAYO	14 DE JULIO DEL 2023				

CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS					
PESO VOLUMETRICO VARILLADO - AGREGADO GRUESO					
ELEMENTO	M1	M2	M3	M4	UND
VOLUMEN	0,009737	0,009737	0,009737	0,009737	m ³
MOLDE	10,99	10,99	10,99	10,99	Kg
P.V.V. + MOLDE	18,62	18,56	18,64	18,58	Kg
PESO	7,6304	7,57	7,65	7,59	Kg
P.V.V.	783,650	777,447	785,663	779,501	Kg/m ³
P.V.V PROMEDIO	781,565				Kg/m ³

PESO VOLUMETRICO SUELTO - AGREGADO GRUESO					
ELEMENTO	M1	M2	M3	M4	UND
VOLUMEN	0,009737	0,009737	0,009737	0,009737	m ³
MOLDE	10,99	10,99	10,99	10,99	Kg
P.V.V. + MOLDE	17,82	17,84	17,87	17,83	Kg
PESO	6,8311	6,8511	6,8812	6,837	Kg
P.V.V.	701,561	703,611	706,706	702,167	Kg/m ³
P.V.V PROMEDIO	703,511				Kg/m ³

PESO VOLUMETRICO SUELTO - AGREGADO FINO					
ELEMENTO	M1	M2	M3	M4	UND
VOLUMEN	0,00281	0,00281	0,00281	0,00281	m ³
MOLDE	4,42	4,42	4,42	4,42	Kg
P.V.V. + MOLDE	8,59	8,55	8,58	8,6	Kg
PESO	4,17	4,13	4,16	4,18	Kg
P.V.V.	1483,986	1469,751	1480,427	1487,544	Kg/m ³
P.V.V PROMEDIO	1480,427				Kg/m ³

FIRMA DE RESPONSABLES DEL ENSAYO	 Villón Panchana Caleb	 Tigrero Chalén Bianca
---	--	--

Anexo 5

Determinación de densidad saturada superficialmente seca.

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA				
	FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA				
	CARRERA DE INGENIERIA CIVIL				
TEMA DE TESIS	ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE CON AGREGADO GRUESO LIVIANO				
TESISTAS	Villón Panchana Caleb Josue Tigrero Chalén Bianca Nicole				
TUTOR	Ing. Jaime Argudo Rodríguez PhD.				
TITULO DEL ENSAYO	DETERMINACION DE MASA UNITARIA				
FECHA DE ENSAYO	14 DE JULIO DEL 2023				
CARACTERISTICAS DEL AGREGADO FINO					
DENSIDAD SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA					
AGREGADO GRUESO					
Volumen desalojado	1145	cm ³			
D.S.S.S (gr/cm ³)	2000	g/cm ³			
Peso de canastilla sumergida+ material	1900	g			
Peso de canastilla sumergida	1045	g			
W(canast+mat)-W(canast.Mat.sumergido)	855	g			
D.S.S.S.	1,75	g/cm ³			
D.S.S.S.	1746,72	Kg/m ³			
AGREGADO FINO					
ELEMENTO	M1	M2	M3	M4	UND
P.S.S.S.	500	500	500	500	g
Lectura Inicial	200	200	200	200	cm ³
Lectura Final	394	395	397	398	cm ³
D.S.S.S.	2,57	2,56	2,54	2,53	g/cm ³
D.S.S.S.	2574,268	2562,788	2537,942	2529,084	Kg/m ³
D.S.S.S. PROMEDIO	2551,021				Kg/m³
ABSORCION DEL AGREGADO FINO					
ELEMENTO	M1	M2	M3	M4	UND
W recipiente + Mat. Humedo	300,07	300,08	300,06	300,05	g
W recipiente + Mat. Seco	298,04	297,9	298,04	298,04	g
W recipiente	45,97	45,95	45,96	45,93	g
Absorcion	0,81	0,87	0,80	0,80	%
PROMEDIO	0,82				%
FIRMA DE RESPONSABLES DEL ENSAYO	 Villón Panchana Caleb		 Tigrero Chalén Bianca		

Anexo 6

Determinación de Partículas planas, partículas alargadas o planas en Agregado Grueso.

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL 						
TEMA DE TESIS		ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE CON AGREGADO GRUESO LIVIANO				
TESISTAS		Villón Panchana Caleb Josue Tigrero Chalén Bianca Nicole				
TUTOR		Ing. Jaime Argudo Rodríguez PhD.				
TITULO DEL ENSAYO		ASTM D4791-99 Método de prueba estándar para Partículas planas, partículas alargadas o planas en Agregado Grueso				
PASANTE	RETENIDO	% RETENIDO EN LA GRANULOMETRIA	N° DE PIEDRAS	MASA INICIAL (g)	MASA RETENIDA ALARGAMIENTO	MASA RETENIDA APLANAMIENTO
1/2"	3/8"	37,00	200	229	26,53	9,40
3/8"	No 4	60,00	200	103	13,96	5,36
No 4	No 8	2,00	100	5,74	1,51	0,84
No 8	FONDO	1,00	0	0	0	0
SUMATORIA		100,00	500	337,74	42,00	15,60
INDICE DE ALARGAMIENTO			INDICE DE APLANAMIENTO			
$I_{Alarg.} = \frac{Masa\ ret.\ Alargamiento}{Masa\ inicial} * 100$			$I_{Aplan.} = \frac{Masa\ ret.\ Aplanamiento}{Masa\ inicial} * 100$			
1/2 - 3/8		11,59%	1/2 - 3/8		4,10%	
3/8 - N°4		13,55%	3/8 - N°4		5,20%	
N°4 - N° 8		26,31%	N°4 - N° 8		14,63%	
N°8 - FONDO		0,00%	N°8 - FONDO		0,00%	
I_{Alargamiento} =		12,86%	I_{Aplanamiento} =		5,99%	
FIRMA DE RESPONSABLES DEL ENSAYO		 Villón Panchana Caleb		 Tigrero Chalén Bianca		

Anexo 7

Ensayo Abrasión de los Ángeles.

	UNIVERSIDAD ES TATAL PENINSULA DE SANTA ELENA	
	FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA	
	CARRERA DE INGENIERIA CIVL	
TEMA DE TESIS	ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE CON AGREGADO GRUESO LIVIANO	
TESISTAS	Villón Panchana Caleb Josue Tigrero Chalén Bianca Nicole	
TUTOR	Ing. Jaime Argudo Rodríguez PhD.	
TITULO DEL ENSAYO	ABRASION DE LOS ANGELES	
FECHA DE ENSAYO	21 DE MAYO DEL 2024	
FUENTE DE AGREGADO	LADRILLO REFRACTARIO TRITURADO MANUALMENTE	
CARACTERISTICAS DEL AGREGADO GRUESO		

LADRILLO REFRACTARIO TRITURADO	
METODO	C
# DE ESFERAS	8
MASA INICIAL (gr)	5000
MASA RETENIDA (gr)	2000
% DESGASTE	60
PARAMETRO ASTM C131	>50%

FIRMA DE RESPONSABLES DEL ENSAYO	 Villón Panchana Caleb	 Tigrero Chalén Bianca

Anexo 8

Reactividad Alcalina.

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL 					
TEMA DE TESIS		ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE CON AGREGADO GRUESO LIVIANO			
TESISTAS		Villón Panchana Caleb Josue Tigrero Chalén Bianca Nicole			
TUTOR		Ing. Jaime Argudo Rodríguez PhD.			
TITULO DEL ENSAYO		NTE INEN 863:2011 Determinación de la solidez de los áridos mediante el uso de sulfato de sodio o de sulfato de magnesio			
DETERMINACION DE SULFATO DE MAGNESIO					
$\%perdida = \frac{(\text{Peso antes del ensayo} - \text{Peso despues del ensayo})}{\text{Peso antes del ensayo}} * 100$					
AGREGADO	TAMIZ		PESO ANTES DEL ENSAYO (g)	PESO DESPUES DEL ENSAYO (g)	% DE PERDIDA
	W PARCIAL (g)	RETIENE			
1/2" -3/8"	740	37,00	335	323	3,58%
3/8"-N°4	1200	60,00	303	287	5,28%
% DE PERDIDA DEL AGREGADO GRUESO				8,86%	
FIRMA DE RESPONSABLES DEL ENSAYO		 Villón Panchana Caleb		 Tigrero Chalén Bianca	

Anexo 9

Pruebas con Aditivo tipo D.

		UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL												
		ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN HORMIGÓN AUTO COMPACTANTE CON AGREGADO GRUESO LIVIANO Villón Panchana Caleb Josue - Tigrero Chalen Bianca Nicole Ing. Jaime Argudo Rodríguez Ph.D. RESISTENCIA A LA COMPRESION ASTM C39/ INEN 1573												
TEMA DE TESIS													Agua/Cemento	
TESISTAS													METODO DE DISEÑO:	
TUTOR													METODO DE CURADO:	
TITULO DEL ENSAYO													Inmersión en Agua	
Resistencia de diseño 280 Kg/cm²														
Fecha de vaciado	Diámetro cilindro (cm)		Altura (cm)	Área (cm ²)	Peso (kg)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Fecha	Edad (días)	Rotura			Eficiencia (%)	
	D1	D2								Carga (Kn)	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia (mpa)	%	promedio
MEZCLA DE HORMIGON CON 0,25% DE ADITIVO TIPO D														
25/10/2023	10,21	10,32	20,34	82,76	3,464	1,683,29	2057,88		7	193,7	251,56	24,67	89,845	
25/10/2023	10,27	10,19	20,47	82,19	3,495	1,682,52	2077,25	1/11/2023	7	213,5	277,26	27,19	99,022	93,486
25/10/2023	10,25	10,18	20,31	81,95	3,482	1,664,47	2091,95		7	189,6	246,26	24,15	87,951	
25/10/2023	10,19	10,24	20,42	81,95	3,465	1,673,49	2070,53		14	211,8	274,92	26,96	98,184	
25/10/2023	10,31	10,30	20,41	83,40	3,500	1,702,27	2056,08	8/11/2023	14	233,0	289,50	28,39	103,392	97,802
25/10/2023	10,27	10,24	20,33	82,60	3,489	1,679,19	2077,79		14	207,8	258,19	25,32	92,212	
25/10/2023	10,26	10,27	20,36	82,76	3,461	1,684,94	2054,07		28	258,9	321,72	31,55	114,901	
25/10/2023	10,22	10,24	20,35	82,19	3,466	1,672,65	2072,16	22/11/2023	28	244,0	316,73	31,06	113,116	114,008
25/10/2023	10,29	10,15	20,42	82,03	3,453	1,675,13	2061,34		28	242,2	314,38	30,83	112,278	
MEZCLA DE HORMIGON CON 0,5% DE ADITIVO TIPO D														
30/10/2023	10,24	10,19	20,34	81,95	3,462	1,666,93	2076,87		7	188,2	244,32	23,96	87,259	
30/10/2023	10,27	10,23	20,32	82,52	3,476	1,676,72	2073,09	8/11/2023	7	190,6	234,43	22,99	83,726	85,493
30/10/2023	10,25	10,23	20,21	82,35	3,461	1,664,39	2079,44		7	183,5	225,66	22,13	80,594	
30/10/2023	10,26	10,33	20,36	83,24	3,524	1,694,81	2079,29		14	213,4	277,06	27,17	98,949	
30/10/2023	10,21	10,18	20,47	81,63	3,458	1,671,02	2069,39	14/11/2023	14	207,6	269,51	26,43	96,254	98,391
30/10/2023	10,19	10,15	20,35	81,23	3,352	1,653,09	2027,72		14	215,6	279,91	27,45	99,969	
30/10/2023	10,27	10,23	20,28	82,52	3,470	1,673,42	2073,59		28	245,0	318,05	31,19	113,590	
30/10/2023	10,3	10,30	20,31	83,32	3,543	1,692,29	2093,62	28/11/2023	28	244,8	317,85	31,17	113,517	115,228
30/10/2023	10,25	10,22	20,21	82,27	3,456	1,662,77	2078,46		28	255,7	332,02	32,56	118,579	
MEZCLA DE HORMIGON CON 0,75% DE ADITIVO TIPO D														
31/10/2023	10,15	10,19	20,39	81,23	3,421	1,656,34	2065,40		7	191,8	249,02	24,42	88,934	
31/10/2023	10,32	10,23	20,25	82,92	3,475	1,679,11	2069,55	9/11/2023	7	190,3	247,08	24,23	88,242	88,588
31/10/2023	10,18	10,13	20,16	80,99	3,302	1,641,74	2011,28		7	189,4	245,96	24,12	87,842	
31/10/2023	10,37	10,32	20,26	84,05	3,508	1,702,90	2060,01		14	223,2	285,83	28,03	102,081	
31/10/2023	10,23	10,15	20,37	81,55	3,461	1,661,23	2083,40	15/11/2023	14	199,0	261,55	25,63	93,541	97,711
31/10/2023	10,25	10,21	20,21	82,19	3,482	1,661,14	2096,14		14	205,1	269,41	26,42	96,218	
31/10/2023	10,27	10,21	20,31	82,35	3,471	1,672,63	2075,18		28	521,8	326,92	32,06	116,758	
31/10/2023	10,25	10,27	20,32	82,68	3,492	1,680,00	2078,58	29/11/2023	28	228,2	296,33	29,06	105,832	111,295
31/10/2023	10,23	10,21	20,23	82,03	3,453	1,659,54	2080,70		28	231,3	300,31	29,45	107,253	

Anexo 10

Ensayo ASTM 1610, Mezcla 2A.

 UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL 			
TEMA DE TESIS	ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE CON AGREGADO GRUESO LIVIANO		
TESISTAS	Villón Panchana Caleb Josue Tigrero Chalén Bianca Nicole		
TUTOR	Ing. Jaime Argudo Rodríguez PhD.		
TITULO DEL ENSAYO	ASTM C1610 Método de ensayo. Segregación estática del concreto autocompactable utilizando la técnica de la columna.		
% ADITIVO	1% DE POLICARBOXILATO		
OBJETIVO	Determinar la segregación por medio del método de prueba estándar para la segregación estática del HAC mediante columna conforme a la norma ASTM C 1610		
RESULTADOS	M. PART SUP	M. PART INF	% SEGREGACION
	1,91	1,84	0,00
OBSERVACIONES	De acuerdo a los datos obtenidos la masa de agregado de la parte inferior es menor al de la parte superior por lo cual la segregacion es igual a 0%		
FIRMA DE RESPONSABLES DEL ENSAYO			
	Villón Panchana Caleb		Tigrero Chalén Bianca

Anexo 11

Ensayo ASTM 1610, Mezcla 2B.

 UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA 			
FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA			
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL			
TEMA DE TESIS	ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE CON AGREGADO GRUESO LIVIANO		
TESISTAS	Villón Panchana Caleb Josue Tigrero Chalén Bianca Nicole		
TUTOR	Ing. Jaime Argudo Rodríguez PhD.		
TITULO DEL ENSAYO	ASTM C1610 Método de ensayo. Segregación estática del concreto autocompactable utilizando la técnica de la columna.		
% ADITIVO	1,5% DE POLICARBOXILATO		
OBJETIVO	Determinar la segregación por medio del método de prueba estándar para la segregación estática del HAC mediante columna conforme a la norma ASTM C 1610		
RESULTADOS	M. PART SUP	M. PART INF	% SEGREGACION
	2,04	1,88	0,00
OBSERVACIONES	De acuerdo a los datos obtenidos la masa de agregado de la parte inferior es menor al de la parte superior por lo cual la segregacion es igual a 0%		
FIRMA DE RESPONSABLES DEL ENSAYO			
	Villón Panchana Caleb		Tigrero Chalén Bianca

Anexo 12

Ensayo ASTM 1610, Mezcla 2C.

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL 			
TEMA DE TESIS	ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE CON AGREGADO GRUESO LIVIANO		
TESISTAS	Villón Panchana Caleb Josue Tigrero Chalén Bianca Nicole		
TUTOR	Ing. Jaime Argudo Rodríguez PhD.		
TITULO DEL ENSAYO	ASTM C1610 Método de ensayo. Segregación estática del concreto autocompactable utilizando la técnica de la columna.		
% ADITIVO	2% DE POLICARBOXILATO		
OBJETIVO	Determinar la segregación por medio del método de prueba estándar para la segregación estática del HAC mediante columna conforme a la norma ASTM C 1610		
RESULTADOS	M. PART SUP	M. PART INF	% SEGREGACION
	2,67	1,36	0,00
OBSERVACIONES	De acuerdo a los datos obtenidos la masa de agregado de la parte inferior es menor al de la parte superior por lo cual la segregacion es igual a 0%		
FIRMA DE RESPONSABLES DEL ENSAYO	 Villón Panchana Caleb		 Tigrero Chalén Bianca

Anexo 13

Ensayo ASTM 1611, Mezcla 2A.

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL 			
TEMA DE TESIS	ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE CON AGREGADO GRUESO LIVIANO		
TESISTAS	Villón Panchana Caleb Josue Tigrero Chalén Bianca Nicole		
TUTOR	Ing. Jaime Argudo Rodríguez PhD.		
TITULO DEL ENSAYO	ASTM C1611 Método de prueba estándar para flujo de asentamiento de hormigón autocompactante.		
% ADITIVO	1% DE POLICARBOXILATO		
OBJETIVO	Evaluar el flujo de asentamiento del hormigón autocompactante por medio de la norma ASTM C 1611		
RESULTADOS			
		1	Unidad
DIAMETRO MAS LARGO DEL CIRCULO EXTENDIDO DE LA MEZCLA DE HORMIGÓN FRESCO	D1	74	cm
DIAMETRO PERPENDICULAR A (D1) DEL CIRCULO EXTENDIDO DE LA MEZCLA DE HORMIGÓN FRESCO	D2	68	cm
FLUJO DE ASENTAMIENTO	(D1+D2)/2	71	cm
	T50	6	seg
OBSERVACIONES	De acuerdo a los datos obtenidos se concluye que la mezcla 2A con un flujo de asentamiento de 71 cm se encuentra dentro del rango maximo de 80 cm		
FIRMA DE RESPONSABLES DEL ENSAYO	 Villón Panchana Caleb  Tigrero Chalén Bianca		

Anexo 14

Ensayo ASTM 1611, Mezcla 2B.

 UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL 			
TEMA DE TESIS	ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE CON AGREGADO GRUESO LIVIANO		
TESISTAS	Villón Panchana Caleb Josue Tigrero Chalén Bianca Nicole		
TUTOR	Ing. Jaime Argudo Rodríguez PhD.		
TITULO DEL ENSAYO	ASTM C1611 Método de prueba estándar para flujo de asentamiento de hormigón autocompactante.		
% ADITIVO	1,5% DE POLICARBOXILATO		
OBJETIVO	Evaluar el flujo de asentamiento del hormigón autocompactante por medio de la norma ASTM C 1611		
RESULTADOS			
		1	Unidad
DIAMETRO MAS LARGO DEL CIRCULO EXTENDIDO DE LA MEZCLA DE HORMIGÓN FRESCO	D1	86	cm
DIAMETRO PERPENDICULAR A (D1) DEL CIRCULO EXTENDIDO DE LA MEZCLA DE HORMIGÓN FRESCO	D2	74	cm
FLUJO DE ASENTAMIENTO	(D1+D2)/2	80	cm
	T50	8	seg
OBSERVACIONES	De acuerdo a los datos obtenidos se concluye que la mezcla 2B con un flujo de asentamiento de 80 cm se encuentra en el limite del rango maximo de 80 cm		
FIRMA DE RESPONSABLES DEL ENSAYO	  Villón Panchana Caleb Tigrero Chalén Bianca		

Anexo 15

Ensayo ASTM 1611, Mezcla 2C.

 UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL 			
TEMA DE TESIS	ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE CON AGREGADO GRUESO LIVIANO		
TESISTAS	Villón Panchana Caleb Josue Tigrero Chalén Bianca Nicole		
TUTOR	Ing. Jaime Argudo Rodríguez PhD.		
TITULO DEL ENSAYO	ASTM C1611 Método de prueba estándar para flujo de asentamiento de hormigón autocompactante.		
% ADITIVO	2% DE POLICARBOXILATO		
OBJETIVO	Evaluar el flujo de asentamiento del hormigón autocompactante por medio de la norma ASTM C 1611		
RESULTADOS			
		1	Unidad
DIAMETRO MAS LARGO DEL CIRCULO EXTENDIDO DE LA MEZCLA DE HORMIGÓN FRESCO	D1	120	cm
DIAMETRO PERPENDICULAR A (D1) DEL CIRCULO EXTENDIDO DE LA MEZCLA DE HORMIGÓN FRESCO	D2	100	cm
FLUJO DE ASENTAMIENTO	(D1+D2)/2	110	cm
	T50	5	seg
OBSERVACIONES	De acuerdo a los datos obtenidos se concluye que la mezcla 2C con un flujo de asentamiento de 110 cm sobrepasa el rango maximo de 80 cm		
FIRMA DE RESPONSABLES DEL ENSAYO	  Villón Panchana Caleb Tigrero Chalén Bianca		

Anexo 16

Ensayo ASTM 1621, Mezcla 2A.

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA 			
FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA			
CARRERA DE INGENIERIA CIVL			
TEMA DE TESIS	ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE CON AGREGADO GRUESO LIVIANO		
TESISTAS	Villón Panchana Caleb Josue Tigrero Chalén Bianca Nicole		
TUTOR	Ing. Jaime Argudo Rodríguez PhD.		
TITULO DEL ENSAYO	ASTM C1621 Método de prueba estándar para la capacidad de paso del hormigón autocompactante por el anillo en J		
% ADITIVO	1% DE POLICARBOXILATO		
OBJETIVO	Determinar la capacidad de paso del hormigón autocompactante usando el J-Ring mediante la norma ASTM C 1621		
RESULTADOS	d1 (cm)	d2 (cm)	FLUJO DE J-RING
	74	68	71
	71	65	68
	CAPACIDAD DE PASO DEL HORMIGON		1,18 in
OBSERVACIONES	De acuerdo a los datos obtenidos se concluye que el resultado de 1,18 in se encuentra entre los rangos de bloqueo minimo a notable con el uso de 1% de policarboxilato		
FIRMA DE RESPONSABLES DEL ENSAYO	 Villón Panchana Caleb		 Tigrero Chalén Bianca

Anexo 17

Ensayo ASTM 1621, Mezcla 2B.

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL 			
TEMA DE TESIS	ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE CON AGREGADO GRUESO LIVIANO		
TESISTAS	Villón Panchana Caleb Josue Tigrero Chalén Bianca Nicole		
TUTOR	Ing. Jaime Argudo Rodríguez PhD.		
TITULO DEL ENSAYO	ASTM C1621 Método de prueba estándar para la capacidad de paso del hormigón autocompactante por el anillo en J		
% ADITIVO	1,5% DE POLICARBOXILATO		
OBJETIVO	Determinar la capacidad de paso del hormigón autocompactante usando el J-Ring mediante la norma ASTM C 1621		
RESULTADOS	d1 (cm)	d2 (cm)	FLUJO DE J-RING
	91	87	89
	89	81	85
	CAPACIDAD DE PASO DEL HORMIGON		1,57 in
OBSERVACIONES	De acuerdo a los datos obtenidos se concluye que el resultado de 1,77 in se encuentra entre los rangos de bloqueo minimo a notable con el uso de 1,5% de policarboxilato		
FIRMA DE RESPONSABLES DEL ENSAYO	 Villón Panchana Caleb		 Tigrero Chalén Bianca

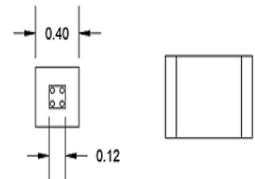
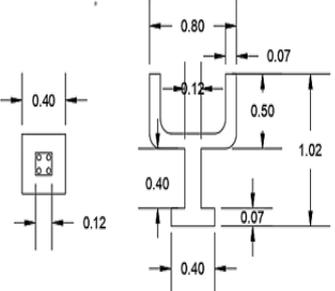
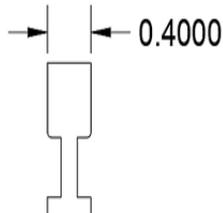
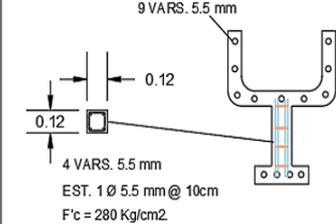
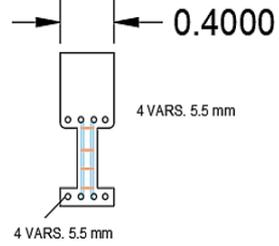
Anexo 18

Ensayo ASTM 1621, Mezcla 2C.

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL 			
TEMA DE TESIS	ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE CON AGREGADO GRUESO LIVIANO		
TESISTAS	Villón Panchana Caleb Josue Tigrero Chalén Bianca Nicole		
TUTOR	Ing. Jaime Argudo Rodríguez PhD.		
TITULO DEL ENSAYO	ASTM C1621 Método de prueba estándar para la capacidad de paso del hormigón autocompactante por el anillo en J		
% ADITIVO	2% DE POLICARBOXILATO		
OBJETIVO	Determinar la capacidad de paso del hormigón autocompactante usando el J-Ring mediante la norma ASTM C 1621		
RESULTADOS	d1 (cm)	d2 (cm)	FLUJO DE J-RING
	120	100	110
	114	96	105
	CAPACIDAD DE PASO DEL HORMIGON		1,97 in
OBSERVACIONES	De acuerdo a los datos obtenidos se concluye que el resultado de 1,97 in se encuentra entre los rangos de bloqueo mínimo a notable con el uso de 2% de polycarboxilato		
FIRMA DE RESPONSABLES DEL ENSAYO	 Villón Panchana Caleb		 Tigrero Chalén Bianca

Anexo 19

Especificaciones de estructura tipo U.

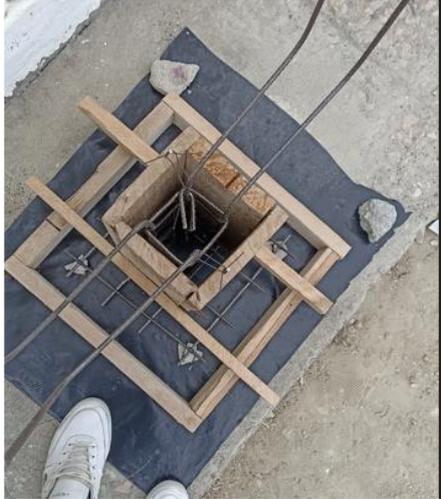
 UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL 		
TEMA DE TESIS	ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN HORMIGON AUTOCOMPACTANTE CON AGREGADO GRUESO LIVIANO	
TESISTAS	Villón Panchana Caleb Josue Tigrero Chalén Bianca Nicole	
TUTOR	Ing. Jaime Argudo Rodríguez Ph.D.	
DESCRIPCION	DISEÑO ARQUITECTONICO	
Vista Superior	Vista Frontal	Vista Lateral
		
DESCRIPCION	DISEÑO ESTRUCTURAL	
Vista Frontal	Vista Lateral	
 <p>9 VARS. 5.5 mm 0.12 4 VARS. 5.5 mm EST. 1 Ø 5.5 mm @ 10cm F'c = 280 Kg/cm².</p>	 <p>0.4000 4 VARS. 5.5 mm 4 VARS. 5.5 mm</p>	

Fuente: Reyes y Yagual (2023)

Anexo 20

Armado de Estructura tipo U.

 UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL 	
TEMA DE TESIS	ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN HORMIGON AUTOCOMPACTANTE CON AGREGADO GRUESO LIVIANO
TESISTAS	Villón Panchana Caleb Josue Tigero Chalén Bianca Nicole
TUTOR	Ing. Jaime Argudo Rodríguez PhD.

Anexo 21

Especímenes tipo U.

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL 	
TEMA DE TESIS	ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN HORMIGON AUTOCOMPACTANTE CON AGREGADO GRUESO LIVIANO
TESISTAS	Villón Panchana Caleb Josue Tigero Chalén Bianca Nicole
TUTOR	Ing. Jaime Argudo Rodríguez Ph.D.
	

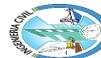
Anexo 22

Cilindros de hormigón

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVL 	
TEMA DE TESIS	ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE CON AGREGADO GRUESO LIVIANO
TESISTAS	Villón Panchana Caleb Josue Tigero Chalén Bianca Nicole
TUTOR	Ing. Jaime Argudo Rodríguez PhD.
	
	
	

Anexo 23

Comprensión simple de mezcla control.

		UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL												
TEMA DE TESIS		ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE CON AGREGADO GRUESO LIVIANO		METODO DE DISEÑO:										
TESTISTAS		Villón Panchana Caleb Josue - Tigreiro Chalén Bianca Nicole		METODO DE CURADO:										
TUTOR		Ing. Jaime Argudo Rodríguez Ph.D.		Inmersión en Agua										
TITULO DEL ENSAYO		RESISTENCIA A LA COMPRESION ASTM C39/INEN 1573												
Resistencia de diseño 280 Kg/cm²														
MEZCLA DE HORMIGON CONTROL														
Fecha de vaciado	Diametro cilindro (cm)		Altura (cm)	Area (cm ²)	Peso (kg)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Rotura			Eficiencia (%)			
	D1	D2						Promedio	Fecha	Edad (días)	Carga (Kn)	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia (mpa)	%
10/10/2023	10,19	10,26	10,23	82,11	3,408	1666,09	2045,51	7	135,8	176,51	17,29	62,968		
10/10/2023	10,19	10,20	10,20	81,63	3,424	1661,23	2061,13	7	151,5	196,70	19,29	70,251		71,726
10/10/2023	10,23	10,07	10,15	80,91	3,419	1646,59	2076,41	7	157,9	204,96	20,10	73,201		
10/10/2023	10,29	10,27	10,28	83,00	3,457	1690,70	2044,71	14	171,1	222,20	21,79	79,356		
10/10/2023	10,28	10,18	10,23	82,19	3,410	1676,76	2033,68	14	185,9	241,37	23,67	86,203		87,077
10/10/2023	10,29	10,21	10,25	82,52	3,421	1684,15	2031,29	14	189,7	246,26	24,15	87,951		
10/10/2023	10,25	10,23	10,24	82,35	3,464	1688,28	2051,80	28	208,9	267,57	26,24	95,562		
10/10/2023	10,31	10,16	10,24	82,27	3,421	1670,17	2048,29	28	210,4	273,18	26,79	97,565		99,987
10/10/2023	10,29	10,21	10,25	82,52	3,431	1675,90	2047,26	28	220,8	286,75	28,12	102,409		
FIRMA DE RESPONSABLES DEL ENSAYO			 Villón Panchana Caleb			 Tigreiro Chalén Bianca								

Anexo 24

Comprensión simple de mezcla 2A.

		UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL													
TEMA DE TESIS		ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE CON AGREGADO GRUESO LIVIANO										METODO DE DISEÑO:			
TESISTAS		Villón Panchana Caleb Josue - Tigero Chaelén Bianca Nicole										Agua/Cemento			
TUTOR		Ing. Jaime Argudo Rodríguez PhD.										METODO DE CURADO:			
TITULO DEL ENSAYO		RESISTENCIA A LA COMPRESION ASTM C39/INEN 1573										Inmersión en Agua			
Resistencia de diseño 280 Kg/cm²															
MEZCLA DE HORMIGON 2A															
Fecha de vaciado	Diametro cilindro (cm)		Altura (cm)	Area (cm ²)	Peso (kg)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Fecha	Rotura			Eficiencia(%)			
	D1	D2							Promedio	Edad (dias)	Carga (Kn)	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia (mpa)	%	promedio
10/4/2024	10,28	10,29	10,29	83,08	3,329	1673,24	1989,55		7	212,1	264,72	25,96	94,543		
10/4/2024	10,25	10,22	10,24	82,27	3,325	1672,64	1987,87	24/4/2024	7	195,4	243,82	23,91	87,077	88,606	
10/4/2024	10,26	10,24	10,25	82,52	3,329	1674,25	1988,36		7	188,9	235,76	23,12	84,200		
10/4/2024	10,30	10,28	10,29	83,16	3,331	1672,37	1991,78		14	230,3	287,46	28,19	102,664		
10/4/2024	10,23	10,20	10,22	81,95	3,292	1657,10	1986,61	1/4/2024	14	214,2	278,08	27,27	99,313	99,040	
10/4/2024	10,27	10,30	10,29	83,08	3,329	1671,58	1991,53		14	213,0	276,55	27,12	98,767		
10/4/2024	10,23	10,25	10,24	82,35	3,328	1670,98	1991,64		28	272,4	352,31	34,55	125,826		
10/4/2024	10,26	10,24	10,25	82,52	3,328	1673,42	1988,74	15/5/2024	28	244,2	315,71	30,96	112,752	118,907	
10/4/2024	10,22	10,24	10,23	82,19	3,324	1671,01	1989,22		28	255,8	330,80	32,44	118,142		
FIRMA DE RESPONSABLES DEL ENSAYO				Villón Panchana Caleb				Tigero Chaelén Bianca							

Anexo 25

Comprensión simple de mezcla 2B.

		UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL											
TEMA DE TESIS		ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE CON AGREGADO GRUESO LIVIANO										METODO DE DISEÑO:	
TESTISTAS		Villón Panchana Caleb Josue - Tigreiro Chalén Bianca Nicole										Agua/Cemento	
TUTOR		Ing. Jaime Argudo Rodríguez PHD.										METODO DE CURADO:	
TITULO DEL ENSAYO		RESISTENCIA A LA COMPRESION ASTM C39/ INEN 1573										Inmersión en Agua	
Resistencia de diseño 280 Kg/cm²													
MEZCLA DE HORMIGON 2B													
Fecha de vaciado	Diámetro cilindro (cm)		Altura (cm)	Area (cm ²)	Peso (kg)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Rotura			Eficiencia (%)		
	D1	D2						Promedio	Fecha	Edad (días)	Carga (Kn)	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia (mpa)
17/4/2024	10,23	10,22	10,23	82,11	3,320	1669,37	1988,77	7	152,4	197,93	19,41	70,688	
17/4/2024	10,26	10,24	10,25	82,52	3,339	1675,90	1992,36	7	153,7	199,46	19,56	71,235	
17/4/2024	10,19	10,21	10,20	81,71	3,257	1658,77	1963,50	7	168,6	218,93	21,47	78,191	
17/4/2024	10,24	10,22	10,23	82,19	3,326	1669,36	1992,38	14	216,0	269,51	26,43	96,254	
17/4/2024	10,30	10,32	10,31	83,48	3,360	1683,05	1996,37	14	219,0	273,28	26,80	97,602	
17/4/2024	10,22	10,24	10,23	82,19	3,322	1667,72	1991,94	14	214,9	268,19	26,30	95,781	
17/4/2024	10,24	10,22	10,23	82,19	3,321	1667,72	1991,34	28	232,2	289,70	28,41	103,465	
17/4/2024	10,29	10,27	10,28	83,00	3,358	1683,23	1994,97	28	224,0	286,75	28,12	102,409	
17/4/2024	10,26	10,28	10,27	82,84	3,344	1677,47	1993,47	28	222,5	277,67	27,23	99,168	
FIRMA DE RESPONSABLES DEL ENSAYO		Villón Panchana Caleb					Tigreiro Chalén Bianca						
													

Anexo 26

Comprensión simple de mezcla 2C.

		UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL												
TEMA DE TESIS		ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE CON AGREGADO GRUESO LIVIANO										Método de Diseño:		
TESISTAS		Vilón Panchana Caleb Josue - Tigreiro Chalén Bianca Nicole										Agua/Cemento		
TUTOR		Ing. Jaime Argüedo Rodríguez Ph.D.										Inmersión en Agua		
TÍTULO DEL ENSAYO		RESISTENCIA A LA COMPRESION ASTM C39/INEN 1573										Método de Curado:		
Resistencia de diseño 280 Kg/cm² MEZCLA DE HORMIGON 2C														
Fecha de vaciado	Diámetro cilindro (cm)		Promedio	Altura (cm)	Area (cm ²)	Peso (kg)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Rotura			Eficiencia (%)		
	D1	D2							Fecha	Edad (días)	Carga (Kn)	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia (mpa)	%
6/12/2023	10,29	10,27	10,28	20,12	83,00	3,376	1669,95	2021,61	7	144,7	187,83	18,42	67,083	68,673
6/12/2023	10,26	10,22	10,24	20,13	82,35	3,317	1657,81	2000,84	7	148,8	193,24	18,95	69,013	
6/12/2023	10,24	10,26	10,25	20,13	82,52	3,340	1661,04	2010,78	7	150,8	195,79	19,20	69,924	
6/12/2023	10,29	10,26	10,28	20,16	82,92	3,372	1671,65	2017,17	14	160,3	208,12	20,41	74,330	
6/12/2023	10,32	10,34	10,33	20,11	83,81	3,416	1685,40	2026,82	14	154,4	200,48	19,66	71,599	
6/12/2023	10,19	10,21	10,20	20,21	81,71	3,308	1651,42	2003,13	14	149,4	194,05	19,03	69,305	
6/12/2023	10,25	10,26	10,26	20,16	82,60	3,347	1665,14	2010,04	28	178,9	223,22	21,89	79,720	
6/12/2023	10,30	10,29	10,30	20,13	83,24	3,388	1675,66	2021,89	28	180,7	225,46	22,11	80,521	
6/12/2023	10,30	10,30	10,30	20,19	83,32	3,402	1682,29	2022,24	28	186,0	232,09	22,76	82,889	
FIRMA DE RESPONSABLES DEL ENSAYO		Vilón Panchana Caleb 										Tigreiro Chalén Bianca 		

Anexo 27

Datos de un hormigón de peso normal.

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL		 INGENIERIA CIVIL UPSE							
TEMA DE TESIS		ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE CON AGREGADO GRUESO LIVIANO							
TESISTAS		Villón Panchana Caleb Josue - Tigrero Chalén Bianca Nicole							
TUTOR		Ing. Jaime Argudo Rodríguez PhD.							
DESCRIPCION		DENSIDAD DE UN HORMIGON DE PESO NORMAL CON PIEDRA GUAYCO							
HORMIGON DE PESO NORMAL	Edad (días)	Diametro cilindro (cm)			Altura (cm)	Area (cm ²)	Peso (kg)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)
		D1	D2	Promedio					
	7	15,35	15,10	15,23	29,86	182,06	12,257	5436,19	2254,71
	14	14,91	14,98	14,95	30,12	175,42	11,928	5283,68	2257,52
28	15,14	15,30	15,22	30,05	181,94	12,964	5467,18	2371,24	