



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

“EVALUACIÓN DE LA SENSIBILIDAD DE LOS ADITIVOS
SIKA, EN HORMIGONES Y MORTEROS PRODUCIDOS CON
CEMENTO GU, LC3, LC2 Y HUMO DE SÍLICE”

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO CIVIL

AUTORES:

LABANDA OCHOA LUIS HAMILTON
RODRÍGUEZ COLUMBA EDWIN SANTIAGO

TUTOR:

ING. MORENO ALCÍVAR LUCRECIA CRISTINA Mg.

La Libertad – Ecuador

2020

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

**“EVALUACIÓN DE LA SENSIBILIDAD DE LOS ADITIVOS
SIKA, EN HORMIGONES Y MORTEROS PRODUCIDOS CON
CEMENTO GU, LC3, LC2 Y HUMO DE SÍLICE”**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO CIVIL

AUTORES:

**LABANDA OCHOA LUIS HAMILTON
RODRÍGUEZ COLUMBA EDWIN SANTIAGO**

TUTOR:

ING. MORENO ALCÍVAR LUCRECIA CRISTINA Mg.

La Libertad – Ecuador

2020

CERTIFICACIÓN

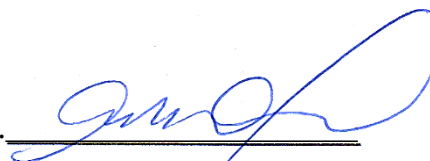
Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por Luis Hamilton Labanda Ochoa y Edwin Santiago Rodríguez Columba, como requerimiento para la obtención del título de Ingeniero Civil.

TUTORA

f. 

Ing. Moreno Alcívar Lucrecia Cristina. Mgs.

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. 

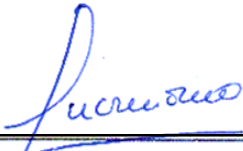
Arq. Gilda Rubira Gómez. MSc

La Libertad, a los veintiuno días del mes de enero del año 2020

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutora del Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación “EVALUACIÓN DE LA SENSIBILIDAD DE LOS ADITIVOS SIKA, EN HORMIGONES Y MORTEROS PRODUCIDOS CON CEMENTO GU, LC3, LC2 Y HUMO DE SÍLICE”, elaborado por el señor LUIS HAMILTON LABANDA OCHOA y el señor EDWIN SANTIAGO RODRÍGUEZ COLUMBA, egresados de la Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Ingenieros Civiles, me permito declarar que luego de haberla dirigido, estudiado y revisado, la apruebo en su totalidad.

TUTORA

f. 
Ing. Lucrecia Moreno Alcívar. Mgs.

La Libertad, a los veintiuno días del mes de enero del año 2020

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

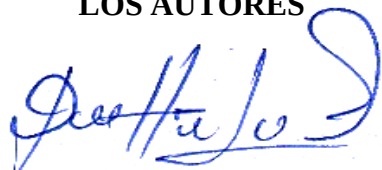
Nosotros, **Luis Hamilton Labanda Ochoa**
Edwin Santiago Rodríguez Columnmba.

DECLARAMOS QUE:

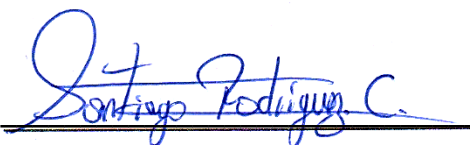
El Trabajo de Titulación, “**EVALUACIÓN DE LA SENSIBILIDAD DE LOS ADITIVOS SIKA, EN HORMIGONES Y MORTEROS PRODUCIDOS CON CEMENTO GU, LC3, LC2 Y HUMO DE SÍLICE**”, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de nuestra total autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

LOS AUTORES

f. 

Luis Hamilton Labanda Ochoa

f. 

Edwin Santiago Rodríguez Columba

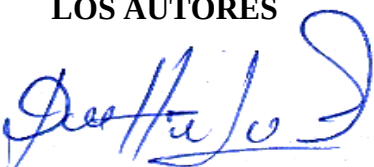
La Libertad, a los veintiuno días del mes de enero del año 2020

AUTORIZACIÓN

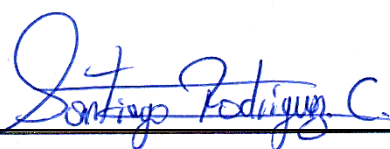
Nosotros, **Luis Hamilton Labanda Ochoa**
Edwin Santiago Rodríguez Columba.

Autorizamos a la Universidad Península de Santa Elena, la respectiva **publicación** de nuestro trabajo de titulación, cuyo tema es **“Evaluación de la sensibilidad de los aditivos sika, en hormigones y morteros producidos con cemento gu, lc3, lc2 y humo de sílice”**, cabe resaltar que el contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

LOS AUTORES

f. 

Luis Hamilton Labanda Ochoa

f. 

Edwin Santiago Rodríguez Columba

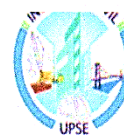
La Libertad, a los veintiuno días del mes de enero del año 2020

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO



Universidad Estatal
Península de Santa Elena

**CARRERA DE
INGENIERÍA CIVIL**



Oficio, UPSE LAB-004-2020

La Libertad, 21 de enero de 2020.

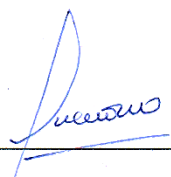
CERTIFICADO ANTIPLAGIO

TUTOR LUCRECIA CRISTINA MORENO ALCIVAR-2019

En calidad de tutor del trabajo de titulación denominado “Evaluación de la sensibilidad de los aditivos Sika, en hormigones y morteros producidos con cemento GU, LC3, LC2 y humo de sílice” elaborado por los estudiantes Luis Hamilton Labanda Ochoa con C.I. 1900509801 y Edwin Santiago Rodríguez Columba con C.I. 0922435854, egresados de la Carrera de Ingeniería civil, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de INGENIERO CIVIL, me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio URKUND, luego de haber cumplido los requerimientos exigidos de valoración, el presente proyecto ejecutado, se encuentra con 3 % de la valoración permitida, por consiguiente se procede a emitir el presente informe.

Adjunto reporte de similitud.

Atentamente,


Ing. Lucrecia Moreno Alcívar, Mg.

C.I.:0911164127

DOCENTE TUTOR



REPORTE DE SIMILITUD



Urkund Analysis Result

Analysed Document:	TESIS LABANDA-RODRIGUEZ URKUND.docx (D62715500)
Submitted:	1/20/2020 6:14:00 PM
Submitted By:	\$(Xml.Encode(Model.Document.Submitter.Email))
Significance:	3 %

Sources included in the report:

https://kupdf.net/download/astm-c231-14-pdf_58ee0dbfdc0d60bb35da9832_pdfASTM
<http://www.cubadebate.cu/especiales/2019/05/24/produccion-de-cemento-ic3-en-cuba-el-camino-de-la-autarquia/#.Xb2ZvZpKhPYPRUDENTE>,
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/915/Diseno%20de%20mezclas%20de%20hormigon%20por%20el%20metodo%20a.c.i..pdf?sequence=1&isAllowed=ySIKA>,
https://www.academia.edu/34683121/Reactividad_puzol%C3%A1nica_de_arcillas_caolin%C3%ADticas_una_revisi%C3%B3n
<https://docplayer.es/53339772-Las-mezclas-de-concreto-hidraulico-con-aditivos-inclusores-de-aire-cenizas-volantes-oscar-adolfo-roa-parra.html>
<https://docplayer.es/96005869-Universidad-estatal-peninsula-de-santa-elena-facultad-de-ciencias-de-la-ingenieria-escuela-de-ingenieria-civil.html>
<https://docplayer.es/29463184-Influencia-de-la-adicion-del-residuo-desmineralizado-del-coroza-de-la-palma-africana-en-el-mortero-y-el-hormigon.html>
<https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/5034/1/UPSE-TIC-2019-0013.pdf>

AGRADECIMIENTOS

Nuestro profundo agradecimiento a Dios, por darnos la existencia, salud, protegernos día a día para poder culminar una etapa más en nuestras vidas.

A nuestras familias, por brindarnos su apoyo moral e incondicional; con su ayuda nos motivó a seguir adelante con el objetivo de culminar la carrera de ingeniería civil.

Agradecemos al Dr. Yosvany Diaz Cardenas, que nos brindó su tiempo, conocimiento, apoyo como guía para llevar acabo este trabajo de titulación.

Agradecemos a nuestra tutora y la vez encargada del Laboratorio de Suelos y Hormigón de la Carrera de Ingeniería Civil - UPSE la Ing. Lucrecia Moreno Alcivar MSc, por brindarnos su tiempo, conocimiento, apoyo para la elaboración de este trabajo de investigación.

Al laboratorista Roger Magallanes, por su tiempo y apoyo técnico en los diferentes ensayos de laboratorio.

Al Decano de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Ing. Juan Garcés Vargas y Ing. Felix Torres Borbor, por su amistad desinteresada, conocimientos transmitidos y enseñanzas prestadas.

Agradecemos a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, a la carrera de Ingeniería Civil, a los docentes, que con sus conocimientos y experiencias ayudaron a nuestra formación durante nuestra etapa académica, permitiéndonos alcanzar nuestros objetivos planteados.

Hamilton Labanda – Santiago Rodríguez.

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedicó en primer lugar a Dios y a continuación a mis padres: Juan José Labanda Ordoñez y Gladys Estela Ochoa Medina por su constancia y motivación, por darme la oportunidad de estudiar una carrera y creer en mis capacidades, aptitudes y brindándome su confianza, apoyo moral y económico.

A mi esposa Tatiana Jaramillo Encalada por su amor, cariño, comprensión su apoyo incondicional a lo largo de mis estudios universitarios, animándome y aconsejándome para culminar mi carrera. A mi hija Uxue Labanda Jaramillo, quien llegó en el momento indicado a nuestras vidas, ya que se convirtió en mi inspiración dándome la fuerza y el empuje necesario para cumplir mi objetivo, se que más adelante se sentirá orgullosa de mis logros.

A mis hermanos Diana Roa, Gabriela Labanda, JuanPablo Labanda, a mi tío Fidel, también a mi suegra, que con palabras de aliento me motivaron a seguir adelante a pesar de la distancia, obstáculos y tristezas, apoyándome moralmente para cumplir mi meta.

A mis amigos: Nixon Barcos, Christian Yagual y Kelly Avila, quienes me brindaron su apoyo incondicional, para seguir adelante a pesar de las adversidades que se presentaron en el camino y de esta manera poder cumplir con éxito mi carrera universitaria.

Luis Hamilton Labanda Ochoa.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación primeramente a Dios, por día a día darme la fortaleza, sabiduría y salud necesaria para seguir a delante y poder cumplir la meta de culminar mi carrera universitaria.

A mi madre Juana, que ha sido la luz y guía en mi camino, que siempre estuvo conmigo y siempre creyó en mis capacidades de lograr mis metas, con su apoyo incondicional ante todo situación.

A mi padre Timoteo, hombre trabajador día a día, velando para que en el hogar no falte nada, porque gracias a sus enseñanza, esfuerzo y sacrificio podemos lograr lo que nos proponemos y esperar su asistencia siempre, en donde ha sido un referente para mí.

A mis amigos; De La Rosa Miguel, Rosero Edison, Bacilio José y Labanda Luis Hamilton, quienes me brindaron su apoyo incondicional, para superar las adversidades que en el camino se presentan, y así, cumplir con éxito mi carrera universitaria.

Gracias amigos de todo corazón porque con la ayuda de ustedes llegué hasta aquí y por ellos pienso continuar.

Edwin Santiago Rodríguez Columba.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

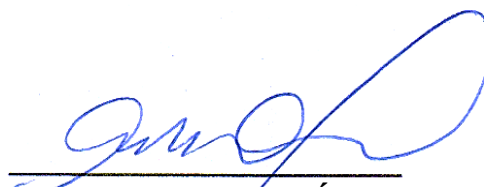
f.



ING. JUAN GARCÉS VARGAS, MgP.

DECANO DE LA FACULTAD

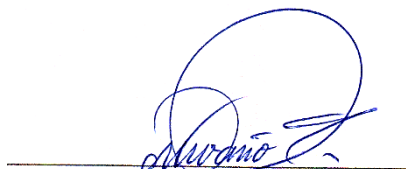
f.



ARQ. GILDA RUBIRA GÓMEZ, Msc.

DIRECTORA DE CARRERA

f.



ING. GASTÓN PROAÑO CADENA. MSc.

COORDINADOR O DOCENTE DEL ÁREA

f.



ABG. LIDIA VILLAMAR MORAN, Mgt.

SECRETARIA GENERAL

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN	III
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	IV
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	V
AUTORIZACIÓN.....	VI
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	VII
AGRADECIMIENTOS	IX
DEDICATORIA.....	X
DEDICATORIA.....	XI
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	XII
ÍNDICE GENERAL.....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS	XVIII
ÍNDICE DE GRÁFICO	XX
ÍNDICE DE FÍGURA	XXI
RESUMEN.....	XXII
ABSTRACT	XXIII
CAPÍTULO I.....	1
MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Antecedentes	3
1.3. Planteamiento del problema.....	5
1.4. Objetivos del proyecto	7
1.4.1. Objetivo General	7
1.4.2. Objetivos Específicos.....	8
1.5. Alcance.....	8
1.6. Justificación.....	8
CAPÍTULO II	10
MARCO TEÓRICO	10
2.1. Generalidades sobre el hormigón.....	10
2.2. Componentes del hormigón.	11
2.2.1 Aglomerantes (cemento).	11
2.2.2 Áridos Granulares.	12
2.2.2.1 Árido grueso.....	14
2.2.2.2 Árido fino.....	14

2.2.3 Agua.....	14
2.2.4 Aditivos y adiciones.....	15
2.3. Arcilla calzinada.....	16
2.4. Caliza.....	17
2.4.1 Proceso de formación de piedra caliza.....	17
2.4.2 Usos de piedra caliza.....	17
2.4.3 Tipos de piedra caliza.....	18
2.5. Adiciones minerales puzolanicas.....	19
2.5.1 Escorias de alto horno.....	19
2.5.2 Humo de sílice.....	19
2.5.2.1 Propiedades física del humo de sílice.....	19
2.5.2.2 Composicion química del humo de sílice.....	20
2.5.2.3 Propiedades del hormigón fresco con humo de sílice.....	20
2.5.2.4 Propiedades del hormigón endurecido con humo de sílice.....	20
2.5.2.5 Ventajas de la adición de humo de sílice al hormigón.....	20
2.5.3 Ceniza volante.....	21
2.6. Puzolana.....	21
2.6.1 Composición y química de las puzolanas.....	22
2.6.2 Clases de puzolanas.....	22
2.6.2.1 Arcillas calcinadas.....	22
2.6.2.2 Cenizas volcánicas.....	23
2.6.2.3 Cenizas de residuos agrícolas.....	23
2.6.3 Producción y procesamiento de la puzolana.....	23
2.7. Dosificación del concreto.....	24
2.8 Mortero.....	25
2.8.1 Dosificación del mortero.....	25
2.8.2 Tipos de mortero.....	26
CAPÍTULO III.....	29
METODOLOGÍA.....	29
3.1 Generalidades.....	29
3.2 Diseño experimental.....	29
3.3 Materiales utilizados en las seis dosificaciones propuestas.....	31
3.3.1 Cemento Atenas tipo GU.....	31
3.3.2 Cemento LC2.....	31

3.3.3 Cemento LC3.	32
3.3.4 Agregado Grueso.....	32
3.3.5 Agregado Fino.....	33
3.3.6 Agua.	34
3.3.7 Aditivos.	34
3.4 Ensayos realizados en los material de hormigón.	35
3.4.1 Granulometría General.....	35
3.4.2 Determinación de contenido total de humedad.	41
3.4.3 Determinación de la densidad y absorción de los aridos.	43
3.4.3.1 Árido grueso- NTE INEN 857.	43
3.4.3.2 Árido fino- NTE INEN 856.	46
3.4.4 Determinación del material más fino que pasa el tamiz con abertura de 75 µm (No.200), mediante lavado – NET INEN 697	50
3.4.5 Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico)- NTE INEN 858.	52
3.5 Diseño experimental de la investigación.....	55
3.6 Preparación mineral LC2 Y LC3.	56
3.7 Dosificación de las mezclas.	56
3.8 Fabricación de probetas.....	61
3.9 Ensayos en las muestras de hormigón.....	61
3.9.1 Asentamiento mediante el cono de Abrams.	61
3.9.2 Resistencia a la compresión.	64
3.9.3 Contenido de aire del hormigón fresco.	65
3.9.4 Ensayo de ultrasonido.	69
3.10 Ensayos en las muestras de mortero.....	69
3.10.1 Mesa de flujo.....	69
3.10.2 Resistencia a la compresión de mortero.	71
3.11 Determición de fraguado en el Hormigón (Aguja Vicat).....	71
CAPÍTULO IV	75
ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE HORMIGÓN Y MORTERO.	75
4.1 Generalidades.	75
4.2 Resultados y análisis de los ensayos a compresión.....	75
CAPÍTULO V	84
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS	84

5.1 Hormigón simple de 35 MPa con 100% Cemento Atenas GU.	84
5.2 Hormigón simple de 35 MPa con 15% de LC2.	85
5.3 Hormigón simple de 35 MPa con 30% de LC2.	86
5.4 Hormigón simple de 35 MPa con 45% de LC2.	87
5.5 Hormigón simple de 35 MPa con LC3.....	88
5.6 Hormigón simple de 35 MPa con 10% de humo de sílice.	89
5.7 Mortero de 35 MPa con 100% de Cemento Atenas GU.	90
5.8 Mortero de 35 MPa con 15% de LC2	91
5.9 Mortero de 35 MPa con 30% de LC2.	92
5.10 Mortero de 35 MPa con 45% de LC2.	93
5.11 Mortero de 35 MPa con LC3.....	94
5.12 Mortero de 35 MPa con 10% de Humo de sílice.	95
5.13 Relación costo/beneficio Hormigón.....	96
5.14 Relación costo/beneficio Mortero	96
CAPÍTULO VI.....	97
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	97
BIBLIOGRAFÍA.....	99
ANEXO	104
ANEXO A. DATOS ESCLEROMETRO	104
Anexo A.1 Cemento GU con aditivo sikaplast 9100 CU(AL-0044-2).....	104
Anexo A.2 Cemento GU con 15% de LC2 con aditivo sikaplast 9100 CU(AL-0044-2).....	107
Anexo A.3 Cemento GU con 30% de LC2 con aditivo sikaplast 9100 CU(AL-0044-2).....	110
Anexo A.4 Cemento GU con 45% de LC2 con aditivo sikaplast 9100 CU(AL-0044-2).....	112
Anexo A.5 Cemento LC3 con aditivo sikaplast 9100 CU(AL-0044-2).....	115
Anexo A.6 Cemento GU con 10% de humo de sílice con aditivo sikaplast 9100 CU(AL-0044-2).....	118
Anexo A.7 Cemento GU con aditivo sikaplast 9100 CU(AL-0044-3).....	121
Anexo A.8 Cemento GU con 15% de LC2 con aditivo sikaplast 9100 CU(AL-0044-3).....	124
Anexo A.9 Cemento GU con 30% de LC2 con aditivo sikaplast 9100 CU(AL-0044-3).....	127
Anexo A.10 Cemento GU con 45% de LC2 con aditivo sikaplast 9100 CU(AL-0044-3).....	130

Anexo A.11 Cemento GU con 10% de humo de silice con aditivo sikaplast 9100 CU(AL-0044-3).....	133
ANEXO B. DATOS DE PROBETAS	136
ANEXO C. ENSAYO DE FRAGUADO DEL HORMIGÓN.....	138
Anexo C.1 Cemento GU con aditivo SikaPlast 9100 CU (AL-044-2)	138
Anexo C.2 Cemento GU con 15% de LC2 con aditivo SikaPlast 9100 CU (AL-044-2)	139
Anexo C.3 Cemento GU con 30% de LC2 con aditivo SikaPlast 9100 CU (AL-044-2)	140
Anexo C.4 Cemento GU con 45% de LC2 con aditivo SikaPlast 9100 CU (AL-044-2)	141
Anexo C.5 Cemento LC3 aditivo SikaPlast 9100 CU (AL-044-2).....	142
Anexo C.6 Cemento GU con aditivo SikaPlast 9100 CU (AL-044-3)	143
Anexo C.7 Cemento GU con 15% de LC2 con aditivo SikaPlast 9100 CU (AL-044-3)	144
Anexo C.8 Cemento GU con 30% de LC2 con aditivo SikaPlast 9100 CU (AL-044-3)	145
Anexo C.9 Cemento GU con 45% de LC2 con aditivo SikaPlast 9100 CU (AL-044-3)	146
Anexo C.10 Cemento LC3 aditivo SikaPlast 9100 CU (AL-044-3).....	147
ANEXO D. ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE	148

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:Tipos de cemento Portland.....	11
Tabla 2: Dosificación de mortero.....	26
Tabla 3: Combinaciones de hormigón.	30
Tabla 4: Requisitos de agregado grueso.....	33
Tabla 5: Requisitos de agregado fino.....	33
Tabla 6: Análisis granulométrico de árido grueso.	39
Tabla 7: Análisis granulométrico de árido fino.....	40
Tabla 8: Determinación de contenido total de humedad árido grueso.....	42
Tabla 9: Determinación de contenido total de humedad árido Fino	43
Tabla 10: Determinación de densidad y porcentaje de absorción de árido grueso	45
Tabla 11: Determinación de densidad y porcentaje de absorción de árido fino .	49
Tabla 12: Determinación del material que pasa el tamiz de 75 um del árido grueso	51
Tabla 13: Determinación del material que pasa el tamiz de 75 um del árido fino	51
Tabla 14: Determinación del peso volumétrico suelto del árido grueso.....	53
Tabla 15: Determinación del peso volumétrico suelto del árido fino	54
Tabla 16: Determinación del peso volumétrico compactado del árido grueso ...	55
Tabla 17: Determinación del peso volumétrico compactado del árido fino	55
Tabla 18: Dosificación de concreto de la muestra patrón.....	56
Tabla 19: Dosificación de mortero de la muestra patrón	57
Tabla 20: Dosificación de concreto con el 10% humo de sílice	57
Tabla 21: Dosificación de mortero con el 10% humo de sílice	57
Tabla 22: Dosificación de concreto con el 100% LC3, SikaPlast 9100 CU AL-0044-2	58
Tabla 23: Dosificación de mortero con el 100% LC3 SikaPlast 9100 CU AL 0044-2	58
Tabla 24: Dosificación de concreto con el 100% LC3, SikaPlast 9100 CU AL-0044-3	58
Tabla 25: Dosificación de mortero con el 100% LC3 SikaPlast 9100 CU AL-0044-3	59
Tabla 26: Dosificación de concreto con el 15% LC2	59
Tabla 27: Dosificación de mortero con el 15% LC2.....	59
Tabla 28: Dosificación de concreto con el 30% LC2	60
Tabla 29: Dosificación de mortero con el 30% LC2.....	60
Tabla 30: Dosificación de concreto con el 45% LC2	60
Tabla 31: Dosificación de mortero con el 45% LC2.....	61
Tabla 32: Asentamiento de las muestras.....	63
Tabla 33 : Valores de diámetro en mesa de flujo con sikaplas CU(AL-044-2)..	70
Tabla 34 : Valores de diámetro en mesa de flujo con sikaplas CU(AL-044-3)..	70
Tabla 35: Tiempo de fraguado del hormigón con aditivo SikaPlast 9100 CU(AL-044-2).....	74

Tabla 36: Tiempo de fraguado del hormigón con aditivo SikaPlast 9100 CU(AL-0044-3).....	74
Tabla 37: Resistencia a la compresión de hormigón, SikaPlast 9100CU(AL-0044-2).....	76
Tabla 38: Resistencia a la compresión de hormigón, SikaPlast9100 CU(AL-0044-3).....	77
Tabla 39: Resistencia a la compresión de mortero, SikaPlast 9100 CU(AL-0044-2).	80
Tabla 40 : Resistencia a la compresión de mortero, SikaPlast 9100 CU(AL-0044-3).	81
Tabla 41: Análisis precio unitario hormigón simple con 100% cemento	84
Tabla 42: Análisis precio unitario hormigón simple con 15% de LC2.....	85
Tabla 43: Análisis precio unitario hormigón simple con 30% de LC2.....	86
Tabla 44: Análisis precio unitario hormigón simple con 45% de LC2.....	87
Tabla 45: Análisis precio unitario hormigón simple con LC3.	88
Tabla 46: Análisis precio unitario hormigón simple con 10% de humo de sílice.	89
Tabla 47: Análisis precio unitario mortero de 35 MPa con 100% de cemento Atenas.....	90
Tabla 48: Análisis precio unitario mortero de 35 Mpa con 15% de LC2.	91
Tabla 49: Análisis precio unitario mortero de 35 Mpa con 30% de LC2.	92
Tabla 50: Análisis precio unitario mortero de 35 MPa con 45% de LC2.	93
Tabla 51: Análisis precio unitario mortero de 35 MPa con 100% LC3.	94
Tabla 52: Análisis precio unitario mortero de 35 MPa con 10% de humo de sílice.	95
Tabla 53: Relación Costo/Beneficio Hormigon.....	96
Tabla 54: Relación Costo/Beneficio Morteros.....	96

ÍNDICE DE GRÁFICO

Gráfico 1: Curva Granulométrica Agregado Grueso	39
Gráfico 2: Curva Granulométrica Agregado Fino	40
Gráfico 3:Asentamiento del hormigón.....	63
Gráfico 4: Tipos de fracturas a compresión	64
Gráfico 5: Aparato de Vicat manual	73
Gráfico 6: Relación resistencia vs tiempo de probetas de hormigón, SikaPlast 9100 CU(AL-0044-2).....	76
Gráfico 7: Resistencia a la compresión de probetas de hormigón, SikaPlast 9100 CU(AL-0044-2).....	77
Gráfico 8: Relación resistencia vs tiempo de probetas de hormigón, SikaPlast 9100 CU(AL-0044-3).....	78
Gráfico 9: Resistencia a la compresión de probetas de hormigón, SikaPlast 9100 CU(AL-0044-3).....	78
Gráfico 10 : Comparación de aditivos con cemento LC3 en hormigón.....	79
Gráfico 11: Relación resistencia vs tiempo de probetas de mortero, SikaPlast 9100 CU(AL-0044-2).....	80
Gráfico 12: Resistencia a la compresión de probetas de mortero, SikaPlast 9100 CU(AL-0044-2).....	81
Gráfico 13: Relación resistencia vs tiempo de probetas de mortero, SikaPlast 9100 CU(AL-0044-3).....	82
Gráfico 14: Resistencia a la compresión de probetas de mortero, SikaPlast 9100 CU(AL-0044-3).....	82
Gráfico 15: Comparación de aditivos con cemento LC3 en mortero.....	83

ÍNDICE DE FÍGURA

Figura 1 : Cemento Atenas.....	31
Figura 2: Cemento LC2.....	31
Figura 3: Cemento LC3.....	32
Figura 4: Agregado Grueso	32
Figura 5: Agregado Fino	34
Figura 6: Aditivo SikaPlast 9100 CU(AL-0044-2); SikaPlast 9100 CU(AL-0044-3)	35
Figura 7: Asentamiento del cono de Abrams.	64
Figura 8: Ensayo de mesa de flujo	71
Figura 9: Ensayo de Aguja de Vicat	74

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

TEMA: “EVALUCIÓN DE LA SENSIBILIDAD DE LOS ADITIVOS
SIKA, EN HORMIGONES Y MORTEROS PRODUCIDOS
CON CEMENTO GU, LC3, LC2 Y HUMO DE SÍLICE”

Autores: Luis Hamilton Labanda Ochoa
Edwin Santiago Rodriguez Columba.

Tutor: Ing. Lucrecia Moreno Alcívar, Mgs

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se evalúa la sensibilidad de los aditivos Sikaplast 9100 CU(AL-044-2) y Sikaplast 9100 CU(AL-044-3) en porciones de 70%, 30% ; en hormigones y morteros, de altas prestaciones, utilizando el cemento LC3 (clinker más arcilla calcinada, caliza, yeso) en 100% de su contenido, y la adición mineral LC2 (arcilla calcinada más caliza, yeso) en porciones de 15%, 30% y 45%, Humo de sílice en un 10% y Cemento GU (Atenas) en 100% de su contenido.

Se describe la obtención de la adición mineral LC3 y LC2, el desarrollo de los ensayos necesarios para la elaboración de los hormigones y morteros, el proceso de preparación de la mezcla, las dosificaciones adecuadas por la variación del contenido de cada espécimen. Se presentan los análisis de los resultados de los ensayos que determinan las propiedades que se obtienen con cada tipo de hormigón y mortero que se realiza, comparándolos con una muestra patrón elaborada con cemento GU (Atenas) diseñada para proporcionar una resistencia de 35MPa.

Además, se efectúa una relación costo/beneficio realizando un análisis de precio unitario para la fabricación de 1m³ de hormigón simple y mortero de cada tipo, y una breve evaluación de las emisiones de CO₂ que se generan en la producción de cada espécimen.

Palabras clave: Sikaplast, LC3, LC2, Humo de sílice, espécimen.

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

TEMA: “EVALUATION OF SENSITIVITY OF SIKA ADDITIVES
IN CONCRETE AND MORTARS PRODUCED LC3, LC2
CEMENT GU, SILICA FUMES”

Authors: Luis Hamilton Labanda Ochoa
Edwin Santiago Rodríguez Columba.

Tutor: Ing. Lucrecia Moreno Alcívar, Mg

ABSTRACT

The following research work evaluates the sensibility of Sikaplast 9100 CU(AL-044-2) in portions of 1.5%, 30% and 45%, in concrete and mortar, with high benefits, by using a mineral admixture of clinker plus calcined clay plus limestone plus gypsum (LC3) in portions of 15%, 30%, and 45%; by using the mineral admixture of calcined clay and limestone plus gypsum (LC2) in portions of 15%, 30% and 45%, silica fume in 10% and cement GU, LC3, LC2 in 100% of the content.

The obtainment of mineral admixture LC3 and LC2 is described, as well as the development of the necessary tests to make concrete and mortar, the making of the admixture, the proper dosages for the content variation of each sample. It is presented the analysis of the tests results which determine the properties obtained with each kind of mortar and concrete, being compared with a pattern sample made with Atenas cement (which is designed to provide a resistance of 35MPa).

In addition, a cost/benefits relation is made from an analysis of unit price in order to produce 1m³ of simple concrete and mortar of each kind, as well as a brief evaluation of CO₂ emissions produced after each sample.

Keywords: Sikaplast, calcined limestone, silica fume, sample

CAPÍTULO I

MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Introducción

En la actualidad debido a la creciente demanda de estructuras y edificaciones para diferentes usos, sean estos para vivienda, oficinas, locales comerciales o parqueaderos, se ven en la necesidad de mejorar la calidad del hormigón en términos de trabajabilidad y resistencia. Es importante considerar que, en la provincia de Santa Elena. Demanda una necesidad creciente de edificaciones para el sector hotelero, ya que la provincia de Santa Elena es uno de los polos de desarrollo turístico más importante del país.

Para el desarrollo y el crecimiento de las poblaciones es importante la construcción de estructura de hormigón y estas deben tener las mejores condiciones óptimas de calidad, lo que constituye un elemento indispensable y sustancial para el tan anhelado crecimiento y desarrollo social y económico de las poblaciones, atendiendo necesidades de los habitantes, que a la vez brinde a los usuarios de las edificaciones: seguridad, comodidad y confort; por otra parte es importante también, pensar en la economía del sector de la construcción y en brindar mejores alternativas al momento de construir las edificaciones e ir implementando nuevos materiales a las dosificaciones tradicionales del hormigón que se utiliza para la construcción de cada uno de los diferentes elementos que constituyen una estructura, sean estos plintos, riostras, columnas, vigas, losas.

La combinación de nuevos materiales para lograr una mejoría en las propiedades del mortero y del hormigón, ha dado impulso al desarrollo de muchas investigaciones en la actualidad. La lucha por lograr materiales resistentes y durables es hoy en día el objetivo principal de los investigadores de estos. La variación en las dosificaciones, las sustituciones de materiales, la utilización de adiciones como SIKAPLAST 9100 CU(AL-044-3) y SIKAPLAST 9100 CU (AL-044-2) entre otras.

El presente trabajo de titulación pretende evaluar el comportamiento de las propiedades físico-mecánicas de hormigones de altas resistencias, empleando la

utilización de la adición mineral LC2 (arcilla calcinada, caliza y yeso), humo de sílice y cemento LC3 (arcilla calcinada, caliza, yeso y Clinker) en porcentajes variables en morteros y hormigón, a nivel microestructural, las adiciones se suministrarán en porcentajes variables respecto del peso del cemento GU (Atenas) tanto para mortero y hormigón y compararlos con un mortero y hormigón de mezcla estándar sin adiciones.

Se describe la obtención de minerales que forman la adición mineral LC2 (arcilla calcinada, caliza y yeso), humo de sílice y cemento LC3 (arcilla calcinada, caliza, yeso y Clinker) y además la adición de aditivos SIKA, el desarrollo de los ensayos necesarios para la elaboración de los hormigones y morteros, el proceso de preparación de las mezclas.

En la actualidad se construyen en la Provincia de Santa Elena muchas edificaciones, algunas de ellas ni siquiera cuentan con la supervisión de un Ingeniero Civil o un técnico especializado en el área de la construcción, por lo tanto, en ocasiones en las obras se irrespetan los diseños de la mezcla de hormigón, es necesario saber el efecto que causa en la mezcla de hormigón la adición de aditivos superplastificantes.

Como elementos importantes dentro del análisis comparativo de sensibilidad de los superplastificantes en el hormigón es necesaria la caracterización de los agregados (finos y gruesos) que se van a utilizar para realizar el hormigón y poder hacer un diseño óptimo, los aditivos superplastificante se pueden aplicar en mezclas que se vayan a utilizar en diferentes proyectos de Ingeniería. La caracterización de los agregados es sin duda el primer paso para poder elegir la relación agua-cemento y poder realizar el diseño de hormigón que se va a utilizar de acuerdo a la resistencia a la compresión que se quiere alcanzar una vez realizado esto, podremos calcular la cantidad idónea de superplastificante que colocaremos en la mezcla a realizar.

Se realizarán 6 mezcla de hormigón, en donde se realizarán ensayos de fluidez de mortero(mesa de flujo), asentamiento con cono de Abrams y resistencia a compresión a las 24 horas, 7 días, 28 días, en donde se realizan moldes cilíndricos de Ø10cm x 20 cm de altura, estos ensayos se realizan en el laboratorio según las normas ecuatorianas. Una vez realizados los diseños de hormigón y mortero con los dos tipos de aditivos, se procederá a elaborar las mezclas en el laboratorio, realizando los ensayos pertinentes para analizar el comportamiento de los aditivos superplastificantes

en hormigones y morteros, para ser aplicados en las obras civiles y también mediante las pruebas realizadas conocer cuál es el porcentaje de reducción de agua que se puede obtener de acuerdo a la resistencia a la compresión requerida.

En la Provincia de Santa Elena, así como también en el resto del país se construyen edificaciones diariamente y existe un total desconocimiento de la aplicación y uso de los aditivos superplastificantes, y por esta razón se podrían ver afectadas en un futuro la seguridad, calidad y funcionalidad de las estructuras.

Existen varios problemas que se producen en las construcciones de elementos de hormigón como:

- No se realizan la caracterización respectiva de los agregados a utilizar.
- Pocas veces se realiza un diseño de hormigón
- Existe poca o nula supervisión de parte de un Ingeniero al elaborar un diseño de hormigón.

Por lo anterior mencionado se busca con la adición de superplastificantes SIKAPLAST 9100 CU(AL-044-3) y SIKAPLAST 9100 CU (AL-044-2) reducir agua a la mezcla de hormigón y mortero, Además, se efectúa una relación costo/beneficio realizando un análisis de precio unitario para la fabricación de 1 m³ de hormigón simple de cada tipo.

1.2. Antecedentes

El hormigón es uno de los materiales más antiguos, se ha venido utilizando desde hace aproximadamente 500 años a. c. por los griegos y los romanos, los cuales lo utilizaban para construcción de viviendas, templos, muelles, coliseos entre otras edificaciones, todo esto lo hacían sin la necesidad de utilizar hierro en sus estructuras, el hormigón era lo suficientemente fuerte para soportar todas las cargas, según estudios arqueológicos se dice que el hormigón romano era una mezcla de ceniza volcánica y cal viva, lo cual con el pasar de los años lograba una mayor resistencia e incluso en puertos como el “ Puerto antiguo de Cosa (en la Toscana)” que a pesar de estar constantemente en contacto con el mar, su estructura de hormigón parece una roca. (MCCANN, 2014). Fue a principios del siglo XIX cuando se inventó el cemento Portland por Joseph Aspdin en 1824 un constructor británico, el cual a base de piedra

caliza y arcillas que abundan en la localidad de Inglaterra, se obtiene por calentamiento incipiente (aproximadamente a 1300 °C) proceso que consiste en tomar las rocas calcáreas y las arcillas en determinadas proporciones adecuadas, de manera que el compuesto de la caliza (CaO) se vincule íntima y homogéneamente con los compuesto de la arcilla (SiO₂, AL₂O₃ y Fe₂O₃). El calentamiento se efectúa en hornos giratorios levemente inclinados de 3m de diámetro y 100 m de largo; mediante moliendas se obtiene el llamado “Clinker”, se muele y finalmente adicionándole un 2% a 3% de yeso, se obtuvo tan grandioso invento que hoy en día es el principal material en las distintas obras civiles, el cemento o se lo fabricó a grandes escalas 1844 donde Isaac Charles Johnson decidió industrializar el material, el cemento en conjunto con otros agregados da como resultado el hormigón que se conoce actualmente y por la contaminación que la misma produce. (IDICT, 2019)

La adición mineral LC2 (arcilla calcinada, yeso, caliza) busca reducir la cantidad de Clinker que se usa en la fabricación del cemento el cual requiere una gran demanda de recursos, ya que para su obtención las industrias producen emisiones de gases de efecto invernadero. El LC2 se obtiene de una manera más sustentable mediante la mezcla de arcilla calcinada a 800 °C, caliza y yeso; en donde se calcula la proporción en que debe mezclarse los materiales, siendo un 60% arcilla calcinada, 30% caliza y 10 % de yeso. (M. ANTONI, 2012)

Se debe tomar en cuenta que para obtener el LC2, también, se pasa por el proceso de fragmentación, es decir, por el molino o molienda el cual también sufre del fenómeno de aglomeración debido a la carga electrostática que afecta a los finos es por esa razón que se le agregará aditivos de molienda o intensificadores de molienda para anular dicha carga evitando la aglomeración y por ende, menos tiempo y recursos para obtener el tamaño óptimo del producto final llamado LC2. (CASTILLO JUMBO, 2019).

Con el transcurso del tiempo se ha tenido la necesidad de la mezcla homogénea como lo es el hormigón, para que este sea adaptable al ambiente de trabajo ya sea en altas o bajas temperaturas, según investigaciones científicas se dice que los romanos en su época usaban las claras de huevo como aditivo para el hormigón, es así como en 1973 se agrega por primera vez cloruro de calcio en calidad de aditivo al hormigón, luego se probó con silicato de sodio y otros para generar impermeabilidad en los

hormigones, también se experimentó con finos para darle color al material. (REIBAN OJEDA, 2017).

La norma ecuatoriana de la construcción (NEC, 2001) en la sección de aditivos específica que esta se rige a:

ASTM C494: aditivos químicos para hormigón

ASTM C1017: aditivos químicos para uso en la producción de hormigón fluido.

ASTM C260: aditivos incorporadores de aire utilizados en la elaboración de hormigón.

ACI 212. 3R aditivos químicos para hormigón.

ACI 212. 4R. aditivos reductores de agua de alto rango en el hormigón superplastificante.

Además, describe que la relación agua-cemento es lo que determina la resistencia de los hormigones en cualquier proyecto conjuntamente con los agregados finos y gruesos.

La finalidad de utilizar plastificantes y superplastificantes es reducir la relación agua-cemento, para mejorar la resistencia de diseño e incrementar la resistencia a determinada edad.

Un buen diseño del hormigón y el correcto uso de los aditivos superplastificantes que se analizan, dará como resultado una mezcla más trabajable, para mejorar su resistencia y la realización de diseño de hormigón que se adapten a las necesidades de quienes construyen las obras de ingeniería civil.

1.3. Planteamiento del problema

La Carrera de Ingeniería Civil de la facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, forma profesionales en varias especialidades siendo una de ellas el área de tecnología del hormigón. Para diseñar un hormigón es necesario una evaluación de los agregados (finos y gruesos) que se van a utilizar y también es muy importante estudiar cómo se comporta cuando se le adiciona aditivos superplastificantes.

En la actualidad se está buscando disminuir las grandes cantidades de Clinker empleadas como ingrediente principal para la fabricación de cemento. Una de las

propuestas es la adición mineral LC2 que consiste en una mezcla de arcilla calcinada, caliza y yeso, sustituyendo una buena parte del Clinker.

Y con la nueva tecnología ha surgido en el Centro de Investigación y Desarrollo de las Estructuras y los Materiales de Construcción (CIDEM), perteneciente a la Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas (UCLV) en conjunto con el Laboratorio de Materiales de Construcción (LMC) perteneciente a la Escuela Politécnica Federal de Lausana (EPFL), en Suiza. (Perez, 2019)

Esta nueva alternativa hace frente a la creciente demanda de los recursos y al mismo tiempo, reduce el consumo de combustible, las emisiones de CO₂ y hace más eficiente y viable la producción del cemento, utilizando la infraestructura existente disponible.

Este nuevo conglomerante es un cemento ternario, y en su producción se reduce considerablemente las emisiones de CO₂ (hasta 50%) y al mismo tiempo muestra propiedades similares al cemento Portland. Esto se logra mediante la sustitución de parte del Clinker por una combinación sinérgica de arcilla calcinada y piedra caliza, esta calcinación ocurre a temperaturas más bajas que la requerida para la obtención del Clinker lo que con lleva a ahorros de combustible. La novedad y el potencial del LC3 residen en el efecto sinérgico de arcillas calcinadas y piedra caliza en términos de resistencia a las proporciones de mezcla específicas (Alujas, 2010, Castillo, 2010, Fernández, 2013, Martirena, 2003, Mena, 2013, Pérez Cabrera, 2013, Scrivener, 2008).

La reducción del costo total de producción del cemento LC3 es del 15 % con respecto al P- 35 y 5 % con respecto al PP-25 bajo las condiciones de fabricación de la fábrica Siguaney. Teniendo en cuenta los factores económicos y medio ambientales de la producción a escala industrial del LC3 se muestra la viabilidad de su implementación en países en vías de desarrollo, buscando la manera de satisfacer las demandas futuras del producto para desarrollar una infraestructura sostenible. (GARCIA, 2017)

El presente proyecto de titulación ha sido seleccionado como tema de investigación para analizar y comparar la sensibilidad de los aditivos sikaplast en hormigón y mortero, para este caso se seleccionaron aditivos cuyo componente

principal fueron; Policarboxilato, Naftaleno sulfato y polímero de melaninas sulfonado y que será descrito detalladamente en el desarrollo de este estudio.

Algunos de los problemas característicos que existen actualmente en el sector de la construcción en la Provincia de Santa Elena, es la carencia de un diseño de hormigón para aplicarlos en la construcción de edificaciones y el desconocimiento de las propiedades y uso de los aditivos superplastificantes.

En la actualidad el firme incremento demográfico de las ciudades en la Península de Santa Elena ha dado lugar a problemas que requieren de manera inmediata una solución. El presente estudio se origina a raíz del aumento de población que genera la necesidad de construir nuevas edificaciones, para satisfacer la demanda de la población, y para esto es imprescindible encontrar alternativas que permitan obtener hormigones de mejor calidad en términos de trabajabilidad y resistencia.

A la par con ellos, debido a que se construyen edificaciones sin un estudio previo de agregados y sin un correcto diseño de hormigón, aplicando aditivos para poder alcanzar una mayor resistencia, los elementos construidos se podrían verse afectados a corto tiempo y podrían no satisfacer las demandas de servicio para las que fueron construidas.

Si al elaborar un hormigón no se obtiene una buena trabajabilidad y además es necesario agregar una mayor cantidad de agua para que la mezcla sea trabajable estamos reduciendo de manera muy significable la resistencia del hormigón y por lo tanto se estaría también comprometiendo la capacidad de servicio de dicho elemento elaborado con ese hormigón. Esto obliga a realizar análisis comparativos de los aditivos superplastificantes SIKAPLAST 9100 CU(AL-044-2) y SIKAPLAST 9100 CU (AL-044-3), para con ello poder diseñar hormigones de mejor calidad y trabajabilidad en los cuales se pueda reducir el porcentaje de agua agregada a la mezcla de manera significativa.

1.4. Objetivos del proyecto

1.4.1. Objetivo General

Evaluar la sensibilidad de los aditivos Sikaplast 9100 CU(AL-044-2) y Sikaplast 9100 CU (AL-044-3) en las propiedades reológicas, físico-mecánicas de hormigones y morteros utilizando Cemento GU, LC3 , LC2, HUMO DE SÍLICE en diferentes condiciones de mezclado.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Evaluar la sensibilidad de los aditivos Sikaplast 9100 CU(AL-044-2) y Sikaplast 9100 CU(AL-044-3) en los hormigones y morteros producidos con Cemento GU, LC3, LC2 y Humo de Sílice a través de los ensayos de compresión y analizar la resistencia obtenida.
- Determinar las propiedades reológicas y físico-mecánicas de los hormigones y mortero elaborados con Cemento GU, LC3, LC2, Humo de Sílice y los aditivos Sikaplast 9100 CU(AL-044-2) y Sikaplast 9100 CU(AL-044-3).

1.5. Alcance

Para la edificación y construcción de diferentes elementos en el área de la Ingeniería Civil se requiere de un estudio previo de los agregados a utilizar y de un diseño de hormigón y mortero, con este estudio se pretende evaluar la sensibilidad de dos tipos de aditivos superplastificante (reductores de agua) de la marca SIKA, sikaplast 9100 CU(AL-044-2); sikaplast 9100 CU(AL-044-3) además se utilizará cemento Atenas (GU), LC3 (clinker+arcilla calcinada+caliza+yeso), LC2(arcilla calcinada+ caliza+ yeso) HUMO DE SÍLICE (reducción de las partículas del cuarzo, de elevada pureza con carbón).

El resultado de este estudio podrá ser aplicado ampliamente en el campo de la Ingeniería Civil y la construcción de todo tipo de infraestructuras, en las obras que requieran un hormigón fluido y que sea necesaria la reducción de la cantidad de agua para tener una mejor maleabilidad, también se podrá aplicar para obtener morteros con este tipo de conglomerados. Se podrá utilizar en la confección de diferentes elementos con el hormigón, y con los morteros se puede aparejar ladrillos, piedras, bloques de hormigón, etc.

1.6. Justificación

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015) se debe de respetar una serie de parámetros para elaborar y diseñar un hormigón, en este estudio se analizará y se comparará lo que sucede cuando se le añade un aditivo superplastificante a la mezcla de hormigón y mortero con cemento Atenas (GU), LC3

(clinker+arcilla calcinada+caliza+yeso), LC2 (arcilla calcinada+ caliza+ yeso) Humo de Sílice, es fundamental conocer la reacción al añadir aditivos superplastificantes, para su postremo aplicación de morteros y hormigones a utilizar en las obras que se realicen en la Provincia de Santa Elena y el País.

El alcance de su beneficio de este estudio será para todos y cada uno de los profesionales y no profesionales del sector de la construcción que apuesten por estos nuevos hormigones y morteros, por los aditivos superplastificantes, el resultado obtenido en la presente investigación y con ellos se podrán obtener dosificaciones de hormigón y mortero de mejor maleabilidad y hormigones de mayor resistencia a la compresión.

Esto ocasionará un gran impacto en la sociedad debido a que se podrá edificar con mayor capacidad de servicio y una vez que los constructores conozcan los beneficios de los hormigones y morteros de cemento Atenas (GU), LC3, LC2, Humo de Sílice, y agregándoles aditivos superplastificantes, se utilizará en diferentes construcciones.

Con esto se busca contribuir en la reducciones de emisión de dióxido de carbono que puede lograrse en la industria del cemento, que tiene un aporte actual del 8% de las emisiones globales, “es del 1% o el equivalente a 600 millones de toneladas de esta sustancia anualmente” y reducción del coste del saco de cemento tradicional, y la reducción de agua, ya que actualmente los albañiles piensan que la solución para obtener un hormigón y mortero más dúctil es adicionarle agua a la mezcla, y están eludiendo por completo el hecho de agregar agua a la mezcla están reduciendo la resistencia a la compresión y la durabilidad del hormigón, esto debido a que se altera la relación agua/cemento.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Generalidades sobre el hormigón.

El hormigón es el material resultante de unir áridos con la pasta que se obtiene al añadir agua a un conglomerante. El conglomerante puede ser cualquiera, pero cuando se refiere a hormigón, generalmente es un cemento artificial. Los áridos proceden de la desintegración o trituración, natural o artificial de rocas y, según la naturaleza de las mismas, reciben el nombre de áridos silíceos, calizos, granítico. (Alvarez, 2017)

En la actualidad, según la NEC-SE-HM 2015 “Hormigón ” puede definirse como un material constituido por la mezcla de cemento portland o cualquier otro cemento hidráulico, árido grueso, árido fino y agua, con o sin incorporación de aditivos o adiciones, que desarrolla sus propiedades al hidratarse el cemento.

Según (Minetti, 2008) “agregado” a la mezcla de arena y piedra de granulometría variable. El hormigón es un material compuesto básicamente por agregados y pasta cementicia, elementos de comportamientos bien diferenciados:

- Los agregados conforman el esqueleto granular del hormigón y son el elemento mayoritario ya que representan el 80 - 90% del peso total del hormigón, por lo que son responsables de gran parte de las características del mismo. Los agregados son generalmente inertes y estables en sus dimensiones. (Minetti, 2008)
- La pasta cementicia (mezcla de cemento y agua) es el material activo dentro de la masa del concreto y como tal es en gran medida responsable de la resistencia, variaciones volumétricas y durabilidad del hormigón. Es la matriz que une los elementos del esqueleto granular entre sí. (Minetti, 2008)

Para la determinación de la composición del hormigón, o sea su dosificación, es necesario que los productores tengan en cuenta sobre toda las siguientes características: trabajabilidad, resistencia mecánica, durabilidad y costo. (Minetti, 2008)

2.2.Componentes del hormigón.

2.2.1 Aglomerantes (cemento).

Es un material inorgánico finamente molido que amasado con agua, forma una pasta que fragua y endurece por medio de reacciones y procesos de hidratación y que, una vez endurecido conserva su resistencia y estabilidad incluso bajo el agua. El endurecimiento hidráulico del cemento se debe principalmente a la hidratación de silicatos de calcio, aunque también puede participar en el proceso de endurecimiento otros compuestos químicos. (INSTITUTO ESPAÑOL DEL CEMENTO Y SUS APLICACIONES, 2018)

Tabla 1:Tipos de cemento Portland.

TIPO	DESCRIPCIÓN	NORMA	
		INEN	ASTM
PUROS	I Uso común	152	C 150
	II Moderada resistencia a sulfatos Moderado calor de hidratación	152	C 150
	III Elevada resistencia inicial	152	C 150
	IV Bajo calor de hidratación	152	C 150
	V Alta resistencia a la acción de los sulfatos	152	C 150
	Los tipos IA, IIA y IIIA incluyen incorporador de aire		
COMPUESTOS	IS Pórtland con escoria de altos hornos	490	C 595
	IP Pórtland Puzolanico	490	C 595
	P Pórtland Puzolanico (Cuando no se requiere resistencias iniciales altas)	490	C 595
	I(PM) Pórtland puzolánico modificado	490	C 595
	I(SM) Pórtland con escoria modificado	490	C 595
	S Cemento de escoria	490	C 595
POR DESEMPEÑO	GU Uso en construcción en general	2.380	C 1157
	HE Elevada resistencia inicial	2.380	C 1157
	MS Moderada resistencia a los sulfatos	2.380	C 1157
	HS Alta resistencia a los sulfatos	2.380	C 1157
	MH Moderado calor de hidratación	2.380	C 1157
	LH Bajo calor de hidratación	2.380	C 1157
Si adicionalmente tiene R, indica baja reactividad con áridos álcali-reactivos			

Fuente: (INECYC, 2007)

El cemento hidráulico se puede comercializar envasado en fundas de papel, fundas de plástico, bolsas grandes (big bags), al granel o en la forma que acuerden comprador y vendedor en el contrato de pedido. El cemento en fundas debe cumplir con la norma NTE INEN 1902. (NEC, 2013)

Para las otras modalidades de envasado, se establecerán las condiciones en el contrato de compra-venta y la descripción mínima que debe contener con claridad, será: el tipo de cemento envasado, la masa neta en kilogramos contenida en el

recipiente, la fecha de envasado en planta, el nombre y marca del fabricante y la norma INEN bajo la cual se fabricó el producto. Igual información deberá consignarse en la guía de despacho que acompaña a los vehículos que transportan a granel. (NEC, 2013)

Los ensayos para verificación de cumplimiento de especificaciones deben ser realizados por laboratorios acreditados por el Organismo de Acreditación Ecuatoriano OAE. Las normas que contienen los procedimientos de ensayos a utilizar son:

NT INEN 153 (ASTM C 183): Cemento hidráulico. Muestreo y ensayos.

NTE INEN 156 (ASTM C 188): Cemento hidráulico. Determinación de la densidad.

NTE INEN 157 (ASTM C 187): Cemento hidráulico. Determinación de la consistencia normal. Método de Vicat.

NTE INEN 158 (ASTM C 191): Cemento hidráulico. Determinación del tiempo de fraguado. Método de Vicat.

NTE INEN 488 (ASTM C 109): Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista.

NTE INEN 957 (ASTM C 430): μm (No. 325) Determinación de la finura mediante el tamiz de 45 μm (micrómetros) (No. 325).

NTE INEN 202 (ASTM C 452). Cemento hidráulico. Determinación de la expansión potencial de morteros de cemento Portland expuestos a la acción de sulfatos.

NTE INEN 2503 (ASTM C 1012): Cemento hidráulico. Determinación del cambio de longitud en morteros expuestos a una solución de sulfato.

NTE INEN 2529 (ASTM C 1038): Cemento hidráulico. Expansión de barras de mortero de cemento hidráulico almacenadas en agua. (NEC, 2013)

2.2.2 Áridos Granulares.

Según indica (NEC, 2013):

El material granular forma el mayor volumen en la composición para la preparación de un hormigón. Sus propiedades físicas y mecánicas tiene un papel muy significativo

en el hormigón. Proviene de la desintegración de roca natural o de cantos rodados. (NEC, 2013)

Las normas y ensayos básicos que se deben realizar para determinar las propiedades físicas, mecánicas y químicas del material son: (pág. 31)

- NTE INEN 695 (ASTM D75): Áridos. Muestreo. (pág. 31)
- NTE INEN 696 (ASTM C136): Análisis granulométrico en áridos, fino y grueso. (pág. 31)
- NTE INEN 697 (ASTM C117): Determinación del material fino que pasa el tamiz con aberturas de 75 μm «micrómetros» (No. 200) mediante lavado. (pág. 31)
- NTE INEN 698 (ASTM C142): Determinación del contenido de terrones de arcilla y partículas desmenuzables. (pág. 31)
- NTE INEN 699 (ASTM C 123): Determinación de partículas livianas. (pág. 31)
- NTE INEN 855 (ASTM C40): Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón. (pág. 31)
- NTE INEN 856 (ASTM C128): Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino. (pág. 31)
- NTE INEN 857 (ASTM C127): Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso. (pág. 31)
- NTE INEN 859 (ASTM C70): Determinación de la humedad superficial en el árido fino. (pág. 32)
- NTE INEN 862 (ASTM C566): Determinación del contenido total de humedad. (pág. 32)
- NTE INEN 860 (ASTM C131): Determinación del valor de la degradación del árido grueso con partículas menores a 37.5 mm mediante el uso de la máquina de los ángeles. Para un hormigón de densidad normal, el valor de la degradación del árido grueso según este ensayo, no debe superar el 50 %. Si el material es una combinación de áridos de diferente origen, todos y cada uno de ellos, debe cumplir con esta exigencia. (pág. 32)
- NTE INEN 867 (ASTM C 227): Determinación de la reactividad alcalina potencial árido – cemento (método de la barra de mortero). (pág. 32)
- NTE INEN 872 (ASTM C 33): Áridos para hormigón. Requisitos. (pág. 32)

- NTE INEN 2 566 (ASTM C702): Reducción de muestras a tamaño de ensayo. (pág. 32)
- NTE INEN 863 (ASTM C88): Determinación de la solidez de los áridos mediante el uso de sulfato de sodio o de sulfato de magnesio. (pág. 32)

2.2.2.1 Árido grueso.

El agregado grueso o piedra son las partículas de forma alargada, aplanada, angular, áspera, rugosa, redondas o lisas, de manera que deben consistir en ser resistentes, duras, limpias para lograr la resistencia diseñada en el hormigón simple, es muy importante que esté libre de arcilla o de químicos que puedan afectar en la adherencia o hidratación de la pasta de cemento, para esto sea posible el agregado grueso debe cumplir con el requisito de granulometría según la ASTM C33- INEN 872. (PRUDENTE, 2019).

2.2.2.2 Árido fino.

El árido fino más adecuado es la arena natural de granos redondos, pero se puede emplear el polvo de piedra, producto de la trituración de las rocas, siempre que no tengan exceso de finos o partículas alargadas y laminares. (PRUDENTE, 2019)

2.2.3 Agua.

Es el componente que aporta a la hidratación del cemento, produciendo la pasta de material aglutinante que se mantendrá unida a los áridos formando el hormigón en estado fresco y próximo a endurecerse. El agua empleada en la mezcla debe de estar libre de contaminación y de sustancias perjudiciales, tales como: ácidos, álcalis, sales materiales orgánicas, aceites u otras sustancias. (ALEJANDRO, 2019).

Debe cumplir con lo estipulado en las especificaciones (NEC, 2013)-Capítulo cargas y materiales:

- El agua empleada en la mezcla debe estar libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materiales orgánicos u otras sustancias que puedan ser nocivas al hormigón o al acero de refuerzo. (pág. 18)

- El agua potable y casi cualquier agua natural que se pueda beber y que no tenga sabor u olor marcado, se pueden utilizar en la elaboración del hormigón. (pág. 18)
- El agua empleada en el mezclado de hormigón, debe cumplir con las disposiciones de la norma ASTM C 1602. (pág. 18)
- No serán utilizadas en la preparación de un hormigón, aguas servidas, aguas de desechos industriales, aguas blandas o de deshielo de montañas, aguas con elevadas concentraciones de sólidos disueltos o en suspensión. No se debe utilizar agua salada o de mar. (pág. 18)
- Las sales u otras sustancias nocivas que provengan de los áridos o de los aditivos, serán contabilizadas en la cantidad que pueda contener el agua de mezclado. Las impurezas excesivas en el agua de mezclado, pueden afectar no solo el tiempo de fraguado, la resistencia del hormigón y la estabilidad volumétrica (variación dimensional), sino que pueden provocar corrosión del acero de refuerzo y eflorescencias. (pág. 18)
- El agua utilizada para la mezcla, incluso el agua libre de los áridos, no debe contener cantidades perjudiciales de iones de cloruros. (pág. 18)
- El agua utilizada para el curado del hormigón, estará libre de cantidades perjudiciales de ácidos, álcalis, sales, materiales orgánicos u otras sustancias que son nocivas para el hormigón durante el fraguado o después del mismo. (pág. 18)

2.2.4 Aditivos y adiciones.

Los aditivos para concreto son productos, distintos del agua, que se incorporan a la mezcla de hormigón antes o durante su amasado con el fin de modificar algunas de sus características, propiedades o comportamiento por acción física, química o físico-química. (INGENIERO DE CAMINOS, 2010)

Los aditivos del hormigón se añaden a la mezcla con el fin de modificar sus propiedades de forma controlada. Estas propiedades son, entre otras, la modificación del tiempo de fraguado (aditivos acelentantes y retardadores de fraguado), el comportamiento frente a la helada, o el control de la fluidez de la mezcla del hormigón (aditivos reductores de agua o plastificantes). (INGENIERO DE CAMINOS, 2010)

También se pueden añadir pigmentos colorantes al hormigón para obtener determinados efectos estéticos.

La norma (ASTM C 494, 2008), propone la siguiente clasificación de aditivos de concreto:

- TIPO A : Reductor de agua (plastificantes)
- TIPO B : Retardador de fraguado
- TIPO C : Acelerador de fraguado
- TIPO D : Reductor de agua y retardador
- TIPO E : Reductor de agua y acelerador
- TIPO F : Reductor de agua de alto efecto
- TIPO G : Reductor de agua de alto efecto y retardador. (ASTM C 494, 2008)

Los aditivos deben cumplir con las siguientes especificaciones descritas en el (ACI 318, 2014):

- Aditivos para reducción de agua y modificación del tiempo de fraguado: ASTM C494
- Aditivos para producir concreto fluido: ASTM C1017
- Aditivos incorporadores de aire: ASTM C260
- Aditivos inhibidores de la corrosión inducida por el ión cloruro: ASTM C1582

2.3. Arcilla calzinada.

De acuerdo con las investigaciones relacionadas con el sucesor del Clinker por un material puzolánico cuyas características sean similares o mejores, una posible fuente son las arcillas calcinadas y su uso radica en la disponibilidad de materiales y mejoramiento de la durabilidad del concreto, razón por la cual, los esfuerzos se han centrado en las arcillas y su calcinación a temperaturas adecuadas en las cuales se garantice una completa reactividad, además, el uso de las arcillas calcinadas permitirán a las empresas fabricantes de cementos, disminuir sus emisiones de CO₂ a la atmósfera, ya que se requerirá menor gasto energético en su producción. (YANGUATIN, 2017)

El término arcilla no sólo tiene connotaciones mineralógicas, sino también de tamaño de partícula, en este sentido se consideran arcillas todas las fracciones con un

tamaño de grano inferior a 2 μm . Según esto todos los filosilicatos pueden considerarse verdaderas arcillas si se encuentran dentro de dicho rango de tamaños, incluso minerales no pertenecientes al grupo de los filosilicatos (cuarzo, feldespatos, etc.) pueden ser considerados partículas arcillosas cuando están incluidos en un sedimento arcilloso y sus tamaños no superan las 2 μm . (EMILIA, 2012).

2.4. Caliza

La caliza es una roca sedimentaria compuesta en un 90% por Carbonato de Calcio (CaCO_3), especialmente Calcita y Aragonita. En su versión más pura es de color blanco, pero mezclada con arcilla, hematita, óxido de hierro y cuarzo, adquiere tonalidades diferentes como marfil, marrón y gris azulado, entre otras. Su dureza es de 3 en la escala de Mohs. Produce efervescencia en ácido clorhídrico. (ROCAS Y MINERALES, 2018)

2.4.1 Proceso de formación de piedra caliza.

- **Proceso hídrico:** El carbonato de calcio se disuelve en aguas que contienen dióxido de carbono gaseoso disuelto, y se forma el bicarbonato de calcio. Pero en zonas donde el dióxido de carbono disuelto se expulsa directamente a la atmósfera, ocurre que aumenta la concentración de carbonato de calcio. Esto sucede cuando aguas cargadas de CO_2 llegan a la superficie del litoral, o cuando en continentes aguas subterráneas alcanzan la superficie, dando origen a las regiones calcáreas con piedras calizas, también llamadas Carso. (ROCAS Y MINERALES, 2018)
- **Proceso biológico:** Gran parte de los organismos construyen su esqueleto mineral con el carbonato de calcio y al morir, sus restos minerales se conforman en sedimentos que dan origen a las piedras calizas. Esto en regiones de las mareas tropicales donde el carbonato de calcio es un compuesto abundante en las aguas superficiales. (ROCAS Y MINERALES, 2018)

2.4.2 Usos de piedra caliza.

En la edificación o construcción, la caliza se usa como “piedra de dimensiones” (conocida como cantera), la cual es cortada en diferentes formas y tamaños para la

construcción de muros, monumentos, en forma de piedra partida se usa como balastro para ferrocarriles y como agregado para la formación del concreto (hormigón) y la construcción de caminos. (QUIMINET, 2011)

Los usos que tiene la caliza con fines de construcción son: los agregados para hormigón y como componentes del concreto, la mayor parte se hace con cemento, como los balastros para ferrocarriles cuyo tamaño comprende entre $\frac{3}{4}$ y $2\frac{1}{2}$ pulgadas de diámetro (7.6 a 63.5 milímetro) siendo el tamaño preferido para usarlo, con el fin de mantener las vías en buen estado. También se usa como piedra de relleno, los fragmentos de caliza irregulares de tamaños, que varían entre 15 y 30 centímetros, son utilizados en la construcción de los vertederos de las presas, en la construcción de muelles y para rellenar los puntos bajos en terrenos o carreteras. Para lograr los tamaños adecuados es importante pasar la piedra caliza por un proceso de trituración, el cual incluye tres etapas, en cada una de ellas el material es reducido cada vez más. En la reducción de los materiales intervienen distintas fuerzas tales como la compresión, el cizallamiento, la percusión y la atracción o abrasión. (QUIMINET, 2011)

La línea de producción de trituración de piedra es ampliamente utilizado para el fraccionamiento de piedra caliza dura, granito, basalto, grava, escoria metalúrgica o artificiales de arena. Además de ser empleado para generar la energía hidroeléctrica, material de construcción, la carretera, la ciudad de construcción; para realizar dicho proceso con una calidad profesional y economizando costos y trabajo es importante contar con una trituradora especializada en piedra caliza. (QUIMINET, 2011)

2.4.3 Tipos de piedra caliza.

- **Calizas nodulosas rojas.** Se originan en fondos marinos más alejados, por lo que poseen un alto valor comercial y científico. De ellas nacen la caliza roja Caravaca, roja Cehengí y roja Quipar. (ROCAS Y MINERALES, 2018)
- **Calizas fosilíferas.** Como su nombre lo indica, están compuestas por fósiles cementados. Entre ellas se hallan las calizas nummulíticas del Paleoceno y las arrecifales. (ROCAS Y MINERALES, 2018)
- **Lumaquelas o coquina.** Son calizas fosilíferas con predominio de conchas de bivalvos. Su grano es grueso. (ROCAS Y MINERALES, 2018)

- **Calizas lacustres.** De colores claros con tonos grisáceos, constituidas por restos de gasterópodos de agua dulce, turbaciones originadas por raíces o de oncolitos (producto del crecimiento de algas o cianobacterias). (ROCAS Y MINERALES, 2018)

2.5. Adiciones minerales puzolanicas.

2.5.1 Escorias de alto horno.

Las escorias de alto horno son materiales muy utilizados como adición activa para la elaboración de distintos cementos comerciales. Estos cementos siderúrgicos tienen algunas propiedades y características sensiblemente mejores que los cementos Portland ordinarios, tales como menor calor de hidratación, alta resistencia a los sulfates y al agua de mar, así como, una reducción muy apreciable a la reacción árido-álcalis. Sin embargo, y pese a ello existen aún muchas interrogantes en torno a estas escorias y fundamentalmente respecto a los factores ó parámetros que afectan a su comportamiento hidráulico. (PUERTAS, 1993).

Las escorias siderúrgicas de alto horno son el resultado de la combinación de la ganga acida "arcillosa" del material de hierro y de las cenizas de azufre del coque (igualmente de carácter ácido), con la cal y la magnesia (ambos compuestos básicos) de las calizas más o menos dolomíticas utilizadas como fundentes. (PUERTAS, 1993).

2.5.2 Humo de sílice.

El humo de sílice, también llamado microsílíce o sílice activa, es un producto inorgánico constituido por partículas esféricas de gran finura que se origina en la reducción del cuarzo con carbón, durante los procesos de obtención de silicio metal y ferrosilicio en hornos eléctricos de arco. El polvo se recoge en filtros de mangas, constando de partículas esféricas de SiO₂ amorfo en un porcentaje variable entre un 85 y un 98%. Se utiliza como adiciones para hormigón de alta resistencia. (ARANCIBIA, 2014).

2.5.2.1 Propiedades física del humo de sílice.

- El diámetro es cerca de 0.1 micrones a 0.2 micrones
- Superficie 30.000 m² / kg

- La densidad varía desde 150 hasta 700 kg / m³
- Cuando su densidad es 550 kg / m³ es el más adecuado como aditivo para concreto. (ARANCIBIA, 2014)

2.5.2.2 Composición química del humo de sílice.

- Contiene más de 90 por ciento de dióxido de silicio
- Otros componentes son el carbono, azufre y óxidos de aluminio, hierro, calcio, magnesio, sodio y potasio. (ARANCIBIA, 2014)

2.5.2.3 Propiedades del hormigón fresco con humo de sílice.

- Los humos de sílice demasiado causa del hormigón a ser pegajosa y por lo tanto reduce la viabilidad
- Además del humo de sílice hasta 15% en peso de cemento no da lugar a la pérdida de viabilidad
- Concretas humo de sílice, debido a la mayor superficie de partículas finas requiere un mayor contenido de agua para la viabilidad misma de concreto ordinario. (ARANCIBIA, 2014)

2.5.2.4 Propiedades del hormigón endurecido con humo de sílice.

Según indica (ARANCIBIA, 2014)

- **Una resistencia a la compresión:** Hay un marcado aumento de la resistencia a la compresión, con el uso de humo de sílice.
- **Resistencia a la flexión:** humo de sílice concreto tiene un aumento en resistencia a la flexión del 5° al 20° día . Al llenar los vacíos, humo de sílice densifica la mezcla, lo que aumenta la resistencia a la tracción del hormigón y por lo tanto hay un aumento de la resistencia a la flexión. (ARANCIBIA, 2014)

2.5.2.5 Ventajas de la adición de humo de sílice al hormigón.

- El humo de sílice mejora las propiedades del hormigón fresco y endurecido

- Concreto fresco hecho con humo de sílice es más coherente
 - Humo de sílice reduce la segregación y el sangrado
 - Humo de sílice mejora la durabilidad del hormigón
 - La falta de sangrado permite un proceso de acabado más eficiente.
- (ARANCIBIA, 2014)

2.5.3 Ceniza volante.

La adición de ceniza volante al concreto asegura muchos beneficios. Puede resaltar las propiedades del concreto fresco a través de una demanda reducida de agua para un revenimiento dado, una mejor bombeabilidad, una cohesión mejorada, una segregación reducida y un menor sangrado. También reduce la temperatura pico durante el curado, lo que ayuda a disminuir el agrietamiento térmico. En el concreto endurecido, la incorporación de la ceniza volante puede mejorar la durabilidad [tal como resistencia a la reacción álcali-sílice (RAS), al ataque de sulfatos, al ingreso de cloruros y a la corrosión], reduce la permeabilidad y contribuye a la ganancia de resistencia a largo plazo del concreto. Otros beneficios debidos a la utilización de ceniza volante son la disminución de los costos del concreto, el empleo provechoso de un material destinado al relleno de tierra, la reducción de la energía y contaminación al medio ambiente. Durante mucho tiempo se ha reconocido que la actividad de la ceniza volante mejora de manera importante si el tamaño efectivo de la partícula es menor. (IMCYC, 2001)

2.6. Puzolana.

Las puzolanas son materiales que contienen sílice reactiva y/o aluminio, que en sí mismas tienen poca o ninguna calidad aglomerante, pero mezcladas con cal en presencia de agua, fraguan y endurecen como un cemento. Asimismo, son ingredientes importantes en la producción de materiales alternativos al cemento Portland ordinario. (SOLUCIONES PRACTICAS, 2018)

Las puzolanas se pueden dividir en dos grupos: naturales, como cenizas volcánicas y diatomita; artificiales, como arcillas calcinadas, cenizas pulverizadas de carbón de piedra y cenizas de residuos agrícolas quemados, que se pueden usar

combinándolas con cal y/o cemento Portland ordinario. La puzolana, al ser mezclada con cal, mejora considerablemente las propiedades de los morteros, concretos enlucidos de cal, y puede utilizarse en una amplia gama de aplicaciones constructivas. También se puede mezclar con cemento Portland ordinario para reducir los costos y mejorar ciertas características de los concretos a base de cemento Portland, tales como resistencia a los sulfatos, trabajabilidad y resistencia fina. (SOLUCIONES PRACTICAS, 2018)

2.6.1 Composición y química de las puzolanas.

La composición química de la puzolana varía considerablemente, pero lo que sigue es una guía general.

Sílice + Aluminio + Óxido de Hierro no menor al 70%

Otros óxidos y álcalis no deben exceder más del 15%

Pérdida por ignición no más de 15%. (SOLUCIONES PRACTICAS, 2018)

La sílice es el más importante de los óxidos y no debe bajar de 40% del total. Algunas de las mejores puzolanas gozan de un contenido de sílice de más del 90%. El carbono se encuentra comúnmente en las puzolanas y su contenido debe ser mínimo, menos del 12% es lo recomendable. Las cenizas de plantas normalmente tienen más carbono, si no tenían suficiente oxígeno al quemarlas. Mientras más alto sea el contenido de carbono menor será la resistencia del cemento. (SOLUCIONES PRACTICAS, 2018)

2.6.2 Clases de puzolanas.

2.6.2.1 Arcillas calcinadas.

Las arcillas quemadas o calcinadas fueron las primeras puzolanas que se utilizaron, en forma de polvo proveniente de la molienda de ladrillos, alfarería y tejas, que se mezclaron con cal para producir cementos para morteros. El proceso existe hasta hoy y se conoce como "Surkhi" en la India, "Homra" en Egipto y "Semen Merah" en Indonesia. En términos generales, la mejor arcilla para las puzolanas es la plástica, que se emplea en la alfarería y en la fabricación de tejas. La temperatura óptima de calcinación es entre 700°C a 800°C con variaciones, dependiendo del tipo de arcilla. (SOLUCIONES PRACTICAS, 2018)

2.6.2.2 Cenizas volcánicas.

Los depósitos de cenizas volcánicas se encuentran donde hay o recientemente hubo actividad volcánica, por ejemplo en el Mediterráneo, en el África central y oriental, y en la región del Pacífico. La forma natural de estos depósitos varía bastante al igual que su reactividad puzolánica. Normalmente no requieren calcinarse de nuevo y, si se tiene la suerte de encontrarla ya en forma de polvo, no habrá necesidad de molerla. Las puzolanas volcánicas son explotadas comercialmente en varios países, por ejemplo: Alemania, Italia, Kenya, Rwanda, Vanuatu e Indonesia. (SOLUCIONES PRACTICAS, 2018)

2.6.2.3 Cenizas de residuos agrícolas.

La ceniza de cascarilla de arroz, ceniza del bagazo y la paja de la caña de azúcar, cuando son quemados convenientemente, se obtiene un residuo mineral rico en sílice y alúmina, cuya estructura depende de la temperatura de combustión (temperaturas entre 500 °C. – 700 °C.). (ORRALA, 2015)

2.6.3 Producción y procesamiento de la puzolana.

Algunas puzolanas requieren calcinación para hacerlas reactivas y los mejores resultados se logran cuando la temperatura es controlada de acuerdo con su requerimiento. En la mayoría de los casos, la calcinación puede hacerse en hornos simples y baratos hechos para el tipo de puzolana a utilizar. Los materiales calcinados para otros fines, aunque no sea a la temperatura óptima, pueden ser aprovechados si uno está dispuesto a aceptar una reactividad menor. El uso de ladrillos y cerámica desechados, de ceniza de cáscara de arroz de una caldera son algunos ejemplos. (SOLUCIONES PRACTICAS, 2018)

Si la puzolana no está en forma de polvo fino debemos molerla en molinos especiales. Mientras mas fina la puzolana tanto mas reactiva será. No obstante, uno tendrá que hacer un balance entre la fineza y el costo de molerla más. La puzolana y el cemento y/o cal deben ser mezclados al máximo en la misma molienda si es posible o en una mezcladora concretera. Si el mezclado fuera insuficiente, el cemento sería afectado en su resistencia y consistencia. (SOLUCIONES PRACTICAS, 2018)

La puzolanas pueden ser usadas satisfactoriamente mezclándolas con cal y/u cemento Portland ordinario; con este último es posible hasta en un 50%. Con cal una mezcla de 1:1 hasta 1:4 (cal:puzolana) sería aceptable, dependiendo de la calidad de la cal, de la puzolana y del uso que se piensa dar al concreto. Si se agrega 5%-10% de cemento Portland a la mezcla cal-puzolana se incrementará su resistencia y disminuirá el tiempo de fraguado. Más cemento Portland sería necesario, si la puzolana fuera de pobre calidad. Incorporando hasta 4 % de yeso se acelera el desarrollo de la resistencia en algunas mezclas cal-puzolánicas. (SOLUCIONES PRACTICAS, 2018)

2.7. Dosificación del concreto.

El método planteado por el A.C.I. es un método de dosificación para el diseño de mezclas de hormigón; se basa en medir los materiales (cemento, agua, grava y arena) en peso y volumen, y se diseña tanto para una mezcla en estado fresco como endurecido. (ROMERO, 2014)

La norma que rige los diseños de mezclas de concreto es la A.C.I 211.1 que a su vez, está basa en la norma ASTM C33, donde se hace referencia a las especificaciones granulométricas. Antes de diseñar la mezcla, se deben tener datos previos del tipo de obra que se va a construir y los tipos de materiales que se van a usar para construir la obra. (ROMERO, 2014)

De acuerdo con lo estipulado en el (ACI 318, 2014) numeral 26.4.2.1, la dosificación del hormigón deben cumplir los siguientes requisitos:

- Ser colocado fácilmente sin segregación dentro del encofrado y alrededor del refuerzo bajo las condiciones de colocación que vayan a emplearse. (pág. 486)
- Resistencia mínima especificada a la compresión del concreto f'_c . (pág. 486)
- Edad de ensayo para demostrar el cumplimiento con f'_c en caso de ser diferente a los 28 días. (pág. 486)
- El tamaño máximo nominal del agregado grueso no debe exceder al menor de (I), (II), y (III): (I) 1/5 de la menor separación entre los lados del encofrado; (II) 1/3 del espesor de las losas; (III) 3/4 del espaciamiento mínimo libre especificado entre las barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de

barras, refuerzo pre esforzado, tendones individuales, paquetes de tendones, o ductos. Estas limitaciones se pueden omitir si a juicio del profesional facultado para diseñar, la trabajabilidad y los métodos de compactación son tales que el concreto se puede colocar sin la formación de hormigueros o vacíos. (pág. 487)

- Conformidad con los requisitos del ensayo de resistencia para probetas con curado estándar. (pág. 487)

La dosificación de la mezcla de concreto debe establecerse de acuerdo con el Artículo 4.2.3 del ACI 301 o por medio de un método alternativo aprobado por el profesional facultado para diseñar. Los métodos alternativos se basan en la probabilidad de cumplir con los requisitos de resistencia de los ensayos de aceptación de las probetas con curado estándar que cumplen o exceden la probabilidad asociada con el método del Artículo 4.2.3 del ACI 301. Cuando se usa el Artículo 4.2.3 del ACI 301, el registro de los ensayos de resistencia usados para establecer y documentar las dosificaciones de las mezclas de concreto no debe tener más de 24 meses de edad. (ACI 318, 2014)

Los materiales del concreto empleado en el proyecto deben corresponder a los que se ha tomado como base para desarrollar la dosificación de la mezcla de concreto. Cuando se empleen diferentes mezclas de concreto para distintas partes del proyecto, cada una de las mezclas debe cumplir con los requisitos establecidos en los documentos de construcción. (ACI 318, 2014)

2.8 Mortero.

El mortero hidráulico es un material formado por la mezcla de cemento, agua y arena. El mortero de cemento es ampliamente utilizado para enlucir paredes, masillar pisos, pegar bloques, fundir dinteles y otros elementos pequeños. Gracias a su estado inicial líquido, se lo puede moldear en distintas formas y puede presentar acabados diversos como paletado, escobillado, lavado, champeado, entre otros. (Modenese, 2016)

2.8.1 Dosificación del mortero.

La dosificación recomendada de cada componente varía según el productor y según el uso del mortero. La siguiente tabla indica una proporción estándar para fabricar morteros: (Modenese, 2016)

Tabla 2: Dosificación de mortero.

DOSIFICACIÓN RECOMENDADA PARA FABRICAR MORTERO DE CEMENTO			
TIPO DE MORTERO	CEMENTO [quintal]	ARENA [parihuela*]	AGUA [litros]
Enlucidos	1	6 (arena fina)	35
Masillados	1	3 (arena fina)	27
Juntas (mampostería de ladrillo o bloque liviano)	1	4 (arena mediana)	30
Juntas (mampostería de piedra o bloque macizo)	1	3 (arena mediana)	27
*1 parihuela (30x30x30 cm) = 0.027 m ³			

Fuente: (Modenese, 2016)

2.8.2 Tipos de mortero.

“Los tipos de morteros se definen en relación al conglomerante que se utiliza. Para cada caso se debe analizar qué proporciones son las adecuadas y cuál es el uso frecuente para cada uno de ellos” (MUNDO CONSTRUCTOR, 2019).

Morteros de cemento y arena:

Según indica (MUNDO CONSTRUCTOR, 2019). El mortero de cemento se obtiene al mezclar arena y agua con cemento, que actúa como conglomerante. Se utiliza para:

- Enlucidos, zócalos y corrido de cornisas. Se mezcla una parte de cemento por dos de arena.
- Bruñidos y revoques impermeables. Se utiliza una parte de cemento y una de arena.
- Enlucidos de pavimento, enfoscados, bóvedas tabicadas y muros muy cargados. Se usa una parte de cemento por tres de arena.
- Bóvedas de escaleras o tabiques de rasilla. Se utiliza una parte de cemento por cuatro de arena.

- Muros cargados, enfoscados o fábrica de ladrillos. Se utiliza un tipo de mortero más ordinario, de una parte de cemento por cinco de arena.
- Morteros más pobres. Se utiliza siempre una parte de cemento por 6, 8 o 10 partes de arena, según se trate de fábricas cargadas, muros sin carga y rellenos para solados, respectivamente. (Modenese, 2016)

Morteros de cal y arena:

Los morteros de cal, formados por cal, arena y agua, se caracterizan por su gran plasticidad, haciendo posible la realización de una gran variedad de trabajos artesanales. Mediante la correcta aplicación de los morteros de cal, se consiguen terminaciones más flexibles, resistentes y duraderas, manteniendo la estética original. Usándolo como revoque, es mucho más barato que el enyesado y también mucho más rápido y simple de aplicar, pero su superficie – una vez acabada -, aunque queda lisa, presenta cierta granulosidad. (MUNDO CONSTRUCTOR, 2019)

Los morteros de cal y arena se usan para:

- Revoques. Se usa una parte de cal por dos de arena.
- Enlucidos. Se utiliza una parte de cal por una de arena.
- Muros de ladrillos. Se mezcla una parte de cal y tres de arena.
- Muros de mampostería. Se usa una parte de cal por cuatro de arena. (MUNDO CONSTRUCTOR, 2019)

Morteros de cemento y cal:

Los morteros de cal, preparados solamente con cal son más fáciles de usar y más flexibles pues se endurecen con más lentitud. Una vez secos, no son impermeables. Para obtener un mortero fácil de trabajar y con una buena resistencia, hay que mezclar cal y cemento en proporciones variables según sea su uso. Este tipo de mortero fue muy popular, sin embargo, en la actualidad su uso es más desconocido y solo renace en obras de restauración. (MUNDO CONSTRUCTOR, 2019)

Los morteros de cemento y cal se usan en:

- Muros cargados e impermeables. Se utiliza una parte de cemento, una de cal y 6 de agua.
- Muros poco cargados. Se usa una de cemento, una de cal y 8 de agua.
- Cimientos. Se mezcla una de cemento, una de cal y 10 de agua.
- Revoques impermeables. Se utiliza cuatro partes de cemento, una de cal y 12 de agua. (MUNDO CONSTRUCTOR, 2019)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Generalidades .

En el presente capítulo se detallan las características de los materiales usados para el proceso de la elaboración de las muestra de hormigón que serán analizados posteriormente. Los espécimen de diferentes combinaciones de aditivos y diferentes porcentajes que se usaran serán comparados con una muestra patrón de 35MPa que definirá si el espécimen analizado es satisfactorio.

A su vez se muestran los ensayos realizados a los materiales usados que deben cumplir con las normas estipuladas y la dosificación necesaria para obtener un hormigón óptimo con la inclusión de aditivos.

3.2 Diseño experimental.

Se realizaron 6 tipos de diseño de hormigón con diferentes tipos de cemento, analizando su comportamiento con la adición de dos aditivos Sikaplast 9100 CU(AL-044-2) y Sikaplast 9100 CU(AL-044-3):

El 1er diseño muestra patrón (100% cemento GU-Atenas):

- a. 100% de cemento GU + A.grueso + A.fino + Sikaplast 9100 CU(AL-044-2)
- b. 100% de cemento GU + A.grueso + A.fino + Sikaplast 9100 CU(AL-044-3)

El 2do diseño, 15% LC2 + 85% del peso del cemento de la muestra patrón:

- a. 15% de LC2 + A.grueso + A.fino + Sikaplast 9100 CU(AL-044-2)
- b. 15% de LC2 + A.grueso + A.fino + Sikaplast 9100 CU(AL-044-3)

El 3er diseño, 30% LC2 + 70% del peso de cemento de la muestra patrón:

- a. 30% de LC2 + A.grueso + A.fino + Sikaplast 9100 CU(AL-044-2)
- b. 30% de LC2 + A.grueso + A.fino + Sikaplast 9100 CU(AL-044-3)

El 4to diseño, 45% LC2 + 55% del peso de cemento de la muestra patrón:

- a. 45% de LC2 + A.grueso + A.fino + Sikaplast 9100 CU(AL-044-2)
- b. 45% de LC2 + A.grueso + A.fino + Sikaplast 9100 CU(AL-044-3)

El 5to diseño, 100% LC3 del peso de cemento de la muestra patrón:

- a. 100% de LC3 + A.grueso + A.fino + Sikaplast 9100 CU(AL-044-2)
- b. 100% de LC3 + A.grueso + A.fino + Sikaplast 9100 CU(AL-044-3)

El 6to diseño, 10% humo de sílice + 90% del peso de cemento de la muestra patrón:

- a. 10% de humo de sílice + 90% cemento GU + A.grueso + A.fino + Sikaplast 9100 CU(AL-044-2)
- b. 10% de humo de sílice + 90% cemento GU + A.grueso + A.fino + Sikaplast 9100 CU(AL-044-3)

Estas combinaciones serán usadas en la mezcla para mortero, eliminado el agregado grueso, dosificando sus materiales de acuerdo a la normativa **NTE INEN 0247(ASTM C207-C476)** para la muestra patrón.

A continuación se detalla en la tabla 3, las mezclas descritas:

C(GU): Cemento Atenas tipo GU

HS: Humo de sílice

LC2: Arcilla cacinada, caliza y yeso

LC3: Arcilla calcinada, caliza, yeso y Clinker

Tabla 3: Combinaciones de hormigón.

MUESTRAS	C(GU)	LC2	LC3	HS
M1 C(GU)	100%	0%	0%	0%
M2-15%LC2	85%	15%	0%	0%
M3-30%LC2	70%	30%	0%	0%
M4-45%LC2	55%	45%	0%	0%
M5-LC3	0%	0%	100%	0%
M6-10%HS	90%	0%	0%	10%

Fuente: Labanda - Columba

3.3 Materiales utilizados en las seis dosificaciones propuestas.

En esta investigación se utilizaron tres tipos de cemento GU, LC3, LC2

3.3.1 Cemento Atenas tipo GU.

El cemento Atenas tipo GU utilizados para construcción en general, es fabricado bajo la normativa **ASTM C1157/INEN 2380**, proporcionado por la empresa Graiman, y se lo utilizó en todas las muestras de este trabajo de investigación.

Figura 1 : Cemento Atenas



Fuente: Labanda-Rodríguez

3.3.2 Cemento LC2.

Existe otra combinación que se denomina LC2, que es una formulación de arcilla calcinada, caliza y yeso que como no tiene clínquer no se hidrata, puede mojarse y ser almacenada durante uno o dos años y que cuando se combina con cemento Portland reacciona para formar el cemento LC3. (ASOCEM, 2018)

Figura 2: Cemento LC2



Fuente: Labanda-Rodríguez

3.3.3 Cemento LC3.

LC3 siglas del Limestone Calcinado Clay Cement (cemento de arcilla calcinada + yeso), es el nuevo tipo de cemento que propone una alternativa para la sustentabilidad ambiental, en su elaboración se emplea arcilla calcinada, este material se puede encontrar de manera abundante, es un cemento ecológico que contiene menos Clínter y utiliza menor consumo de combustible en su elaboración, por tanto se reducen las emisiones de CO₂ hasta en un 30%. Para producirlo no se requiere de grandes modificaciones en las plantas de cemento. (ASOCEM, 2018)

Figura 3: Cemento LC3



Fuente: Labanda-Rodríguez

3.3.4 Agregado Grueso.

Para el respectivo trabajo se uso como agregado grueso “cantos rodados” provenientes del proveedor Servicios y Materiales “Vintimilla” del Rio Paute, de la ciudad de Cuenca. El tamaño máximo nominal fue de $\frac{3}{4}$ ”, donde se realizaron los ensayos correspondientes descritos en la norma y se pudo constatar que el material cumple con las especificaciones correspondiente.

Figura 4: Agregado Grueso



Fuente: Labanda - Rodríguez

Tabla 4: Requisitos de agregado grueso.

Tamaño nominal	Cantidades mas finas que cada tamiz de laboratorio (aberturas cuadradas), % en peso												
	4" 100 mm	3½" 90 mm	3" 75 mm	2½" 63 mm	2" 50 mm	1½" 37.5 mm	1" 25.0 mm	¾" 19.0 mm	½" 12.5 mm	⅜" 9.5 mm	No. 4 4.75 mm	No. 8 2.36 mm	No. 16 1.18 mm
3½" a 1½"	100	100	-	25-60	-	0-15	-	0-5					
2½" a 1½"	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5					
2" a No. 4	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0-5		
1½" a No. 4	-	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	0-5		
1" a ¾"	-	-	-	-	-	100	90-100	40-85	10-40	0-15	0-5		
1" a No. 4	-	-	-	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5	
¾" a No. 4	-	-	-	-	-	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5	
2" a 1"	-	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5				
1½" a ¾"	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	-	0-5			
1 a ½"	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-10	0-5			
¾" a ⅜"	-	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	0-5		
1½" a No. 4	-	-	-	-	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5	
¾" a No. 8	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85-100	10-30	0-10	0-5

Fuente: (ASTM C-33, 2003)

3.3.5 Agregado Fino.

Como agregado fino se decido utilizar el material del proveedor Servicios y Materiales “Vintimilla” del Rio Paute, de la ciudad de Cuenca, donde se realizaron los respectivos ensayos cumpliendo con los requisitos en las normas estipuladas INEN.

Tabla 5: Requisitos de agregado fino

Tamiz Nro.	Limite superior (%)	limite Inferior (%)
3"	100.0	100.0
2"	100.0	100.0
1 3/4"	100.0	100.0
1 1/2"	100.0	100.0
1 1/4"	100.0	100.0
1"	100.0	100.0
3/4"	100.0	100.0
1/2"	100.0	100.0
3/8"	100.0	100.0
No.4	100.0	95.0
No.8	100.0	80.0
No.16	85.0	50.0
No.30	60.0	25.0
No.50	30.0	5.0
No.100	10.0	0.0
No.200	0.0	0.0

Fuente: (ASTM C-33, 2003)

Figura 5: Agregado Fino



Fuente: Labanda - Rodríguez

3.3.6 Agua.

El agua usada para las respectivas mezclas de hormigón fue potable proveniente de la empresa Aguapen y cumplió con lo estipulado en la normativa ASTM C 1602.

3.3.7 Aditivos.

Los aditivos empleados para las respectivas elaboración de espécimen fueron los aditivos SikaPlast 9100 CU(AL-0044-2), SikaPlast 9100 CU(AL-0044-3). (pág. 1)

Aditivo reductor de agua de rango medio de alta eficiencia y con permanencia de trabajabilidad. Libres de cloruros. Se utiliza principalmente en la elaboración de concretos para todo tipo de estructuras, especialmente en aquellos que se requieren optimizar el contenido de cemento por metro cúbico y requieren de trabajabilidad extendida. (García, 2017)

Ventajas

- Excelente reducción de agua sin impactar las características del concreto fresco. (García, 2017)
- Permite obtener concretos con trabajabilidad extendida. (García, 2017)
- Utilizado en concretos que requiere un corto fraguado. (García, 2017)
- Aumenta las resistencias mecánicas. (García, 2017)
- El modo de empleo que sugieren el fabricante es agregando este aditivo en el agua de la mezcla durante la preparación del hormigón. También se puede

agregar SiKaPlast 9100 CU al hormigón previamente amasado, ampliando el tiempo de mezclado medio minuto por cada metro cúbico de hormigón. (García, 2017)

Caracterización Aditivos químico SIKAPlast 9100 CU

Este aditivo, perteneciente a la firma SIKA, fue producido especialmente para las condiciones tropicales de Cuba. Se trata de un aditivo superfluidificante de base acrílica para hormigones de alta calidad, impermeables y de alta durabilidad y resistencias mecánicas, con pérdidas de la laborabilidad altamente reducidas. (Hernández, 2015)

Figura 6: Aditivo SikaPlast 9100 CU(AL-0044-2); SikaPlast 9100 CU(AL-0044-3)



Fuente: Labanda – Rodriguez

3.4 Ensayos realizados en los material de hormigón.

3.4.1 Granulometría General.

Normativa (NTE INEN-696, 2011).

Este ensayo determinan la graduación de las partículas del árido y se lo realizó de acuerdo a la norma NTE INEN 696 que establece. (pág. 2)

Equipos

- Balanzas.- Las balanzas utilizadas en el ensayo del árido fino y grueso deben tener una legibilidad y exactitud como la que se indica a continuación: (pág. 2)
- Para árido fino, debe ser legible hasta 0,1 g y tener una precisión de 0,1 g o del 0,1% de la carga de ensayo, el que sea mayor, en cualquier punto, dentro del rango de uso. (pág. 2)
- Para árido grueso o mezclas de áridos fino y grueso, debe ser legible y tener una precisión de 0,5 g o 0,1% de la carga de ensayo, el que sea mayor, en cualquier punto dentro del rango de uso. (pág. 2)
- Tamices.- La tela del tamiz debe ser montada sobre marcos cuya construcción evite pérdidas de material durante el tamizado. La tela y los marcos del tamiz normalizado deben cumplir con los requisitos de la NTE INEN 154. Los marcos de tamiz no normalizados deben cumplir con los requisitos de la NTE INEN 154 que sean aplicables. (pág. 2)
- Agitador de tamices mecánico.- Un dispositivo de tamizado mecánico, si se utiliza, debe crear un movimiento en los tamices que produzca que las partículas reboten y caigan, u otro tipo de movimiento que presente diferente orientación a la superficie de tamizado. (pág. 2)
- Horno.- Un horno de tamaño adecuado, capaz de mantener una temperatura uniforme de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. (pág. 2)

Procedimiento.

1. Secar la muestra hasta masa constante a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. (pág. 3)
2. Seleccionar los tamices necesarios y adecuados que cubran los tamaños de las partículas del material a ensayarse, con el propósito de obtener la información requerida en las especificaciones. Utilizar tantos tamices adicionales como se desee o como sean necesarios para proporcionar información adicional, tal como el módulo de finura o para regular la cantidad de material sobre un tamíz. Ordenar los tamices en forma

decreciente según el tamaño de su abertura, de arriba a abajo y colocar la muestra en el tamiz superior. Agitar los tamices manualmente o por medio de aparatos mecánicos durante un período suficiente, ya sea establecido por el ensayo o también controlado por medio de la masa de la muestra de ensayo, de tal forma que cumpla con el criterio de conformidad o de tamizado. (pág. 3)

3. Limitar la cantidad de material sobre un determinado tamiz de manera que todas las partículas tengan oportunidad de llegar a las aberturas del tamiz algunas veces durante la operación de tamizado. Para tamices con aberturas más pequeñas que 4,75 mm (No. 4), la cantidad que se retiene sobre cualquier tamiz al finalizar la operación de tamizado no debe exceder 7 kg/m² en la superficie de tamizado (ver nota 5). Para tamices con aberturas de 4,75 mm (No. 4) y más grandes, la cantidad retenida en kg no debe exceder del producto de 2,5 X (la abertura del tamiz, en mm y X (el área efectiva de tamizado, en m²)). Esta cantidad se muestra en la tabla 2, para cinco diferentes dimensiones del marco de tamiz entre circulares, cuadrados y rectangulares, los que son de mayor uso. En ningún caso la cantidad retenida debe ser tan grande como para causar una deformación permanente de la tela de tamiz. (pág. 4)
4. Evitar una sobrecarga de material sobre un tamiz individual, mediante alguno de los siguientes métodos: (pág. 4)
 - a. Insertar un tamiz adicional con un tamaño intermedio de abertura entre el tamiz que puede estar sobrecargado y el tamiz inmediatamente superior al tamiz en el conjunto original de tamices. (pág. 4)
 - b. Dividir la muestra en dos o más porciones, tamizando cada porción individualmente. Combinar las masas de las varias porciones retenidas sobre un tamiz específico antes de calcular el porcentaje de la muestra en el tamiz. (pág. 4)
 - c. Utilizar tamices con un tamaño de marco más grande y que proporcione un área mayor de tamizado. (pág. 4)
5. Continuar tamizando por un período suficiente de forma tal que, después de la finalización, no más del 1% en masa del material retenido en cualquier tamiz individual pase el tamiz durante 1 min de tamizado

manual continuo realizado de la siguiente manera: sostener el tamiz individual, provisto con una bandeja inferior y una tapa, en una posición ligeramente inclinada en una mano. Golpear un lado del tamiz fuertemente y con un movimiento hacia arriba contra la base de la otra mano, a razón de aproximadamente 150 veces por minuto, girar el tamiz, aproximadamente una sexta parte de una revolución, en intervalos de alrededor de 25 golpes. En la determinación de la efectividad del tamizado para tamaños mayores que el tamiz de 4,75 mm (No. 4), limitar el material sobre el tamiz a una sola capa de partículas. Si el tamaño de los tamices de ensayo montados hace que el movimiento descrito de tamizado no sea práctico, utilizar tamices con diámetro de 203 mm para verificar la efectividad del tamizado. (pág. 5)

6. Evitar la sobrecarga de los tamices individuales para el caso de mezclas de áridos grueso y fino. (pág. 5) .
7. A menos que se utilice un agitador de tamices mecánico, tamizar a mano las partículas mayores de 75 mm mediante la determinación de la abertura más pequeña de tamiz por la cual puede pasar cada partícula. Iniciar el ensayo con el tamiz más pequeño a ser utilizado. Girar las partículas, si es necesario, a fin de determinar si van a pasar a través de una abertura particular, sin embargo, no se debe forzar a las partículas para pasar a través de una abertura. (pág. 5)
8. Determinar las masas de cada incremento de tamaño en una balanza que cumpla con los requisitos especificados, con una precisión de 0,1% de la masa total de la muestra seca original. La masa total del material después del tamizado debe ser similar a la masa original de la muestra colocada sobre los tamices. Si las cantidades difieren en más del 0,3%, respecto a la masa de la muestra seca original, los resultados no deben ser utilizados con fines de aceptación. (pág. 5)
9. Si se ha ensayado previamente la muestra por el método de ensayo de la NTE INEN 697, agregar la masa más fina que el tamiz de 75 μ m (No. 200) determinado por ese método de ensayo, a la masa que pasa por el tamiz de 75 μ m (No. 200) en el tamizado en seco de la misma muestra por este método de ensayo. (pág. 5)

Resultados :

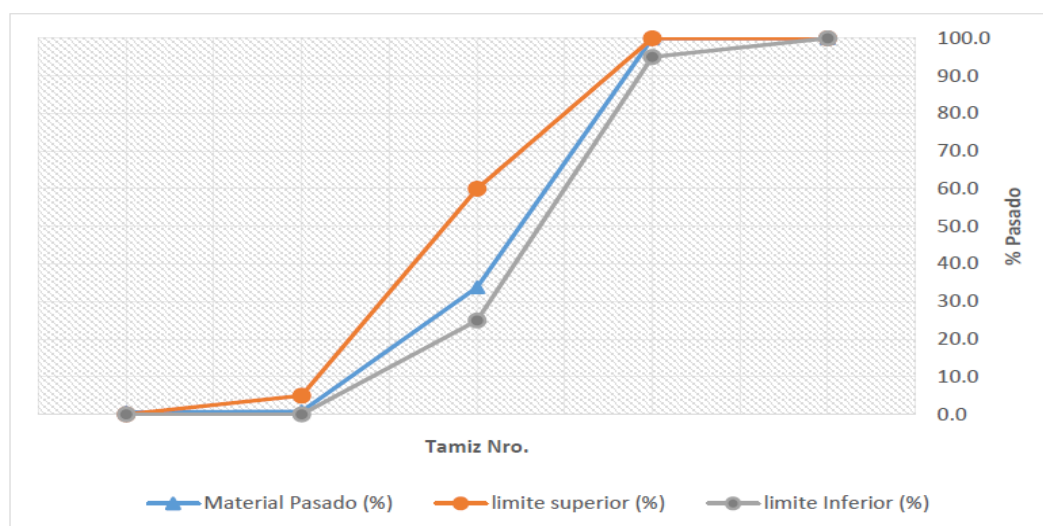
Agredado Grueso

Tabla 6: Análisis granulométrico de árido grueso.

Análisis granulométrico del árido grueso						limite superior (%)	limite inferior (%)
Número de Tamaño		67	Tamaño máximo nominal (mm)		19.05		
Tamiz Nro.	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida acumulada (g)	Retenido acumulado (%)	Pasa (%)		
3"	76.2	0	0	0.00%	100.00%	100.0	100.0
2"	50.8	0	0	0.00%	100.00%	100.0	100.0
1 3/4"	45.3	0	0	0.00%	100.00%	100.0	100.0
1 1/2"	38.1	0	0	0.00%	100.00%	100.0	100.0
1 1/4"	37.5	0	0	0.00%	100.00%	100.0	100.0
1"	25.4	0	0	0.00%	100.00%	100.0	95.0
3/4"	19.05	619	681	11.40%	88.60%	100.0	95.0
1/2"	12.7	4181	3956	66.25%	33.75%	60.0	25.0
3/8"	9.5	1303	5557	93.06%	6.94%	60.0	0.0
No.4	4.75	742	5905	98.89%	1.11%	10.0	0.0
No.8	2.36	43.83	5923.5	99.20%	0.80%	5.0	0.0
No.16	1.18	41.57	5934.9	99.39%	0.61%	0.0	0.0
No.30	0.6	21.76	5945.3	99.56%	0.44%	0.0	0.0
No.50	0.3	17.18	5955.2	99.73%	0.27%	0.0	0.0
No.100	0.15	10.36	5963.2	99.86%	0.14%	0.0	0.0
No.200	0.07	10.1	5970.8	99.99%	0.0%	0.0	0.0
Fondo-Pasa		0.7	8.09	5971.5	100.00%		
Masa antes del tamizado (g): B					7000		
Masa después del tamizado (g): A					6997.89		
E=	0.03	Variación en masa de		$E=(B-A)/B*100$			

Fuente: Labanda – Rodríguez

Gráfico 1: Curva Granulométrica Agregado Grueso



Fuente: Labanda - Rodríguez

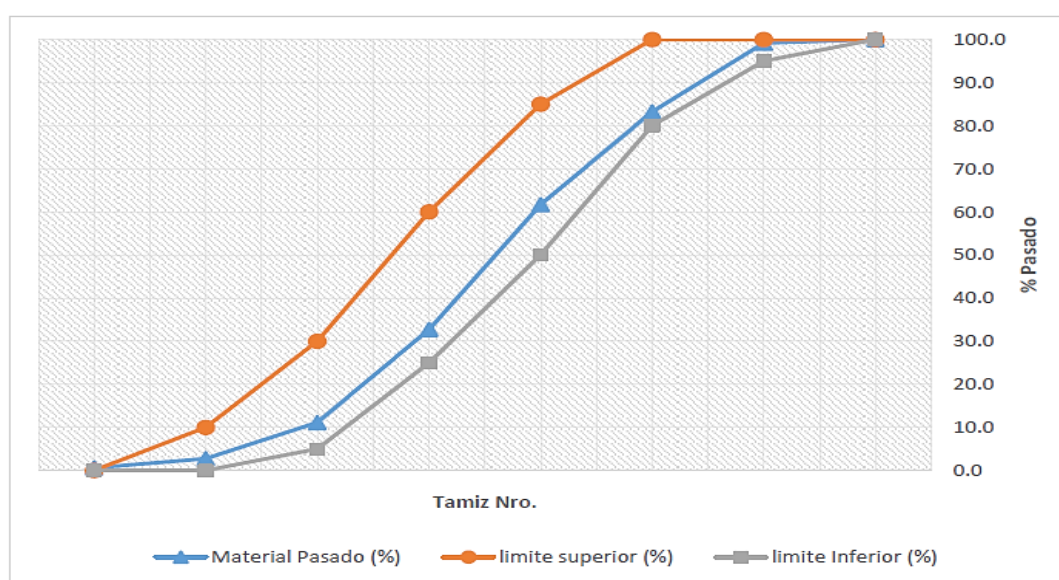
Agredado Fino.

Tabla 7: Análisis granulométrico de árido fino.

Análisis granulométrico del árido fino ÁRIDO FINO							
Tamiz Nro.	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida acumulada (g)	Retenido acumulado (%)	Pasa (%)	limite superior (%)	limite Inferior (%)
3/4"	19.05	0	0	0.00%	100%	100	100
1/2"	12.7	0	0	0.00%	100%	100	100
3/8"	9.5	0	0	0.00%	100%	100	100
No.4	4.75	7,2	7,2	0,24	99.20%	100	95
No.8	2.36	436,2	443,4	14,78	83.20%	100	80
No.16	1.18	695,4	1138,8	37,96	61.70%	85	50
No.30	0.6	768,6	1907,4	63,58	32.70%	60	25
No.50	0.3	779,3	2686,7	89,56	11.10%	30	5
No.100	0.15	242,6	2929,3	97,65	2.70%	10	0
No.200	0.07	55,6	2984,9	99,50	0.60%	0	0
Fondo-Pasa		14,9	2999,8	100,00	0,00		
Masa antes del tamizado (g): B					3000		
Masa después del tamizado (g): A					2999,8		
E=	0.01	Variación en masa de ensayo		$E=(B-A)/B*100$			
MF=	3.0	Módulo de Finura		$MF=[\Sigma(\% \text{ Retenido})_{\text{serie Tyler}}]/100$			

Fuente: Labanda – Rodríguez

Gráfico 2: Curva Granulométrica Agregado Fino



Fuente: Labanda - Rodríguez

3.4.2 Determinación de contenido total de humedad.

Según indica la norma : (NTE INEN 862, 2011).

Este método de ensayo sirve para determinar el porcentaje de humedad evaporable por secado en una muestra de áridos, tanto el correspondiente a la humedad superficial, como la humedad contenida en los poros del árido. (pág. 1)

Equipos

- Balanza. - Una balanza precisa, legible y con sensibilidad de 0,1% de la carga de ensayo en cualquier punto dentro del rango de uso. Dentro de un intervalo igual al 10% de la capacidad de la balanza que se utiliza para determinar la masa, la indicación de carga debe tener una precisión de 0,1% de la diferencia entre las masas. (pág. 1)
- Fuente de calor. - Un horno ventilado capaz de mantener la temperatura, alrededor de la muestra, a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Cuando no es necesario un control estricto de la temperatura, se pueden utilizar otras fuentes adecuadas de calor como: planchas calientes, eléctricas o a gas; lámparas eléctricas de calor o un horno de microondas ventilado. (pág. 2)
- Recipiente para la muestra. - Un recipiente de material que no le afecte el calor, de volumen suficiente para contener la muestra sin peligro de derrame y con una forma tal que la profundidad de la muestra no exceda en un quinto la dimensión lateral menor. (pág. 2)
- Agitador. - Una cuchara o espátula de metal de tamaño conveniente. (pág. 2)

Procedimiento:

- Determinar la masa de la muestra con una aproximación de 0,1%. (pág. 2)
- Secar la muestra completamente en el recipiente por medio de la fuente de calor seleccionada, cuidando no perder partículas. Un calentamiento muy rápido puede causar que algunas partículas

exploten, resultando en una pérdida de las mismas. Usar un horno de temperatura controlada, cuando el calor excesivo pueda alterar las propiedades del árido o cuando se requiera una medición más precisa. Si se utiliza una fuente de calor diferente al horno de temperatura controlada, agitar la muestra durante el secado para acelerar la operación y evitar el sobrecalentamiento localizado. (pág. 2)

- Cuando se usa una plancha caliente, el secado puede ser acelerado con el siguiente procedimiento: añadir suficiente alcohol anhidro desnaturalizado, para cubrir la muestra húmeda. Agitar y luego permitir que el material en suspensión se asiente. Decantar la mayor cantidad de alcohol posible, sin perder ninguna partícula de la muestra. Encender el resto de alcohol y dejar que se queme durante el secado sobre la plancha caliente. (pág. 3)
- La muestra está completamente seca cuando un mayor tiempo de calor ocasiona, o puede ocasionar, una pérdida adicional de la masa menor al 0,1%. (pág. 3)
- Determinar la masa de la muestra seca, con una aproximación de 0,1%, luego de que se haya enfriado lo suficiente como para no dañar la balanza. (pág. 3)

Resultados:

Agregado Grueso.

Tabla 8: Determinación de contenido total de humedad árido grueso

Determinación de contenido total de humedad del árido grueso				Muestra 1	Muestra 2
Masa de la muestra húmeda (g): A				3500	3500
Masa de la muestra seca la horno (g): B				3441	3437
Humedad total (%): H	$H = (A - B) / B * 100$			1.71	1.83
H=	1.8	%	Humedad total		

Fuente: Labanda - Rodríguez

Agregado Fino.

Tabla 9: Determinación de contenido total de humedad árido Fino

Determinación de contenido total de humedad del árido fino				Muestra 1	Muestra 2
Masa de la muestra húmeda (g): A				500	500
Masa de la muestra seca la horno (g): B				452.2	10.67
Humedad total (%): H	$H = (A - B) / B * 100$			10.57	10.67
H=	10.62	%	Humedad total		

Fuente: Labanda – Rodríguez

3.4.3 Determinación de la densidad y absorción de los aridos.

3.4.3.1 Árido grueso- NTE INEN 857.

Según indica: (NTE INEN 857, 2010)

Este método de ensayo se aplica para la determinación de la densidad promedio en una muestra de árido grueso (sin incluir el volumen de vacíos entre partículas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del árido. (pág. 1)

Equipos

- Balanza. - Equipo para determinar masa, que sea sensible y legible, con una aproximación de 0,05% de la masa de la muestra en cualquier punto dentro del rango de uso para este ensayo, o 0,5 g, la que sea mayor. La balanza debe estar equipada con un dispositivo apropiado para suspender el recipiente para la muestra en agua, desde el centro de la plataforma o recipiente de la balanza. (pág. 3)
- Recipiente para la muestra: Canasta de alambre con una abertura de 3,35 mm (No.6) o de malla más fina o un cubo de ancho y altura aproximadamente iguales, con una capacidad de 4 litros a 7 litros, para un árido con tamaño máximo nominal de 37,5 mm o menor, o una canasta más grande, según sea necesario, para el ensayo de áridos de mayor tamaño máximo. El recipiente debe ser construido de tal forma que evite retener aire cuando esté sumergido. (pág. 3)

- Tanque de agua. - Tanque hermético, dentro del cual se coloca el recipiente para la muestra mientras se suspende bajo la balanza. (pág. 3)
- Tamices. - Tamiz de 4,75 mm (No. 4) o de otros tamaños según sean necesarios, que cumplan con los requisitos de la NTE INEN 154. (pág. 3)
- Horno. - De tamaño suficiente, capaz de mantener una temperatura uniforme de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. (pág. 3)

Procedimiento:

1. Secar la muestra en el horno a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, hasta conseguir una masa constante. Enfriar la muestra al aire, a temperatura ambiente, entre 1 hora a 3 horas, para muestras de ensayo de tamaño máximo nominal de hasta 37,5 mm o por más tiempo para tamaños más grandes, hasta que el árido se haya enfriado a una temperatura que sea confortable para su manipulación (aproximadamente $50\text{ }^{\circ}\text{C}$); seguidamente sumergir el árido en agua a temperatura ambiente por un período de $24\text{ h} \pm 4\text{ h}$. (pág. 4)
2. Cuando se utilizan los valores de absorción y densidad relativa (gravedad específica) en la dosificación de mezclas de hormigón, en las que el árido estará en condición de humedad natural; el requisito del numeral 1. Sobre el secado inicial es opcional y si la superficie de las partículas de la muestra ha sido conservada húmeda continuamente hasta el ensayo, el requisito del numeral 1. Sobre la inmersión por $24\text{ h} \pm 4\text{ h}$, también es opcional. (pág. 4)
3. Retirar la muestra de ensayo del agua, colocarla sobre un paño absorbente y con el mismo frotarla hasta que sea eliminada toda lámina visible de agua. Secar las partículas grandes individualmente. Se puede utilizar una corriente de aire para ayudar a la operación de secado. Evitar la evaporación de agua desde los poros del árido durante la operación de secado superficial. Determinar la masa de la muestra de ensayo en condición saturada superficialmente seca, registrar esta y

todas las masas subsecuentes con una aproximación de 0,5 g o 0,05% de la masa de la muestra, la que sea mayor (pág. 4).

4. Después de determinar la masa en aire, inmediatamente colocar la muestra de ensayo saturada superficialmente seca en el recipiente para la muestra y determinar su masa aparente en agua a $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Remover todo el aire atrapado antes de determinar la masa mediante la agitación del recipiente mientras se lo sumerge. (pág. 4)
5. Secar la muestra en el horno a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, hasta conseguir una masa constante. Enfriar la muestra al aire, a temperatura ambiente, entre 1 hora a 3 horas o hasta que el árido se haya enfriado a una temperatura que sea confortable para el manejo (aproximadamente $50\text{ }^{\circ}\text{C}$) y determinar su masa. (pág. 5)

Resultados:

Tabla 10: Determinación de densidad y porcentaje de absorción de árido grueso

Determinación de densidades y porcentaje de absorción del árido grueso					Muestra 1	Muestra 2
Masa de la muestra en estado sss (g):B					3000	3000
Masa de la muestra sumergida en agua (g):C					1762	1734
Masa de la muestra seca al horno (g):A					2957	2956
Densidad relativa (estado sss): D _{sss} (g/cm ³)					2.42	2.37
Densidad relativa seca (estado seco): D _s (g/cm ³)					2.39	2.33
Densidad relativa aparente: D (g/cm ³)					2.47	2.42
Porcentaje de absorción: Pa (%)					1.45	1.49
D_{sss} =	2.40	g/cm ³	Densidad relativa SSS	D _{sss} =B/(B-C)	2.42	2.37
D_s=	2.36	g/cm ³	Densidad relativa seca	D _s =A/(B-C)	2.39	2.33
D=	2.45	g/cm ³	Densidad relativa aparente	D=A/(A-C)	2.47	2.42
%Abs=	1.47	%	Porcentaje de absorción	Pa=((BA)/A)*100	1.45	1.49

Fuente: Labanda – Rodríguez

3.4.3.2 Árido fino- NTE INEN 856.

Según la normativa (NTE INEN 856, 2010)

Este método de ensayo se aplica para la determinación de la densidad promedio en una muestra de árido fino (sin incluir el volumen de vacíos entre partículas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del árido. (pág. 1)

Equipos

- Balanza. - Que tenga una capacidad de 1 kg o más, con una sensibilidad de 0,1 g o menos y una precisión de 0,1% de la carga de ensayo en cualquier punto dentro del rango de uso para este método de ensayo. La diferencia entre lecturas debe tener una precisión dentro de 0,1 g, en cualquier rango de 100 g de carga. (pág. 3)
- Picnómetro (para uso con el procedimiento gravimétrico). - Matraz u otro contenedor apropiado, en el cual la muestra de ensayo de árido fino, pueda ser introducida fácilmente y en el cual el volumen contenido pueda ser legible dentro de $\pm 0,1 \text{ cm}^3$. El volumen del contenedor lleno hasta la marca debe ser por lo menos 50% mayor que el requerido para acomodar la muestra de ensayo. Para una muestra de ensayo de 500 g del árido más fino, es adecuado un matraz o un recipiente de 500 cm^3 de capacidad, adaptado con un picnómetro en la parte superior. (pág. 3)
- Molde y compactador para ensayo de humedad superficial. - El molde metálico debe tener la forma de un cono truncado, con las siguientes dimensiones: 40 mm $\pm$ 3 mm de diámetro interno superior, 90 mm $\pm$ 3 mm de diámetro interno en la base y 75 mm $\pm$ 3 mm de altura; el metal debe tener un espesor mínimo de 0,8 mm. El compactador metálico debe tener una masa de 340 g $\pm$ 15 g y una cara compactadora circular y plana, de 25 mm $\pm$ 3 mm de diámetro. (pág. 3)
- Horno. - De tamaño suficiente, capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 °C $\pm$ 5 °C. (pág. 3)

I.Procedimiento volumétrico: Normativa (NTE INEN 856, 2010):

a. Preparación de la muestra de ensayo.

- 1.1 Colocar la muestra en una bandeja o en otro recipiente apropiado y secarla en el horno a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, hasta conseguir una masa constante, dejarla que se enfríe hasta una temperatura que sea confortable para su manipulación (aproximadamente $50\text{ }^{\circ}\text{C}$), luego cubrirla con agua, ya sea por inmersión o por adición de agua, hasta alcanzar al menos 6% de humedad en el árido fino y dejar que repose por $24\text{ h} \pm 4\text{ h}$. (pág. 3)
- 1.2 Decantar el exceso de agua, evitando la pérdida de finos, extender la muestra sobre una superficie plana, no absorbente, expuesta a una corriente suave de aire caliente y moverla frecuentemente para asegurar un secado homogéneo. Si se desea, se pueden utilizar equipos mecánicos como un agitador, para ayudar a alcanzar la condición saturada superficialmente seca. Continuar esta operación hasta que la muestra se aproxime a una condición de flujo libre. Seguir el procedimiento indicado en el numeral 1.3 para determinar si la humedad superficial todavía está presente en las partículas constituyentes del árido fino. Realizar el primer ensayo para esta determinación cuando todavía exista agua superficial en la muestra. Continuar secando con agitación constante y probar a intervalos frecuentes hasta que el ensayo indique que la muestra ha alcanzado la condición de superficie seca. Si el primer ensayo de determinación de humedad superficial indica que la humedad no está presente en la superficie, significa que se ha secado más allá de la condición saturada superficialmente seca; en este caso, mezclar íntegramente el árido fino con algunos cm^3 de agua y dejar que la muestra repose en un recipiente cubierto por 30 minutos. A continuación, reanudar el proceso de secado y ensayos a intervalos frecuentes hasta determinar el inicio de la condición de superficie seca. (pág. 4)
- 1.3 Ensayo para determinar la humedad superficial. Mantener firmemente el molde sobre una superficie lisa no absorbente, con el diámetro mayor hacia abajo. Colocar en el molde en forma suelta, una porción del árido

fino parcialmente seco, hasta llenarlo colocando material adicional en la parte superior manteniendo firme el molde con la mano, compactar el árido fino con 25 golpes ligeros del compactador. Cada caída debe iniciar aproximadamente 5 mm sobre la superficie del árido. Permitir que el compactador caiga libremente bajo la atracción gravitacional en cada golpe. Ajustar la altura de inicio a la nueva elevación de la superficie después de cada golpe y distribuirlos sobre la superficie. Remover el árido fino que ha caído alrededor de la base y levantar el molde verticalmente. Si la humedad superficial todavía está presente, el árido fino mantendrá la forma del molde. Cuando el árido fino se desmorona ligeramente, ello indica que se ha alcanzado la condición de superficie seca. (pág. 4)

1.4 Algunos áridos finos con partículas de forma predominantemente angular o con una alta proporción de finos, pueden no desmoronarse en el ensayo del cono, al alcanzar la condición de superficie seca. Este problema se puede verificar si al dejar caer desde una altura de 100 mm a 150 mm sobre una superficie, un puñado de árido fino, tomado de la muestra ensayada, se pueden observar partículas individuales muy finas. Para estos materiales, se considera que han alcanzado la condición saturada superficialmente seca, en el punto en que, luego de remover el molde, un lado del árido fino apenas se derrumba. (pág. 4)

II. Procedimiento gravimétrico (picnómetro): Normativa (NTE INEN 856, 2010)

2.1 Llenar parcialmente el picnómetro con agua. Introducir en el picnómetro 500 g $\pm$ 10 g de árido fino saturado superficialmente seco, preparado como se describe en el numeral 1, y llenar con agua adicional hasta aproximadamente el 90% de su capacidad. Agitar el picnómetro como se describe, manualmente en el literal a) o mecánicamente en el literal b) de este numeral. (pág. 4)

- a) Manualmente: rodar, invertir y agitar el picnómetro (o utilizar una combinación de estas tres acciones) para eliminar las burbujas visibles de aire. (pág. 4)
- b) Mecánicamente: agitar el picnómetro mediante una vibración externa, de una forma que no degrade la muestra. Para promover la eliminación

de aire sin degradación, es suficiente un nivel de agitación ajustado para solamente mantener las partículas individuales en movimiento. Se puede considerar aceptable un agitador mecánico, si en ensayos de comparación para cada período de seis meses de uso, muestra variaciones menores que el rango aceptable de dos resultados, respecto a los resultados de la agitación manual en el mismo material. (pág. 5)

2.2 Luego de eliminar todas las burbujas de aire, ajustar la temperatura del picnómetro y su contenido a $23,0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, si es necesario mediante inmersión parcial en agua circulante; y llevar el nivel de agua en el picnómetro hasta la marca de calibración. Determinar la masa total del picnómetro, muestra y agua. (pág. 5)

2.3 Retirar el árido fino del picnómetro, secarlo en el horno a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, hasta conseguir una masa constante y enfriarlo a temperatura ambiente por $1\text{ h} \pm \frac{1}{2}\text{ h}$, determinar su masa. (pág. 5)

2.4 Determinar la masa del picnómetro lleno hasta la marca de calibración, con agua a $23,0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. (pág. 5)

Resultados:

Tabla 11: Determinación de densidad y porcentaje de absorción de árido fino

Determinación de densidades y porcentaje de absorción del árido fino					Muestra 1	Muestra 2
Masa de la muestra seca al horno (g): A					490	489.4
Masa del picnómetro llenado con agua (g):B					1247	1247
Masa del picnómetro lleno con la muestra y agua (g):C					1547.9	1543.6
Masa de la muestra en estado sss (g): S					500	500
Densidad relativa (estado sss): Dsss (g/cm^3)					2.51	2.46
Densidad relativa seca (estado seco): Ds(g/cm^3)					2.46	2.41
Densidad relativa aparente: D (g/cm^3)					2.59	2.54
Porcentaje de absorción: Pa (%)					2.04	2.17
Dsss =	2.4 8	g/cm^3	Densidad relativa SSS	$\text{Dsss}=\text{B}/(\text{B}-\text{C})$	2.51	2.46
Ds=	2.4 3	g/cm^3	Densidad relativa seca	$\text{Ds}=\text{A}/(\text{B}-\text{C})$	2.46	2.41
D=	2.5 6	g/cm^3	Densidad relativa aparente	$\text{D}=\text{A}/(\text{A}-\text{C})$	2.59	2.54
%Abs=	2.1 0	%	Porcentaje de absorción	$\text{Pa}=(\text{BA})/\text{A})\cdot 100$	2.04	2.17

Fuente: Labanda - Rodríguez

3.4.4 Determinación del material más fino que pasa el tamiz con abertura de 75 µm (No.200), mediante lavado – NET INEN 697

Según indica: (NTE INEN 697, 2010)

Equipos

- Balanza. - Debe ser legible y tener una precisión de 0,1 g o del 0,1% de la masa de ensayo, la que sea mayor, en cualquier punto dentro del rango de uso. (pág. 2)
- Tamices.- Un arreglo de dos tamices, el inferior debe ser el tamiz de 75 µm (No. 200) y el superior de 1,18 mm (No. 16), ambos deben cumplir con los requisitos de la NTE INEN 154. (pág. 2)
- Recipiente.- Un frasco o contenedor de un tamaño suficiente para recibir la muestra cubierta con agua y para permitir una agitación vigorosa sin pérdida de alguna parte de la muestra o del agua. (pág. 2)
- Horno.- Un horno de tamaño adecuado, capaz de mantener una temperatura uniforme de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. (pág. 2)

Procedimiento

1. Secar la muestra en el horno hasta conseguir una masa constante, a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Determinar la masa con una aproximación de 0,1% de la masa de la muestra (pág. 2).
2. Si la especificación requiere que la cantidad que atraviesa el tamiz de 75 µm (No. 200) se determine sobre una parte de una muestra que pasa un tamiz más pequeño que el tamaño máximo nominal del árido, separar la muestra por el tamiz designado y determinar la masa del material que pasa dicho tamiz, con aproximación de 0,1% de la masa de esta porción de la muestra. Utilizar esta masa como la masa seca original de la muestra de ensayo. (pág. 2)
3. Después del secado y de la determinación de la masa, colocar la muestra en el recipiente y agregar suficiente cantidad de agua hasta cubrirla. No se debe añadir al agua, detergente, un agente dispersor u otra sustancia. (pág. 3)

4. Agitar la muestra vigorosamente para dar lugar a la separación completa de todas las partículas más finas que 75 μm de las partículas más gruesas y para llevar el material fino a suspensión. Inmediatamente verter el agua de lavado que contiene los sólidos suspendidos y disueltos sobre el arreglo de tamices, organizado con el tamiz más grueso en la parte superior. Evitar en la medida de lo posible, a decantación de las partículas gruesas de la muestra. (pág. 3)
5. Añadir una segunda carga de agua a la muestra en el recipiente, agitar y decantar como se indicó anteriormente. Repetir esta operación hasta que el agua de lavado esté clara. (pág. 3)
6. Regresar al recipiente todo el material retenido en el arreglo de tamices mediante un enjuague con una boquilla rociadora de la muestra lavada. Secar en el horno el árido lavado hasta conseguir una masa constante, a temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y determinar la masa con una aproximación de 0,1% de la masa original de la muestra. (pág. 3)

Resultados:

Agregado grueso

Tabla 12: Determinación del material que pasa el tamiz de 75 μm del árido grueso

Material más fino que 75 μm árido grueso				Muestra 1	Muestra 2
Masa seca original de la muestra (g): B				3000	3000
Masa seca de la muestra luego del lavado (g): C				2989	2984
Material más fino que 75 μm (%): A		$A=(B-C)/B*100$		0.37	0.53
A =	0.45	%	Material más fino que 75 μm		

Fuente: Labanda - Rodríguez

Agregado fino

Tabla 13: Determinación del material que pasa el tamiz de 75 μm del árido fino

Material más fino que 75 μm árido fino				Muestra 1	Muestra 2
Masa seca original de la muestra (g): B				300	300
Masa seca de la muestra luego del lavado (g): C				292.2	293.9
Material más fino que 75 μm (%): A		$A=(B-C)/B*100$		2.6	2.03
A =	2.3	%	Material más fino que 75 μm		

Fuente: Labanda - Rodríguez

3.4.5 Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico)- NTE INEN 858.

Según indica: (NTE INEN 858, 2010)

Este método es frecuentemente utilizado para determinar la masa unitaria (peso volumétrico) del árido, en condición compactada o suelta y calcular los vacíos entre las partículas en los áridos: fino, grueso o en una mezcla de ellos, basándose en la misma determinación. (pág. 1)

Equipos

- Balanza.- Que tenga una precisión de 0,1% de la carga de ensayo en cualquier punto dentro del rango de uso, con graduaciones de al menos 0,05 kg. Se debe considerar que el rango de uso se extiende desde la masa del molde vacío, hasta la masa del molde más su contenido el cual se considera que tiene una masa unitaria de 1.920 kg/m³. (pág. 2)
- Varilla de compactación. - Debe ser una varilla recta, lisa, de acero, de 16 mm de diámetro y aproximadamente 600 mm de longitud, teniendo el extremo de compactación o los dos extremos redondeados con punta semiesférica, cuyo diámetro es de 16 mm (pág. 2).
- Molde.- Recipiente cilíndrico de metal, preferiblemente provisto de asas. Impermeable, con la parte superior y el fondo, rectos y uniformes. Suficientemente rígido para mantener su forma bajo condiciones agresivas de uso. El molde debe tener una altura aproximadamente igual a su diámetro, pero en ningún caso la altura debe ser menor al 80% ni superior al 150% del diámetro. (pág. 3)
- Pala o cucharón.- De tamaño conveniente para llenar el molde con el árido. (pág. 3)
- Equipo de calibración: Además de la balanza. (pág. 3).
 - Placa de vidrio. - De al menos 6 mm de espesor y por lo menos 25 mm mayor que el diámetro del molde a ser calibrado. (pág. 3).

- Grasa. - Un suministro de grasa liviana automotriz o similar. (pág. 3).
- Termómetro. - Con un rango de al menos entre 10 °C y 32 °C y que permita una lectura de por lo menos 0,5 °C (pág. 3).

Preparación de la muestra.

El tamaño de la muestra debe ser de aproximadamente 125% a 200% respecto de la cantidad necesaria para llenar el molde y debe ser manejada de tal manera que se evite la segregación. Secar la muestra hasta obtener masa constante, de preferencia en un horno a $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$. (pág. 4)

Procedimiento para masa unitaria suelta (PVS):

1. Llenar el molde a rebosar por medio de una pala o cucharón, descargar el árido desde una altura no superior a 50 mm por encima de la parte superior del molde. Tener cuidado para prevenir, tanto como sea posible, la segregación de las partículas que componen la muestra. Nivelar la superficie del árido con los dedos o con una regleta, de tal manera que cualquier ligera proyección de las partículas grandes del árido grueso, equilibren aproximadamente los vacíos mayores en la superficie, por debajo de la parte superior del molde. (pág. 5)
2. Determinar la masa del molde y la masa del molde con su contenido. Registrar los valores con una aproximación de 0,05 kg. (pág. 5)

Resultados:

Agregado Grueso.

Tabla 14: Determinación del peso volumétrico suelto del árido grueso

Determinación de peso volumétrico suelto del árido grueso			Muestra 1	Muestra 2
Volumen del recipiente (m^3): B			0.00714	0.00714
Masa suelta de material contenida en B (kg): A			9.6	9.48
Masa unitaria (densidad aparente) suelta: Ms (kg/m^3)			1345	1328
Ms=	1336	kg/m^3	Masa unitaria (peso volumétrico) suelta	Ms=A/B

Fuente: Labanda - Rodríguez

Agregado fino.

Tabla 15: Determinación del peso volumétrico suelto del árido fino

Determinación de peso volumétrico suelto del árido fino			Muestra 1	Muestra 2
Volumen del recipiente (m^3): B			0.00714	0.00714
Masa suelta de material contenida en B (kg): A			10.41	10.3
Masa unitaria (densidad aparente) suelta: Ms (kg/m^3)			1457.98	1442.58
Ms=	1450	kg/m^3	Masa unitaria (peso volumétrico) suelta	Ms=A/B

Fuente: Labanda - Rodríguez

Procedimiento para masa unitaria compactada (PVV).

1. Llenar la tercera parte del molde y nivelar la superficie con los dedos. Compactar la capa de áridos, con 25 golpes de la varilla de compactación distribuidos uniformemente sobre la superficie. Llenar los dos tercios del molde, nuevamente nivelar y compactar de la forma indicada anteriormente. Por último, llenar el molde a rebosar y compactar nuevamente en la misma forma mencionada anteriormente. Nivelar la superficie del árido con los dedos o una regleta, de tal manera que cualquier ligera proyección de las partículas grandes del árido grueso, equilibren aproximadamente los vacíos mayores en la superficie, por debajo de la parte superior del molde. (pág. 4)
2. En la compactación de la primera capa, no se debe permitir que la varilla golpee fuertemente el fondo del molde. La compactación de la segunda y tercera capas debe ser vigorosa evitando que la varilla de compactación penetre la capa anterior del árido. (pág. 4)
3. Determinar la masa del molde y la masa del molde con su contenido. Registrar los valores con una aproximación de 0,05 kg. (pág. 4)

Resultados:

Tabla 16: Determinación del peso volumétrico compactado del árido grueso

Determinación de peso volumétrico compactado del árido grueso				Muestra 1	Muestra 2
Volumen del recipiente (m³): B				0.00714	0.00714
Masa compactada de material contenida en B (kg): A				10.52	10.48
Masa unitaria (densidad aparente) compactada: Mc (kg/m³)			Mc=A/B	1473	1468
Mc=	1471	kg/m³	Masa unitaria (peso volumétrico) compactada	Mc=A/B	

Fuente: Labanda - Rodríguez

Tabla 17: Determinación del peso volumétrico compactado del árido fino

Determinación de peso volumétrico compactado del árido fino				Muestra 1	Muestra 2
Volumen del recipiente (m³): B				0.00714	0.00714
Masa compactada de material contenida en B (kg): A				10.86	10.91
Masa unitaria (densidad aparente) compactada: Mc (kg/m³)				1521.01	1528.01
Mc=	1525	kg/m³	Masa unitaria (peso volumétrico) compactada		Mc=A/B

Fuente: Labanda - Rodríguez

3.5 Diseño experimental de la investigación.

Se tiene como objetivo principal la evaluación al reemplazo de cemento GU y la adición LC2 en porcentajes del 15%, 30% y 45% más la inclusión de aditivos SikaPlast 9100 CU AL-0044-2, SikaPlast 9100 CU AL-0044-3, en el protocolo se consideró 15 minutos de tiempo, mezclados con incorporación del 70% de aditivos al inicio y el 30 % al final de la mezcla.

Se analiza su comportamiento en estado fresco como el cono de Abrams el asentamiento de hormigón, la mesa de flujo el asentamiento en mortero y endurecido, ensayos de resistencia a las 24h, 7 y 28 días.

3.6 Preparación mineral LC2 Y LC3.

Para la obtención de la adición mineral LC2 primero se calcina la arcilla sobre latas de acero, luego se procede a tender esta arcilla para el proceso de limpiado y eliminación de limallas que quedaron por la calcinación, utilizando imanes. Se procede con la toma de los pesos de la arcilla calcinada y limpia, la caliza, el yeso y el intensificador de molienda tipo HEA. (PRUDENTE, 2019)

A continuación, se coloca todo el material antes pesado en el molino de bolas y se procede con la molienda por 30 minutos, luego se evalúa la finura de la adición mediante ensayo de distribución de tamaño de partícula (DTP), se descarga el material, se reserva en sacos previamente marcados y se realiza el mismo procedimiento hasta obtener la cantidad necesaria para el total de especímenes a realizar. (PRUDENTE, 2019)

Para la obtención del cemento LC3 se realiza el mismo procedimiento anteriormente descrito con la variedad de que se adiciona una cantidad de clínker previamente triturado y el tiempo de molienda es de 50 minutos. (PRUDENTE, 2019)

3.7 Dosificación de las mezclas.

La dosificación se lo realizó mediante el método ACI 211.1 a continuación se presenta los resultados obtenidos para la elaboración de hormigón y mortero para los dos tipos de aditivos analizados a edades de 24 horas, 7 y 28 días. Para la elaboración de mortero la dosificación esta realizado para 6 especimen debido a que se romperán 2 en cada edades estudiadas, cada espécimen posee un volumen de 0.000125 m^3 (5cm x 5cm x 5cm) teniendo en total un volumen de 0.00075 m^3 .

Tabla 18: Dosificación de concreto de la muestra patrón

DOSIFICACIÓN DE CONCRETO		1 m³	0.007m³
	u/m	Cantidad	Cantidad
Cemento Atenas (GU)	Kg	496	3.47
Agua	Lt	159	1.11
Arido Grueso	Kg	903.5	6.32
Arena 0-1/4	Kg	858.88	6.01
SP SikaPlast 9100 CU(AL-0044-2)	% del peso cemento	0.60%	0.60%
SP SikaPlast 9100 CU(AL-0044-2)	MI	2976	21
relación a/c		0.32	0.32
relación cemento/arena		0.58	0.58

Fuente: Labanda – Rodríguez

Tabla 19: Dosificación de mortero de la muestra patrón

DOSIFICACIÓN DE MORTERO		
	u/m	Cantidad
Cemento GU	Gr	750
Arena	Gr	1299
Agua	Ml	240
Aditivo	Ml	4.5

Fuente: Labanda – Rodríguez

Tabla 20: Dosificación de concreto con el 10% humo de sílice

DOSIFICACIÓN DE CONCRETO		1 m³	0.007m³
	u/m	Cantidad	Cantidad
Cemento Atenas (GU)	Kg	446.4	3.124
Humo de Sílice	Kg	49.6	0.347
Agua	Lt	159	1.113
Arido Grueso	Kg	903.5	6.325
Arena 0-1/4	Kg	858.88	6.012
SP SikaPlast 9100 CU(AL-0044-2)	% cemento	0.60%	0.60%
SP SikaPlast 9100 CU(AL-0044-2)	Ml	2976	21
relación a/c		0.32	0.32
relación cemento/arena		0.58	0.58

Fuente: Labanda - Rodríguez

Tabla 21: Dosificación de mortero con el 10% humo de sílice

DOSIFICACIÓN DE MORTERO		
	u/m	Cantidad
Cemento GU	Gr	675
HS	Gr	75
Arena	Gr	1299
Agua	Ml	240
Aditivo	Ml	4.5

Fuente: Labanda – Rodríguez

Tabla 22: Dosificación de concreto con el 100% LC3, SikaPlast 9100 CU AL-0044-2

DOSIFICACIÓN DE CONCRETO		1 m³	0.007m³
	u/m	Cantidad	Cantidad
LC3	Kg	496	3.472
Agua	Lt	159	1.113
Arido Grueso	Kg	903.5	6.325
Arena 0-1/4	Kg	858.88	6.012
SP SikaPlast 9100 CU(AL-0044-2)	% del peso cemento	1.10%	1.10%
SP SikaPlast 9100 CU(AL-0044-2)	Ml	5456	38
relación a/c		0.32	0.32
relación cemento/arena		0.58	0.58

Fuente: Labanda – Rodríguez

Tabla 23: Dosificación de mortero con el 100% LC3 SikaPlast 9100 CU AL 0044-2

DOSIFICACIÓN DE MORTERO		
	u/m	Cantidad
LC3	Gr	750
Arena	Gr	1299
Agua	Ml	240
Aditivo	Ml	8.25

Fuente: Labanda – Rodríguez

Tabla 24: Dosificación de concreto con el 100% LC3, SikaPlast 9100 CU AL-0044-3

DOSIFICACIÓN DE CONCRETO		1 m³	0.007m³
	u/m	Cantidad	Cantidad
M1 LC3	Kg	496	3.472
Agua	Lt	159	1.113
Arido Grueso	Kg	903.5	6.325
Arena 0-1/4	Kg	858.88	6.012
SP SikaPlast 9100 CU(AL-0044-3)	% del peso cemento	1.0%	1.00%
SP SikaPlast 9100 CU(AL-0044-3)	Ml	4960	35
relación a/c		0.32	0.32
relación cemento/arena		0.58	0.58

Fuente: Labanda – Rodríguez

Tabla 25: Dosificación de mortero con el 100% LC3 SikaPlast 9100 CU AL-0044-3

DOSIFICACIÓN DE MORTERO		
	u/m	Cantidad
LC3	Gr	750
Arena	Gr	1299
Agua	Ml	240
Aditivo	Ml	8.25

Fuente: Labanda – Rodríguez

Tabla 26: Dosificación de concreto con el 15% LC2

DOSIFICACIÓN DE CONCRETO		1 m³	0.007m³
	u/m	Cantidad	Cantidad
Cemento Atenas (GU)	Kg	421.63	2.951
LC2	Kg	74.38	0.521
Agua	Lt	159	1.113
Arido Grueso	Kg	903.5	6.325
Arena 0-1/4	Kg	858.88	6.012
SP SikaPlast 9100 CU(AL-0044-2)	% del peso cemento	0.60%	0.60%
SP SikaPlast 9100 CU(AL-0044-2)	Ml	2976	21
relación a/c		0.32	0.32
relación cemento/arena		0.58	0.47

Fuente: Labanda - Rodríguez

Tabla 27: Dosificación de mortero con el 15% LC2

DOSIFICACIÓN DE MORTERO		
	u/m	Cantidad
Cemento GU	Gr	637.5
LC2	Gr	112.5
Arena	Gr	1299
Agua	Ml	240
Aditivo	Ml	4.5

Fuente: Labanda - Rodríguez

Tabla 28: Dosificación de concreto con el 30% LC2

DOSIFICACIÓN DE CONCRETO		1 m³	0.007m³
	u/m	cantidad	Cantidad
Cemento Atenas (GU)	Kg	347.2	2.430
LC2	Kg	148.8	1.042
Agua	Lt	159	1.113
Arido Grueso	Kg	903.5	6.325
Arena 0-1/4	Kg	858.88	6.012
SP SikaPlast 9100 CU(AL-0044-2)	% del peso cemento	0.70%	0.70%
SP SikaPlast 9100 CU(AL-0044-2)	MI	3472	24
relación a/c		0.32	0.32
relación cemento/arena		0.58	0.38

Fuente: Labanda – Rodríguez

Tabla 29: Dosificación de mortero con el 30% LC2

DOSIFICACIÓN DE MORTERO		
	u/m	Cantidad
Cemento GU	Gr	525
LC2	Gr	225
Arena	Gr	1299
Agua	MI	240
Aditivo	MI	5.25

Fuente: Labanda – Rodríguez

Tabla 30: Dosificación de concreto con el 45% LC2

DOSIFICACIÓN DE CONCRETO		1 m³	0.007m³
	u/m	Cantidad	Cantidad
Cemento Atenas (GU)	Kg	272.8	1.910
LC2	Kg	223.2	1.562
Agua	Lt	159	1.113
Arido Grueso	Kg	903.5	6.325
Arena 0-1/4	Kg	858.88	6.012
SP SikaPlast 9100 CU(AL-0044-2)	% del peso cemento	0.90%	0.90%
SP SikaPlast 9100 CU(AL-0044-2)	MI	4464	31
relación a/c		0.32	0.32
relación cemento/arena		0.58	0.58

Fuente: Labanda - Rodríguez

Tabla 31: Dosificación de mortero con el 45% LC2

DOSIFICACIÓN DE MORTERO		
	u/m	Cantidad
Cemento GU	Gr	412.5
LC2	Gr	337.5
Arena	Gr	1299
Agua	Ml	240
Aditivo	Ml	6.75

Fuente: Labanda - Rodríguez

3.8 Fabricación de probetas.

Según la normativa (NTE INEN 1576, 2011):

La fabricación de las probetas de hormigón están basadas bajo esta normativa, donde se realizaron moldes cilíndricos metálicos de 15cm de diámetro y 30cm de altura, además, se utilizaron las probetas mas pequeñas de 10cm de diámetro y 20 cm de altura las que se limpiaron de toda impureza, se engrasaron y armaron para colocar el hormigón. (pág. 3)

Se realizaron en tres capas y compactadas con una varilla dando 25 golpes por cada capa, dentro 24 horas se retiraran los moldes.

Se lo sumergieron en una piscina para el respectivo curado una vez transcurrido las 24 horas que luego cada 24h, 7 y 28 días serán colocadas en una máquina para obtener la resistencia alcanzada.

La fabricación de morteros se lo realizó en moldes cuyas dimensiones eran de 5cm x 5cm x 5cm, así mismo dentro de 24 horas eran retirados los moldes y se lo sumergieron en una piscina para el respectivo curado.

3.9 Ensayos en las muestras de hormigón.

3.9.1 Asentamiento mediante el cono de Abrams.

Según la normativa (NTE INEN 1578, 2010):

El cono posee dimensiones de 200 mm de diámetro en su base mayor y 100 mm de diámetro en su base menor con una altura de 300 mm. Se coloca la mezcla

dentro del cono en tres capas y luego se compacta con una varilla dando 25 golpes a cada capa, se enraza y antes de los 2 minutos se levanta el cono precavidamente y se procede a medir el asentamiento (pág. 1).

Procedimiento

1. Humedecer el molde y colocarlo sobre una superficie plana, rígida, húmeda y no absorbente. El operador debe sostener firmemente el molde en su lugar durante el llenado y la limpieza del perímetro, parándose sobre los dos estribos o fijándolo a la placa base. Inmediatamente después de obtener la muestra de hormigón, llenar el molde en tres capas, cada una de aproximadamente un tercio del volumen del molde. Colocar el hormigón en el molde utilizando el cucharón. Mover el cucharón siguiendo el perímetro de la abertura del molde para asegurar una distribución uniforme del hormigón con una mínima segregación. (pág. 3)
2. Compactar cada capa con 25 golpes utilizando la varilla de compactación. Distribuir de manera uniforme los golpes sobre la sección transversal de cada capa. Para la capa inferior, es necesario inclinar la varilla ligeramente y dar aproximadamente la mitad de los golpes cerca del perímetro y luego continuar con golpes verticales en espiral hacia el centro. Compactar la capa inferior en toda su profundidad. Compactar la segunda capa y la capa superior, cada una en toda su profundidad, de tal manera que los golpes apenas penetren en la capa anterior. (pág. 4)
3. Al llenar la capa superior, mantener un excedente de hormigón sobre la parte superior del molde antes de empezar la compactación. Si durante la operación de compactación, la superficie del hormigón queda por debajo del borde superior del molde, agregar más hormigón para mantener en todo momento un exceso de hormigón sobre la parte superior del molde. Después de haber compactado la capa superior, enrasar la superficie del hormigón rodando la varilla de compactación sobre el borde superior del molde. Continuar presionando el molde firmemente hacia abajo y retirar el hormigón del área que rodea la base del molde para evitar interferencias con el movimiento de

asentamiento del hormigón. De inmediato retirar el molde del hormigón levantándolo cuidadosamente en dirección vertical. Levantar el molde en su altura de 300 mm en $5 \text{ s} \pm 2 \text{ s}$ con un movimiento ascendente uniforme y sin movimientos laterales o de torsión. Completar todo el ensayo desde el inicio del llenado hasta la remoción del molde sin interrupción dentro de un periodo de $2 \frac{1}{2}$ minutos. (pág. 4)

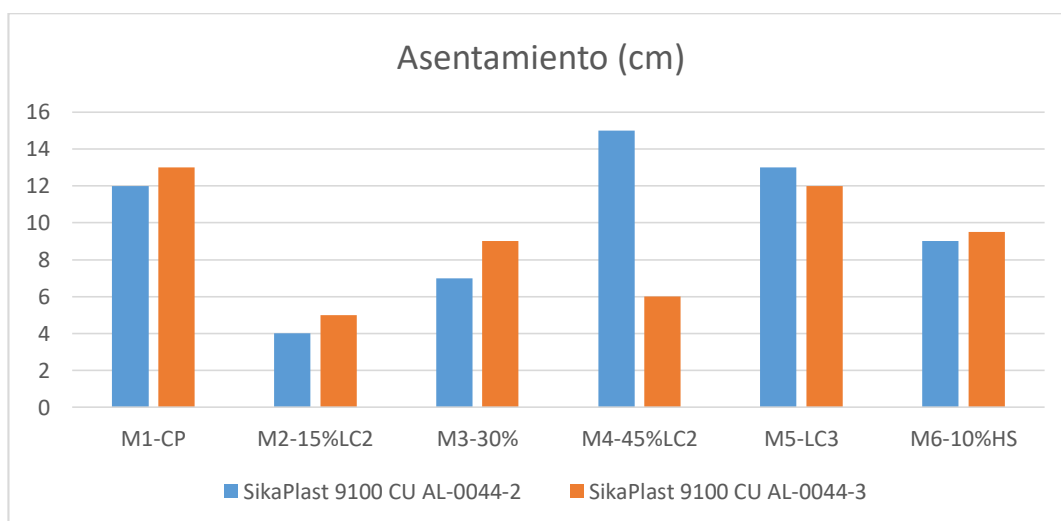
4. Inmediatamente medir el asentamiento determinando la diferencia vertical entre la parte superior del molde y el centro original desplazado de la superficie superior del espécimen. Si ocurre un desprendimiento o corte del hormigón de una parte o porción de la masa (ver nota 6), desechar el ensayo y hacer un nuevo ensayo con otra porción de la muestra. (pág. 4)

Tabla 32: Asentamiento de las muestras

TIPO DE MEZCLAS	ASENTAMIENTO (cm)		Cantidad aditivo (ml)
	SikaPlast 9100 -2	Sika Plas 9100 -3	
M1-Cemento Atenas GU	12	13	21
M2-15%LC2	4	5	20.8
M3-30% LC2	7	9	24,30
M4-45%LC2	15	6	31.2
M5-LC3	13	12	29.51
M6-10%HS	9	9.5	18.75

Fuente: Labanda- Rodríguez

Gráfico 3:Asentamiento del hormigón



Fuente: Labanda- Rodríguez

Figura 7: Asentamiento del cono de Abrams.



Fuente: Labanda – Rodríguez

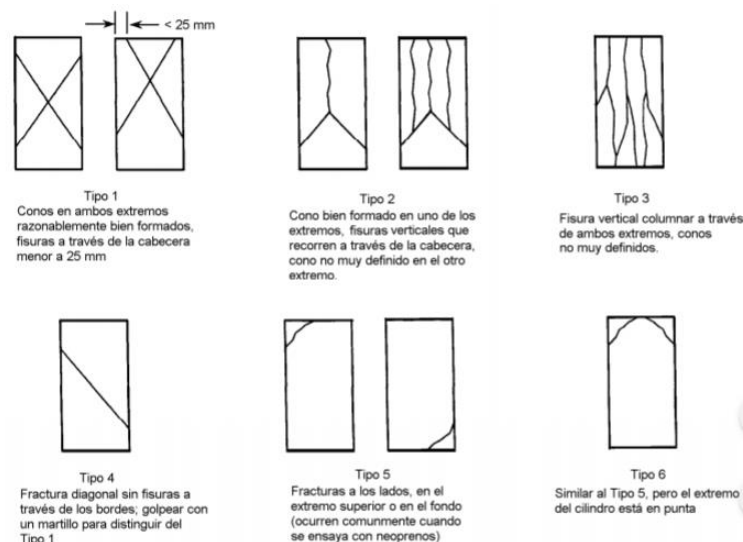
3.9.2 Resistencia a la compresión.

Según normativa (NTE INEN 1573, 2010):

Se realizaron dos probetas cilíndricas para cada muestra con su aditivo correspondiente a edades de 24 horas, 7 y 28 días. Luego es ingresado a una prensa que aplica una carga continua hasta que la muestra obtenga la rotura, se toma el valor correspondiente de la resistencia obtenida.

Para determinar la resistencia a la compresión del espécimen se divide la carga máxima soportada por el espécimen para el área promedio de la sección transversal. Se realizó este ensayo a las probetas a los 28 días.

Gráfico 4: Tipos de fracturas a compresión



Fuente: (NTE INEN 1573, 2010)

Procedimiento:

1. Se deben realizar los ensayos de compresión de especímenes curados en húmedo, tan pronto como sea posible luego de extraerlos del almacenamiento húmedo. (pág. 6)
2. Los especímenes deben ser ensayados en condición húmeda. Se deben mantener húmedos, utilizando cualquier método conveniente durante el período comprendido entre la remoción del almacenamiento húmedo y el ensayo. (pág. 6)
3. Todos los especímenes de ensayo para una edad de ensayo dada, deben romperse dentro de las tolerancias de tiempo admisibles (pág. 6)
4. Colocación del espécimen. Colocar el bloque de carga plano (inferior), con su cara endurecida hacia arriba, sobre la mesa o platina de la máquina de ensayo directamente bajo del bloque de carga esférico (superior). Limpiar las caras de contacto de los bloques superior e inferior y del espécimen de ensayo y colocar el espécimen de ensayo sobre el bloque de carga inferior. Cuidadosamente alinear el eje del espécimen con el centro de carga del bloque de carga esférico. (pág. 6)
5. Velocidad de carga. Aplicar la carga continuamente y sin impacto. (pág. 6)
6. Aplicar la carga de compresión hasta que el indicador de carga muestre que está decreciendo constantemente y el espécimen muestre un patrón de fractura bien definido. Para una máquina de ensayo equipada con un detector de rotura de espécimen, no se permite el apagado automático de la máquina de ensayo hasta que la carga haya decrecido hasta un valor menor al 95% de la carga máxima. A, antes que se haya alcanzado la capacidad última del espécimen, en estos casos se debe continuar comprimiendo el espécimen hasta que el laboratorista esté seguro de que se ha alcanzado la capacidad última. (pág. 7)

3.9.3 Contenido de aire del hormigón fresco.

Según la norma (ASTM C 231, 2014)

APARATOS Y EQUIPOS

- Medidor de Aire: Existen disponible dos tipos de aparatos satisfactoriamente diseñados, que emplean el principio de la ley de

Boyle. A modo de referencia, estos se designan en la presente guía como medidor Tipo A y Medidor Tipo B. (pág. 1)

- Medidor Tipo A: El principio operacional de este medidor consiste en introducir agua a una altura predeterminada sobre una muestra de hormigón de volumen conocido, y la aplicación de una presión atmosférica predeterminada que se ejerce sobre el agua. La determinación consiste en verificar la reducción del volumen de aire en la muestra de hormigón, observando la disminución del nivel de agua que se tiene al aplicar la presión, siendo la última cantidad calibrada en porcentaje de aire de la muestra de hormigón. (pág. 2)
- Medidor Tipo B: El principio de funcionamiento de este medidor consiste en igualar un volumen conocido de aire a una presión conocida en una cámara sellada de aire con el volumen desconocido de aire en la muestra de concreto, donde el dial del manómetro se calibra en términos de porcentaje de aire para la presión observada a la cual tiene lugar la igualación (pág. 3).
- Embudo: Embudo con la boquilla de encaje en el tubo de aspersión. (pág. 3)
- Varilla Pisón: Barra cilíndrica de acero lisa, de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud, teniendo uno o ambos extremos redondeados con punta semi-esférica del mismo diámetro (pág. 5)
- Regla de Enrase: Una barra de acero recta y plana con dimensiones mínimas de 3 x 20 x 300 mm, o una barra recta y plana de al menos 6 x 20 x 300 mm de polietileno de alta densidad u otro plástico de igual características. (pág. 5)
- Placa de enrase: Placa de metal, vidrio o acrílico cuyo ancho y largo deben superar en 50 mm o más al diámetro de la medida, su espesor debe ser igual o mayor a 6 mm en placa de metal e igual o mayor que 12 mm en placa de vidrio o acrílico. (pág. 5)
- Medidor para el Agua: Un recipiente con capacidad de 1000 ml. (pág. 5)
- Poruña de Llenado: Será metálica, de sección ovalada tal que permita el vaciado de su contenido en el molde. (pág. 5)

- Platacho: Platacho normal de albañil. (pág. 5)
- Mazo: Un mazo (con cabeza de caucho o cuero), con una masa de 600 $\pm$ 200 g). (pág. 5)

Muestra.

Obtenga la muestra de concreto recién mezclado de acuerdo con los procedimientos aplicables de la norma ASTM C172. Si el concreto contiene partículas de agregado grueso que serían retenidas en un tamiz de 50 mm (2 in.), realice el tamizado por vía húmeda de una cantidad suficiente de muestra representativa sobre un tamiz de 37.5 mm (1 ½ in.), según se indica en la norma ASTM C172, para que rinda suficiente material como para llenar completamente el cuenco de medición del tamaño seleccionado para usar. Conduzca la operación de tamizado por vía húmeda con la mínima alteración posible del mortero. No intente limpiar el mortero adherido de las partículas de agregado grueso retenidas en el tamiz. (pág. 7)

Procedimiento: (DURAND)

1. Seleccionar una muestra representativa. (pág. 42)
2. Humedecer el interior del tazón y colocarlo en una superficie plana nivelada y firme. (pág. 42)
3. Llenar el recipiente con tres capas de igual volumen, sobrellenando ligeramente la última capa. (pág. 42)
4. Compactar cada capa con 25 penetraciones de la punta semi hemisférica de la varilla, distribuyendo uniformemente las penetraciones en toda la sección. (pág. 42)
5. Compactar la capa inferior en todo su espesor, sin impactar en el fondo del recipiente con la varilla. (pág. 42)
6. Compactar la segunda y tercera capa penetrando 1 pulgada (25 mm) de la capa anterior. (pág. 42)
7. Golpear firmemente los lados del tazón de 10 a 15 veces con el mazo, después de compactar cada capa. Para evitar que las burbujas de aire queden atrapadas en el interior de la muestra. (pág. 42)

8. Enrasar el hormigón utilizando la regla enrasadora apoyada sobre el borde superior del molde; y luego limpie el exceso de muestra del borde del recipiente. (pág. 42)
9. Limpiar y humedecer el interior de la cubierta antes de acoplarla con las mordazas a la base; las mordazas se sujetan dos a la vez y en cruz. (pág. 43)
10. Abrir ambas llaves de purga. (pág. 43)
11. Cerrar la válvula principal de aire entre la cámara y el tazón y abrir ambas llaves de purga a través de la cubierta. (pág. 43)
12. Inyectar agua a través de una de las llaves de purga hasta que se salga por la otra. (pág. 43)
13. Continuar inyectando agua por la llave de purga, mientras mueve y golpea el medidor para asegurar que todo el aire es expulsado. (pág. 43)
14. Cerrar la válvula de escape de aire y bombear aire dentro de la cámara hasta que el manómetro este en la línea de presión inicial. (pág. 43)
15. Esperar unos segundos para que el aire comprimido llegue a una temperatura normal y se estabilice la lectura de presión. (pág. 43)
16. Ajustar el manómetro en la línea de presión inicial por bombeo o deje escapar aire si es necesario dando ligeros golpes con la mano. (pág. 43)
17. Cerrar ambas llaves de purga. (pág. 43)
18. Abrir la válvula principal entre la cámara de aire y el tazón. (pág. 43)
19. Dar pequeños golpes en los lados del tazón con el mazo. (pág. 43)
20. Leer el porcentaje de aire, golpeando con la mano ligeramente el manómetro para estabilizar la lectura. (pág. 43)
21. Cerrar la válvula de aire principal y abrir las llaves de purga para descargar la presión, antes de remover la cubierta. (pág. 43)
22. Calcular correctamente el contenido de aire:
 Calcular el contenido de aire del concreto de la siguiente manera:

$$A_s = A_1 - G$$
 Donde:
 A_s = contenido de aire de la muestra (%)
 A_1 = contenido de aire aparente de la muestra (%), lectura del manómetro.

G = factor de corrección del agregado (%).

23. Registrar el resultado de la prueba adecuadamente. (pág. 43)

3.9.4 Ensayo de ultrasonido.

Esta basada bajo la norma (ASTM C 597, 2016).

Los materiales que se ensayan con este método son heterogéneos, como la madera y el hormigón; se excluyen los metales, ya que provocan una serie de irregularidades que afectan los resultados obtenidos. (CIVILGEEKS, 2011)

Así el equipo hace posible conocer el hormigón en las siguientes cualidades: homogeneidad, la presencia de fisuras, los huecos, los cambios en hormigón debidos a diferentes causas como ataques del fuego y bioquímicos, así como también la calidad del hormigón. (CIVILGEEKS, 2011)

En el Anexo A se presentan los gráficos de los ensayos de ultrasonido realizados a las muestras de hormigón.

3.10 Ensayos en las muestras de mortero.

3.10.1 Mesa de flujo.

Se lo realiza mediante la norma (NTE INEN 2500, 2009)

La fluidez es una medida de la consistencia de la pasta de cemento expresada en términos del incremento del diámetro de un espécimen moldeado por un medio cono, después de sacudir un número específico de veces. (APUNTES INGENIERIA CIVIL, 2010)

Se lo realiza en una mesa de sacudida en la que se coloca la muestra en dos capas que son compactadas con una varilla en un molde normado, se deja la muestras en el molde por 1 min y luego se retira el molde quedando la muestra sobre el plato de la mesa de sacudidas. Se inicia una secuencia de 25 golpes y se realizan 5 medidas del diámetro de una muestra expandida por los golpes. La sumatoria de estas medidas debe dar 105 ± 5 . (APUNTES INGENIERIA CIVIL, 2010)

PROCEDIMIENTO

1. Hacer la mezcla en seco de los componentes
2. Añadir 90% de agua
3. Mezclar durante 2 min
4. Añadir 70% del superplastificante
5. Batir por 10 min
6. Añadir 30% restante diluido en el 10% de agua remanente
7. Batir por 5 min
8. Medir asentamiento o diámetro en el Holcim cone

Resultados: para morteros

Tabla 33 : Valores de diámetro en mesa de flujo con sikaplas CU(AL-044-2)

Valores de las muestras en la mesa de flujo		
Tipo de muestra	Tiempo 0 min	Tiempo 15 min
Cemento GU-100%	21mm	24mm
HS-10%	16mm	19mm
LC2-15%	18mm	23mm
LC2-30%	16mm	17mm
LC2-45%	17.11mm	21mm
LC3-100%	18.68mm	21.28mm

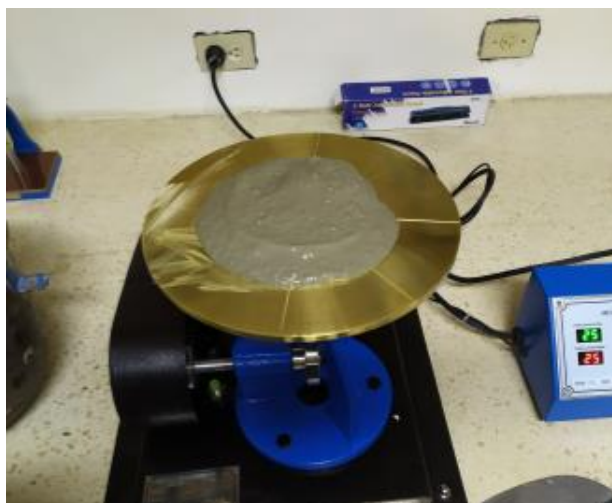
Fuente: Labanda - Rodríguez

Tabla 34 : Valores de diámetro en mesa de flujo con sikaplas CU(AL-044-3)

Valores de las muestras en la mesa de flujo		
Tipo de muestra	Tiempo 0 min	Tiempo 15 min
Cemento GU-100%	16.43mm	22.80mm
HS-10%	16.08mm	20.55mm
LC2-15%	17.85mm	20.02mm
LC2-30%	10.50mm	17.15mm
LC2-45%	15mm	18mm
LC3-100%	14.98mm	20.63mm

Fuente: Labanda – Rodríguez

Figura 8: Ensayo de mesa de flujo



Fuente: Labanda – Rodríguez

3.10.2 Resistencia a la compresión de mortero.

Según la normativa (NTE INEN 488, 2009):

El mortero utilizado consiste de una parte de cemento y 2,75 partes de arena, dosificados en masa. Los cementos portland o cementos portland con incorporador de aire son mezclados con relaciones agua y cemento especificadas. El contenido de agua para otros cementos es el necesario para obtener una fluidez de 110 ± 5 en 25 caídas de la mesa de fluidez. Los cubos de ensayo de 50 mm son compactados por apisonado en dos capas. Los cubos son curados un día en sus moldes y luego desencofrados y sumergidos en agua saturada con cal hasta ser ensayados, mediante la aplicación de una carga progresiva de compresión, para determinar su resistencia máxima admisible. (pág. 1)

3.11 Determiación de fraguado en el Hormigón (Aguja Vicat).

Según normativa: (NTC, 1995)

Se obtiene una muestra de mortero por tamizado (tamiz 4,75 mm) de una muestra representativa de concreto fresco. El mortero es colocado en un recipiente y almacenado a una temperatura ambiente especificada. Se mide, a intervalos de tiempos regulares, la resistencia a la penetración del mortero con agujas normalizadas. Los tiempos de fraguado inicial y final se determinan utilizando una gráfica de resistencia a la penetración contra el tiempo transcurrido. (pág. 2)

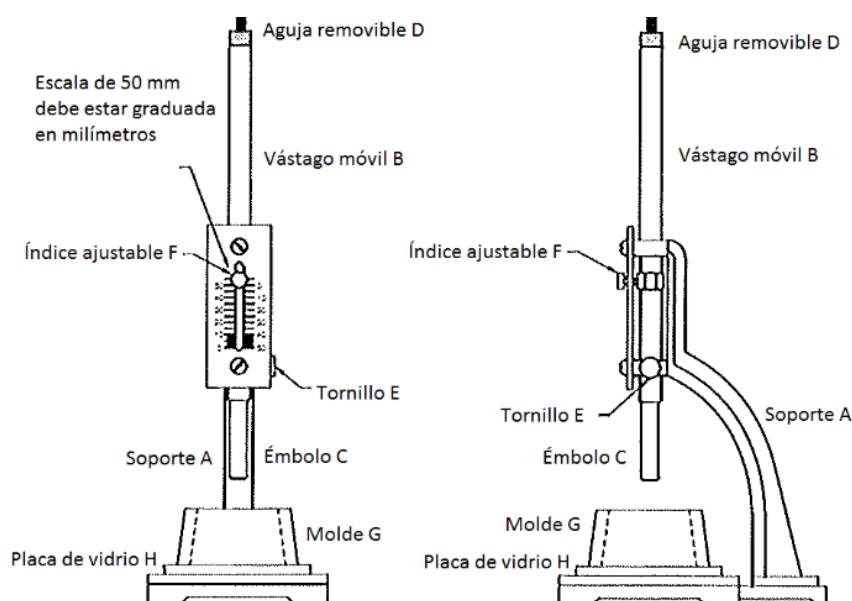
PROCEDIMIENTO

1. Se debe remover el agua de exudación de la superficie de los especímenes de mortero justo antes de hacer un ensayo de penetración por medio de una pipeta o un espécimen apropiado. Para facilitar la recolección del agua de exudación, se inclina el espécimen cuidadosamente hasta un ángulo de cerca de 10° desde la horizontal, colocando un bloque bajo uno de los lados 2 min antes de la remoción del agua de exudación. (pág. 5)
2. Se inserta una aguja de tamaño apropiado, dependiendo del grado de fraguado del mortero, en el aparato de resistencia a la penetración y se pone en contacto la superficie de apoyo con la superficie del mortero. Se recomienda aplicar gradual y uniformemente una fuerza vertical hacia abajo sobre el aparato hasta que la aguja penetre el mortero hasta una profundidad de $25 \text{ mm} \pm 1,5 \text{ mm}$, según lo indique la marca inscrita. El tiempo requerido para penetrar hasta una profundidad de 25 mm debe ser de $10 \text{ s} \pm 2 \text{ s}$. Se registra la fuerza requerida para producir la penetración de 25 mm y el tiempo de aplicación, medido como el tiempo transcurrido desde el contacto inicial del cemento y el agua. Se calcula la resistencia a la penetración dividiendo la fuerza registrada entre el área de apoyo de la aguja, y se registra la resistencia a la penetración. En los ensayos de penetración subsecuentes se debe tener cuidado de evitar las áreas donde el mortero ha sido perturbado por ensayos previos. La distancia libre entre impresiones de la aguja debe ser al menos dos diámetros de la aguja usada y no menor de 13 mm. La distancia libre entre cualquier impresión de aguja y el lado del recipiente no debe ser menor de 25 mm. (pág. 5)
3. Gráfica de los resultados de ensayo. Se puede usar uno de los procedimientos. (pág. 5)
4. Alternativos para graficar los resultados de los ensayos y obtener los tiempos de fraguado. (pág. 6)
5. Para mezclas de concreto convencionales a temperaturas de laboratorio de 20°C a 25°C , el ensayo inicial debe hacerse después de un tiempo transcurrido de 3 h a 4 h, después del contacto inicial entre el cemento

y el agua. Se deben hacer ensayos subsecuentes a intervalos de 1 h. Para mezclas de concreto que contengan acelerantes, o estén a temperaturas superiores a las del laboratorio, es aconsejable hacer el ensayo inicial después de un tiempo transcurrido de 1 h a 2 h y los ensayos subsecuentes a intervalos de 1/2 h. Para mezclas de concreto que contengan retardantes, o estén a temperaturas inferiores a las de laboratorio, el ensayo inicial debe ser diferido hasta que transcurra un tiempo de 4 h a 6 h. Los ensayos subsecuentes se pueden hacer a intervalos de 1 h. Los intervalos de tiempo entre los ensayos subsecuentes se pueden ajustar según sea necesario, dependiendo de la velocidad de fraguado, para obtener el número requerido de penetraciones. (pág. 6)

6. Se deben hacer al menos seis determinaciones de resistencia a la penetración en cada ensayo de tiempo de fraguado, y los intervalos de tiempo entre determinaciones de resistencia a la penetración deben ser tales que den una curva de resistencia a la penetración contra el tiempo transcurrido, indicada por los puntos igualmente espaciados. Se debe continuar con los ensayos hasta que se alcance una resistencia a la penetración de al menos 27,6 MPa. (pág. 6)

Gráfico 5: Aparato de Vicat manual



Fuente: (NTE INEN 158, 2009)

Figura 9: Ensayo de Aguja de Vicat



Fuente: Labanda - Rodríguez

Tabla 35: Tiempo de fraguado del hormigón con aditivo SikaPlast 9100 CU(AL-044-2)

HORMIGÓN	Tiempo de fraguado del Hormigón	
	SIKAPLAST 9100 CU(AL-044-2)	
	Inicial	Final
M1- Cemento Atenas GU	60 min	3h 00 min
M2-LC2(15%)	60 min	1h 40 min
M3-LC2(30%)	60 min	1h 30 min
M4-LC2(45%)	60 min	1h 50 min
M5-LC3	30 min	1h 00 min

Fuente: Labanda - Rodríguez

Tabla 36: Tiempo de fraguado del hormigón con aditivo SikaPlast 9100 CU(AL-044-3)

HORMIGÓN	Tiempo de fraguado del Hormigón	
	SIKAPLAST 9100 CU(AL-044-3)	
	Inicial	Final
M1- Cemento Atenas GU	60 min	3h 25 min
M2-LC2(15%)	60 min	1h 20 min
M3-LC2(30%)	60 min	1h 25 min
M4-LC2(45%)	60 min	1h 35 min
M5-LC3	30 min	1h 05 min

Fuente: Labanda – Rodríguez

En el anexo C se presenta los resultados del ensayo de fraguado del hormigón de las diferentes dosificaciones.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE HORMIGÓN Y MORTERO.

4.1 Generalidades.

En este capítulo se detallan los resultados obtenidos de los distintos ensayos realizados a las muestras de hormigón y mortero cuya resistencia a la compresión es de 35MPa para ambos casos, con las distintas adiciones consideradas previamente.

Los resultados arrojan las cantidades a las 24 horas, 7 y 28 días.

4.2 Resultados y análisis de los ensayos a compresión.

A continuación se presenta las tablas y gráficos con los resultados obtenidos en los ensayos de compresión para el hormigón y morteros, obteniendo los resultados de las roturas a 24 horas, 7 y 28 días.

En las tablas 37, 38, 39, 40 indica que la resistencia a la compresión de todas las mezclas están basada bajo el diseño patrón con el 100% de cemento GU, pero a la edad de los 28 días muchas de estas muestran incrementa la resistencia de diseño estipulado.

Análisis de hormigón con aditivo SikaPlast 9100CU(AL-0044-2).

A continuación se presenta los resultados de la resistencia a la compresión del hormigón obtenidos con el aditivo SikaPlast 9100CU(AL-0044-2).

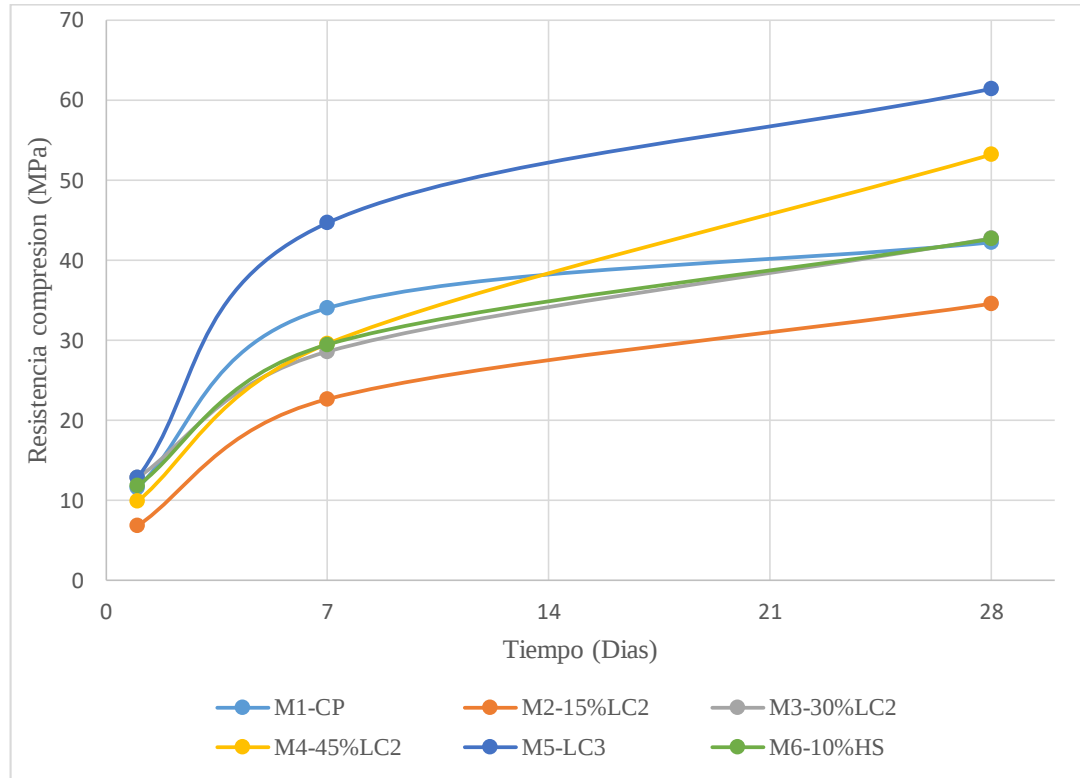
En la tabla 37 se puede constatar que la mayor resistencia obtenida es con la dosificación que posee el 100% de cemento LC3 que a los 28 días logra una resistencia de 61.42 MPa, seguida de la dosificación con el 55% de cemento GU y el 45% de LC2 con una resistencia a los 28 días de 53.2 MPa. A pesar que las demás muestras obtuvieron menores cantidades de resistencia estas si lograron llegar a las resistencia de diseño.

Tabla 37: Resistencia a la compresión de hormigón, SikaPlast 9100CU(AL-0044-2)

1er ADITIVO SikaPlast 9100 CU(AL-0044-2)						
TIPO DE MEZCLAS	24 HORAS		7 DÍAS		28 DÍAS	
DOSIFICACIÓN	MPA	%	MPA	%	MPA	%
M1-Cemento Atenas (GU)	11.6	33%	34.03	97%	42.24	121%
M2-15%LC2	6.83	20%	22.65	65%	34.57	99%
M3-30%LC2	12.84	37%	28.59	82%	42.74	122%
M4-45%LC2	9.89	28%	29.57	84%	53.2	152%
M5-100%LC3	12.84	37%	44.67	128%	61.42	175%
M6-10%HS	11.82	34%	29.47	84%	42.67	122%

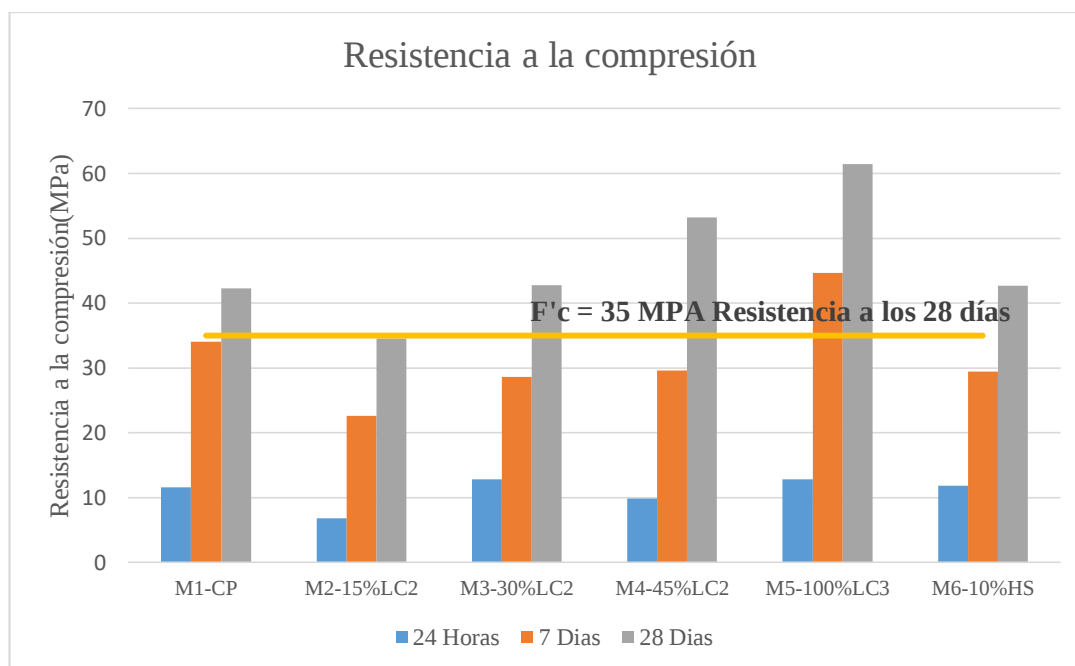
Fuente: Labanda - Rodríguez

Gráfico 6: Relación resistencia vs tiempo de probetas de hormigón, SikaPlast 9100 CU(AL-0044-2)



Fuente: Labanda - Rodríguez

Gráfico 7: Resistencia a la compresión de probetas de hormigón, SikaPlast 9100 CU(AL-0044-2)



Análisis de hormigón con aditivo SikaPlast 9100 CU(AL-0044-3).

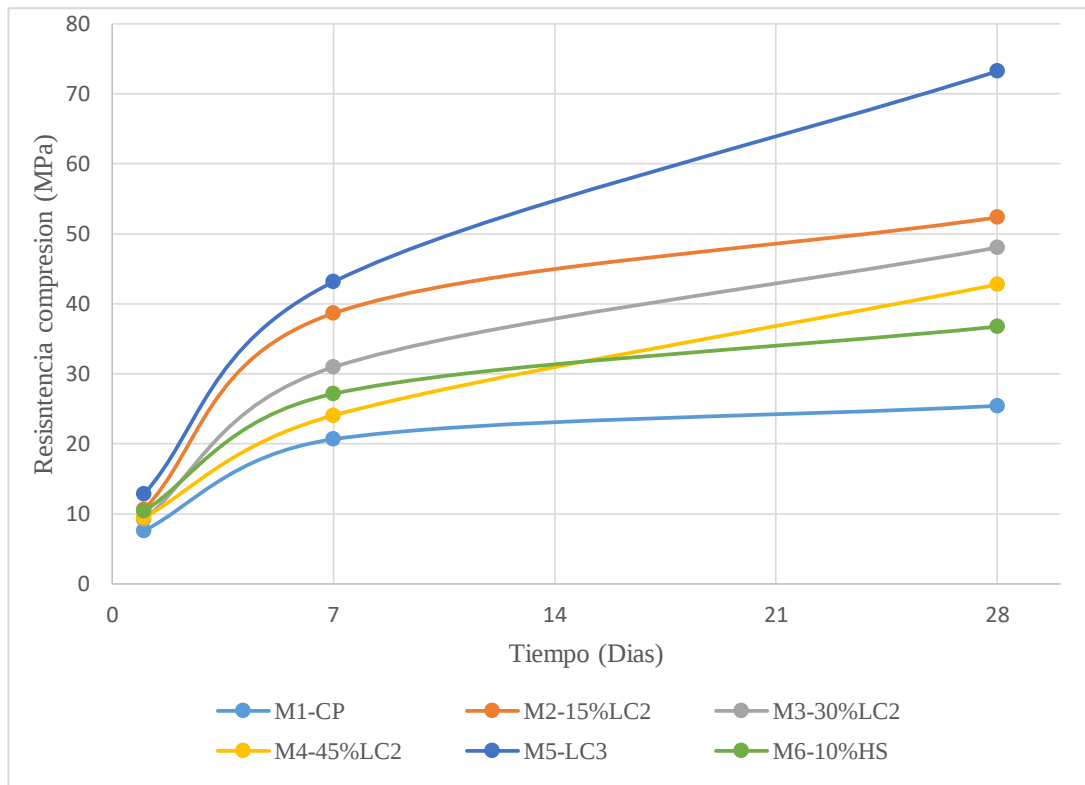
A continuación se presenta los resultados de la resistencia a la compresión del hormigón obtenidos con el aditivo SikaPlast 9100CU(AL-0044-3).

Tabla 38: Resistencia a la compresión de hormigón, SikaPlast9100 CU(AL-0044-3)

2do ADITIVO SikaPlast 9100 CU(AL-0044-3)						
TIPO DE MEZCLAS	24 HORAS		7 DÍAS		28 DÍAS	
DOSIFICACIÓN	MPA	%	MPA	%	MPA	%
M1-Cemento Atenas (GU)	7.59	22%	20.66	59%	25.42	73%
M2-15%LC2	1.06	3%	38.65	110%	52.34	150%
M3-30%LC2	9.17	26%	30.96	88%	48.03	137%
M4-45%LC2	9.44	27%	24.06	69%	42.75	122%
M5-100%LC3	12.79	37%	43.14	123%	73.21	209%
M6-10%HS	10.37	30%	27.15	78%	36.74	105%

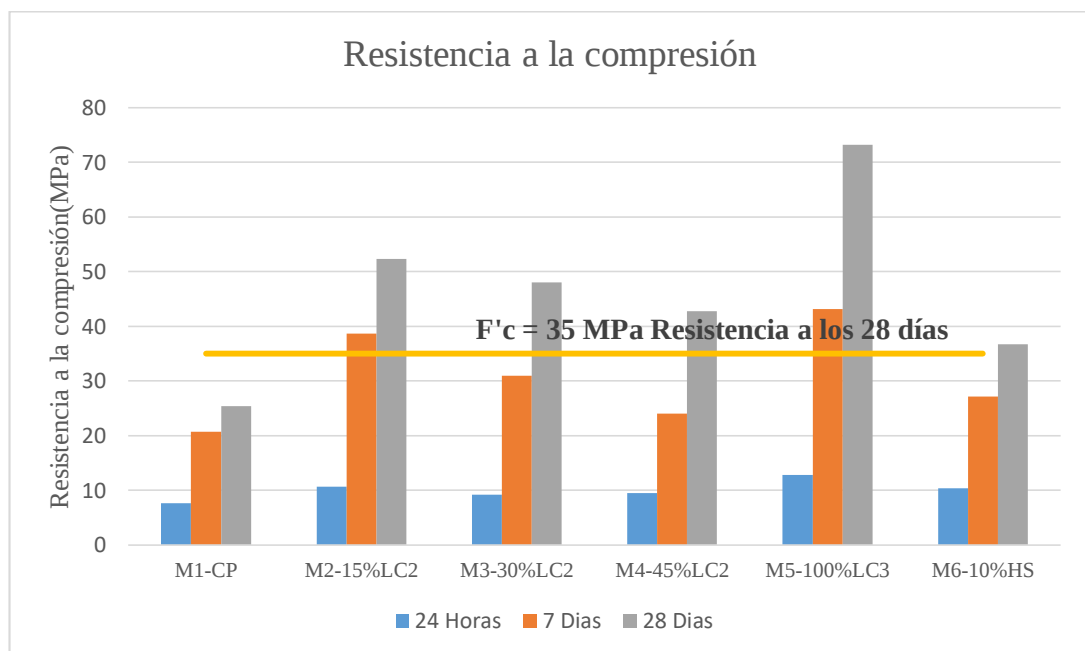
Fuente: Labanda - Rodríguez

Gráfico 8: Relación resistencia vs tiempo de probetas de hormigón, SikaPlast 9100 CU(AL-0044-3)



Fuente: Labanda - Rodríguez

Gráfico 9: Resistencia a la compresión de probetas de hormigón, SikaPlast 9100 CU(AL-0044-3).

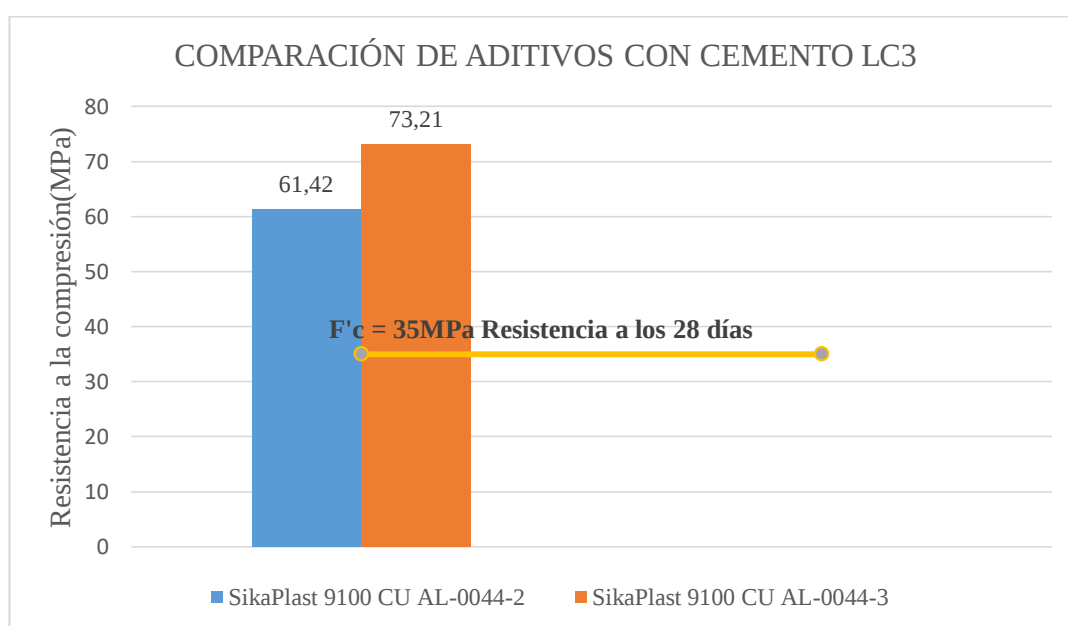


Fuente: Labanda - Rodríguez

En la tabla 38 se puede observar que la mayor resistencia obtenida es con la dosificación que posee el 100% de cemento LC3 que a los 28 días logra una resistencia de 73.21 MPa, seguida de la dosificación con el 85% de cemento GU y el 15% de LC2 con una resistencia a los 28 días de 52.34 MPa. La menor resistencia obtenida es la dosificación que posee el 90% de cemento GU y el 10% de humo de sílice, sin embargo si lograr llegar a la resistencia de diseño.

Se hace análisis comparativo de la resistencia a la compresión del hormigón con probetas fabricadas con cemento LC3 a los 28 días.

Gráfico 10 : Comparación de aditivos con cemento LC3 en hormigón



Fuente: Labanda – Rodríguez

Análisis de mortero con aditivo SikaPlast 9100 CU(AL-0044-2).

A continuación se presenta los resultados de la resistencia a la compresión del hormigón obtenidos con el aditivo SikaPlast 9100CU(AL-0044-2).

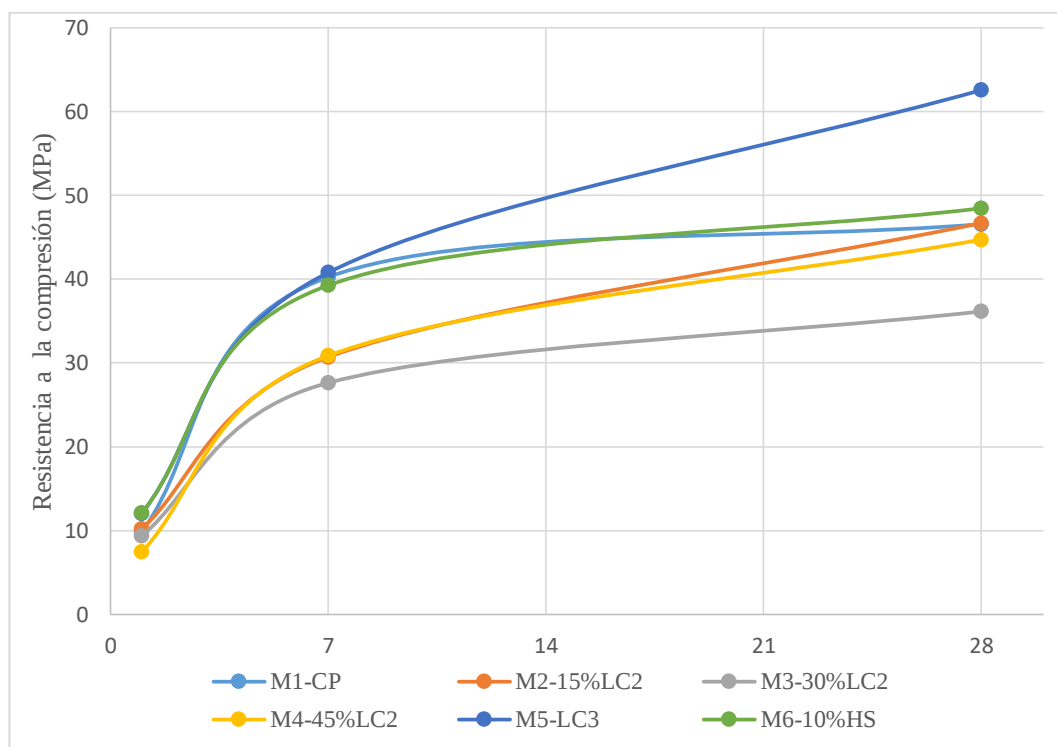
En la tabla 39 se puede notar que la resistencia mayor obtenida es con la dosificación que posee el 100% de cemento LC3 que a los 28 días logra una resistencia de 62.55 MPa, seguida de la dosificación que tiene el 10% de Humo de Silice con una resistencia a los 28 días de 48.45 MPa. La que posee menor resistencia en la muestra 3 con en 30% de LC2 y 70% de cemento GU.

Tabla 39: Resistencia a la compresión de mortero, SikaPlast 9100 CU(AL-0044-2).

1er ADITIVO SikaPlast 9100 CU AL-0044-2						
TIPO DE MEZCLAS	24 HORAS		7 DÍAS		28 DÍAS	
DOSIFICACIÓN	MPA	%	MPA	%	MPA	%
M1-Cemento Atenas (GU)	9.86	28%	40.25	115%	46.56	133%
M2-15%LC2	10.18	29%	30.71	88%	46.68	133%
M3-30%LC2	9.37	27%	27.63	79%	36.14	103%
M4-45%LC2	7.46	21%	30.87	88%	44.71	128%
M5-100%LC3	12.03	34%	40.79	117%	62.55	179%
M6-10%HS	12.13	35%	39.26	112%	48.45	138%

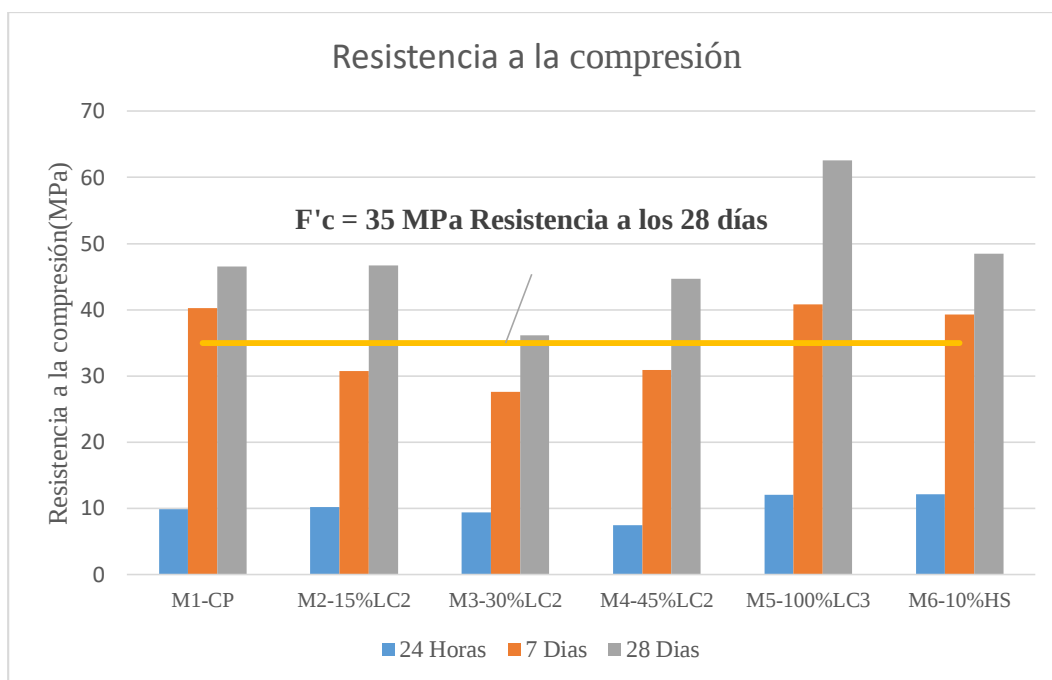
Fuente: Labanda - Rodríguez

Gráfico 11: Relación resistencia vs tiempo de probetas de mortero, SikaPlast 9100 CU(AL-0044-2)



Fuente: Labanda - Rodríguez

Gráfico 12: Resistencia a la compresión de probetas de mortero, SikaPlast 9100 CU(AL-0044-2).



Fuente: Labanda - Rodríguez

Analisis de mortero con aditivo SikaPlast 9100 CU(AL-0044-3).

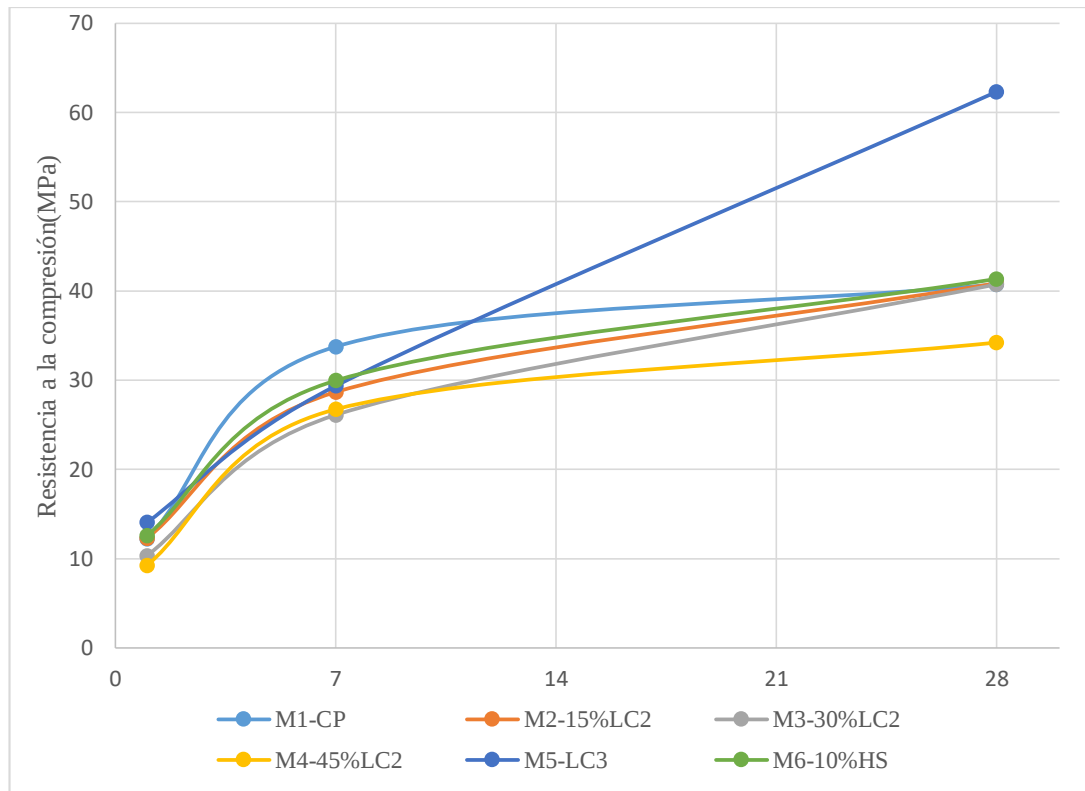
A continuación se presenta los resultados de la resistencia a la compresión del hormigón obtenidos con el aditivo SikaPlast 9100CU(AL-0044-3).

Tabla 40 : Resistencia a la compresión de mortero, SikaPlast 9100 CU(AL-0044-3).

2do ADITIVO SikaPlast 9100 CU AL-0044-3						
TIPO DE MEZCLAS	24 HORAS		7 DÍAS		28 DÍAS	
DOSIFICACIÓN	MPA	%	MPA	%	MPA	%
M1-Cemento Atenas (GU)	12.23	35%	33.76	96%	40.75	116%
M2-15%LC2	12.29	35%	28.67	82%	40.86	117%
M3-30%LC2	10.33	30%	26.11	75%	40.74	116%
M4-45%LC2	9.24	26%	26.74	76%	34.22	98%
M5-100%LC3	14.05	40%	29.36	84%	62.32	178%
M6-10%HS	12.59	36%	29.96	86%	41.35	118%

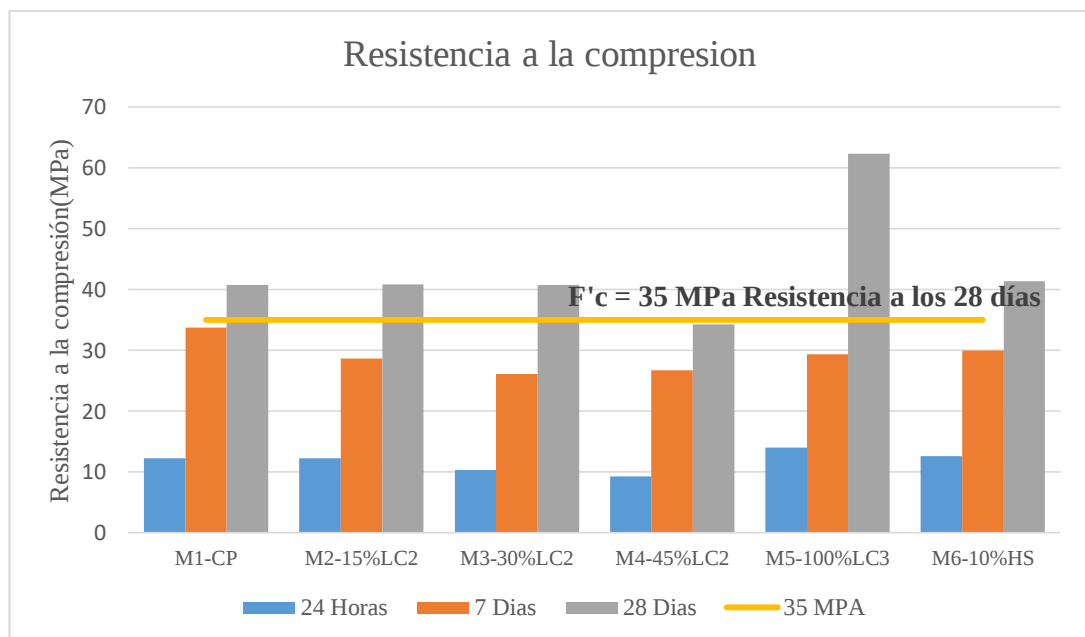
Fuente: Labanda - Rodríguez

Gráfico 13: Relación resistencia vs tiempo de probetas de mortero, SikaPlast 9100 CU(AL-0044-3)



Fuente: Labanda – Rodríguez

Gráfico 14: Resistencia a la compresión de probetas de mortero, SikaPlast 9100 CU(AL-0044-3).

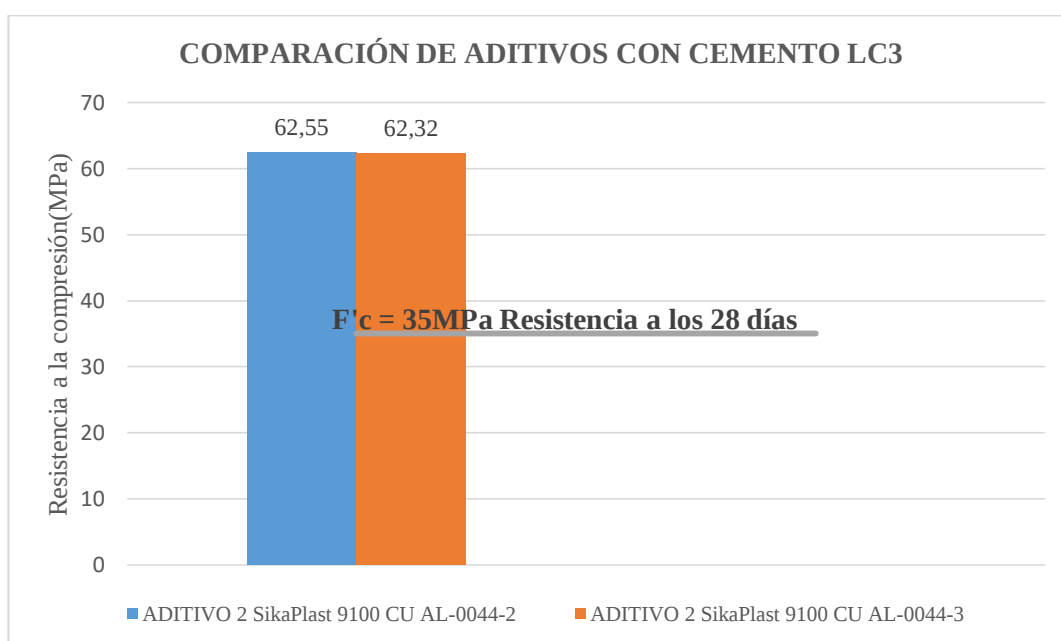


Fuente: Labanda - Rodríguez

En la tabla 40 se puede notar que la resistencia mayor obtenida es con la dosificación que posee el 100% de cemento LC3 que a los 28 días logra una resistencia de 62.32 MPa, seguida de la dosificación que tiene el 10% de Humo de Sílice con una resistencia a los 28 días de 41.35 MPa. La que posee menor resistencia en la muestra 4 con en 45% de LC2 y 55% de cemento GU. Esta no llega a la resistencia requerida, tan solo alcanza el 98%.

Se hace análisis comparativo de la resistencia a la compresión de las muestras de mortero fabricadas con cemento LC3 a los 28 días.

Gráfico 15: Comparación de aditivos con cemento LC3 en mortero



Fuente: Labanda-Rodríguez

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

A continuación se presente el análisis de precio unitario de la fabricación por metro cúbico de hormigón simple y mortero de 35 MPa por cada mezcla diseñada.

- M1- Cemento Atenas (GU)
- M2- 15%LC2
- M3- 30%LC2
- M4- 45%LC2
- M5- LC3
- M6- 10% HS

5.1 Hormigón simple de 35 MPa con 100% Cemento Atenas GU.

Rendimiento: 0.40

Unidad: M³

Tabla 41: Análisis precio unitario hormigón simple con 100% cemento

RUBRO: Hormigón simple F'c 350 Kg/cm ³			UNIDAD m ³	Rendimiento 0.40
EQUIPO Y MAQUINARIA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	REND/HORA	C.TOTAL
Herramientas manuales (5%)				0.798
Concretera	1	4.50	0.40	1.80
SUBTOTAL				2.598
MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORN/HORA	U/H	C.TOTAL
Albañil	4.00	3.62	0.40	5.792
Oficial	7.00	3.58	0.40	10.024
Maestro	1.00	4	0.04	0.16
SUBTOTAL				15.976
MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	C.TOTAL
Cemento Atenas	Saco	9.92	7.5	74.40
Piedra 3/4"	m ³	0.9	20	18.00
Arena	m ³	0.6	15	9.00
Agua	m ³	0.2	1	0.20
Aditivo	Lt	2.97	2	5.94
SUBTOTAL				107.54
COSTO UNITARIO DIRECTO (A+B+C)				126.114
COSTO INDIRECTO (25%)				31.528
COSTO TOTAL				157.642

Fuente: Labanda - Rodríguez

5.2 Hormigón simple de 35 MPa con 15% de LC2.

Rendimiento: 0.40

Unidad: M³

Tabla 42: Análisis precio unitario hormigón simple con 15% de LC2

RUBRO: Hormigón simple F'c 350 Kg/cm ³ con 15% de LC2			UNIDAD m ³	Rendimiento 0.40
EQUIPO Y MAQUINARIA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	REND/HORA	C.TOTAL
Herramientas manuales (5%)				0.798
Concretera	1.00	4.50	0.40	1.80
SUBTOTAL				2.598
MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORN/HORA	U/H	C.TOTAL
Albañil	4.00	3.62	0.40	5.792
Oficial	7.00	3.58	0.40	10.024
Maestro	1.00	4	0.04	0.16
SUBTOTAL				15.976
MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	C.TOTAL
Cemento Atenas	Saco	8.43	7.5	63.23
LC2	Saco	1.49	3.94	5.87
Piedra 3/4"	m ³	0.9	20	18.00
Arena	m ³	0.6	15	9.00
Agua	m ³	0.2	1	0.20
Aditivo	Lt	2.97	2	5.94
SUBTOTAL				102.240
COSTO UNITARIO DIRECTO (A+B+C)				120.814
COSTO INDIRECTO (25%)				30.203
COSTO TOTAL				151.017

Fuente: Labanda - Rodríguez

5.3 Hormigón simple de 35 MPa con 30% de LC2.

Rendimiento: 0.40

Unidad: M³

Tabla 43: Análisis precio unitario hormigón simple con 30% de LC2.

RUBRO: Hormigón simple F'c 350 Kg/cm³ con 30% de LC2			UNIDAD m³	Rendimiento 0.40
EQUIPO Y MAQUINARIA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	REND/HORA	C.TOTAL
Herramientas manuales (5%)				0.798
Concretera	1.00	4.5	0.40	1.80
SUBTOTAL				2.598
MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORN/HORA	U/H	C.TOTAL
Albañil	4.00	3.62	0.40	5.792
Oficial	7.00	3.58	0.40	10.024
Maestro	1.00	4	0.04	0.16
SUBTOTAL				15.976
MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	C.TOTAL
Cemento Atenas	Saco	6.95	7.5	52.13
LC2	Saco	2.98	3.94	11.74
Piedra 3/4"	m ³	0.9	20	18.00
Arena	m ³	0.6	15	9.00
Agua	m ³	0.2	1	0.20
Aditivo	Lt	3.47	2	6.94
SUBTOTAL				98.01
COSTO UNITARIO DIRECTO (A+B+C)				116.584
COSTO INDIRECTO (25%)				29.146
COSTO TOTAL				145.730

Fuente: Labanda - Rodríguez

5.4 Hormigón simple de 35 MPa con 45 % de LC2.

Rendimiento: 0.40

Unidad: M³

Tabla 44: Análisis precio unitario hormigón simple con 45% de LC2

RUBRO: Hormigón simple F'c 350 Kg/cm ³ con 45% de LC2			UNIDAD m ³	Rendimiento 0.40
EQUIPO Y MAQUINARIA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	REND/HORA	C.TOTAL
Herramientas manuales (5%)				0.798
Concretera	1.00	4.5	0.40	1.80
SUBTOTAL				2.598
MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORN/HORA	U/H	C.TOTAL
Albañil	4.00	3.62	0.40	5.792
Oficial	7.00	3.58	0.40	10.024
Maestro	1.00	4	0.04	0.16
SUBTOTAL				15.976
MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	C.TOTAL
Cemento Atenas	Saco	5.46	7.5	40.95
LC2	Saco	4.47	3.94	17.61
Piedra 3/4"	m3	0.9	20	18.00
Arena	m3	0.6	15	9.00
Agua	m3	0.2	1	0.20
Aditivo	Lt	4.46	2	8.92
SUBTOTAL				94.68
COSTO UNITARIO DIRECTO (A+B+C)				113.254
COSTO INDIRECTO (25%)				28.313
COSTO TOTAL				141.567

Fuente: Labanda - Rodríguez

5.5 Hormigón simple de 35 MPa con LC3.

Rendimiento: 0.40

Unidad: M³

Tabla 45: Análisis precio unitario hormigón simple con LC3.

RUBRO: Hormigón simple F'c 350 Kg/cm ³ con 100% de LC3			UNIDAD m ³	Rendimiento 0.40
EQUIPO Y MAQUINARIA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	REND/HORA	C.TOTAL
Herramientas manuales (5%)				0.798
Concretera	1.00	4.5	0.40	1.80
SUBTOTAL				2.598
MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORN/HORA	U/H	C.TOTAL
Albañil	4.00	3.62	0.40	5.792
Oficial	7.00	3.58	0.40	10.024
Maestro	1.00	4	0.04	0.16
SUBTOTAL				15.976
MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	C.TOTAL
Cemento LC3	Saco	9.92	6	59.52
Piedra 3/4"	m ³	0.9	20	18.00
Arena	m ³	0.6	15	9.00
Agua	m ³	0.2	1	0.20
Aditivo	Lt	5.45	2	10.90
SUBTOTAL				97.62
COSTO UNITARIO DIRECTO (A+B+C)				116.194
COSTO INDIRECTO (25%)				29.048
COSTO TOTAL				145.242

Fuente: Labanda - Rodríguez

5.6 Hormigón simple de 35 MPa con 10% de humo de sílice.

Rendimiento: 0.40

Unidad: M³

Tabla 46: Análisis precio unitario hormigón simple con 10% de humo de sílice.

RUBRO: Hormigón simple F'c 350 Kg/cm³ con 10% de Humo de Sílice			UNIDAD m³	Rendimiento 0.40
EQUIPO Y MAQUINARIA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	REND/HORA	C.TOTAL
Herramientas manuales (5%)				0.798
Concretera	1.00	4.5	0.40	1.80
SUBTOTAL				2.598
MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORN/HORA	U/H	C.TOTAL
Albañil	4.00	3.62	0.40	5.792
Oficial	7.00	3.58	0.40	10.024
Maestro	1.00	4	0.04	0.16
SUBTOTAL				15.976
MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	C.TOTAL
Cemento Atenas	Saco	8.93	7.5	66.98
Humo de sílice	Kg	49.6	3.1	153.76
Piedra 3/4"	m ³	0.9	20	18.00
Arena	m ³	0.6	15	9.00
Agua	m ³	0.2	1	0.20
Aditivo	Lt	2.97	2	5.94
SUBTOTAL				253.88
COSTO UNITARIO DIRECTO (A+B+C)				272.454
COSTO INDIRECTO (25%)				68.113
COSTO TOTAL				340.567

Fuente: Labanda - Rodríguez

5.7 Mortero de 35 MPa con 100% de Cemento Atenas GU.

Rendimiento: 0.40

Unidad: M³

Tabla 47: Análisis precio unitario mortero de 35 MPa con 100% de cemento Atenas.

RUBRO: Mortero F'c 350 Kg/cm ³			UNIDAD m ³	Rendimiento 0.40
EQUIPO Y MAQUINARIA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	REND/HORA	C.TOTAL
Herramientas manuales (5%)				0.798
Concretera	1.00	4.5	0.40	1.80
SUBTOTAL				2.598
MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORN/HORA	U/H	C.TOTAL
Albañil	4.00	3.62	0.40	5.792
Oficial	7.00	3.58	0.40	10.024
Maestro	1.00	4	0.04	0.16
SUBTOTAL				15.976
MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	C.TOTAL
Cemento Atenas	Saco	20	7.5	150.00
Arena	m ³	1.2	15	18.00
Agua	m ³	0.4	1	0.40
Aditivo	Lt	6	2	12.00
SUBTOTAL				180.40
COSTO UNITARIO DIRECTO (A+B+C)				198.974
COSTO INDIRECTO (25%)				49.743
COSTO TOTAL				248.717

Fuente: Labanda - Rodríguez

5.8 Mortero de 35 MPa con 15 % de LC2

Rendimiento: 0.40

Unidad: M³

Tabla 48: Análisis precio unitario mortero de 35 Mpa con 15% de LC2.

RUBRO: Mortero F'c 350 Kg/cm ³ con 15 % de LC2			UNIDAD m ³	Rendimiento 0.40
EQUIPO Y MAQUINARIA				
EQUIPO				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	REND/HORA	C.TOTAL
Herramientas manuales (5%)				0.798
Concretera	1.00	4.5	0.40	1.80
SUBTOTAL				2.598
MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORN/HORA	U/H	C.TOTAL
Albañil	4.00	3.62	0.40	5.792
Oficial	7.00	3.58	0.40	10.024
Maestro	1.00	4	0.04	0.16
SUBTOTAL				15.976
MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	C.TOTAL
Cemento Atenas	Saco	17	7.5	127.50
LC2	Saco	3	3.94	11.82
Arena	m ³	1.2	15	18.00
Agua	m ³	0.4	1	0.40
Aditivo	Lt	6	2	12.00
SUBTOTAL				169.72
COSTO UNITARIO DIRECTO (A+B+C)				188.294
COSTO INDIRECTO (25%)				47.073
COSTO TOTAL				235.367

Fuente: Labanda - Rodríguez

5.9 Mortero de 35 MPa con 30 % de LC2.

Rendimiento: 0.40

Unidad: M³

Tabla 49: Análisis precio unitario mortero de 35 Mpa con 30% de LC2.

RUBRO: Mortero F'c 350 Kg/cm ³ con 30% de LC2			UNIDAD m ³	Rendimiento 0.40
EQUIPO Y MAQUINARIA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	REND/HORA	C.TOTAL
Herramientas manuales (5%)				0.798
Concretera	1.00	4.5	0.40	1.80
SUBTOTAL				2.598
MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORN/HORA	U/H	C.TOTAL
Albañil	4.00	3.62	0.40	5.792
Oficial	7.00	3.58	0.40	10.024
Maestro	1.00	4	0.04	0.16
SUBTOTAL				15.976
MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	C.TOTAL
Cemento Atenas	Saco	14	7.5	105.00
LC2	Saco	6	3.94	23.64
Arena	m ³	1.2	15	18.00
Agua	m ³	0.4	1	0.40
Aditivo	Lt	7	2	14.00
SUBTOTAL				161.04
COSTO UNITARIO DIRECTO (A+B+C)				179.614
COSTO INDIRECTO (25%)				44.903
COSTO TOTAL				224.517

Fuente: Labanda - Rodríguez

5.10 Mortero de 35 MPa con 45% de LC2.

Rendimiento: 0.40

Unidad: M³

Tabla 50: Análisis precio unitario mortero de 35 MPa con 45% de LC2.

RUBRO: Mortero F'c 350 Kg/cm ³ con 45% de LC2			UNIDAD m ³	Rendimiento 0.40
EQUIPO Y MAQUINARIA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	REND/HORA	C.TOTAL
Herramientas manuales (5%)				0.798
Concretera	1.00	4.5	0.40	1.80
SUBTOTAL				2.598
MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORN/HORA	U/H	C.TOTAL
Albañil	4.00	3.62	0.40	5.792
Oficial	7.00	3.58	0.40	10.024
Maestro	1.00	4	0.04	0.16
SUBTOTAL				15.976
MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	C.TOTAL
Cemento Atenas	Saco	11	7.5	82.50
LC2	Saco	9	3.94	35.46
Arena	m ³	1.2	15	18.00
Agua	m ³	0.4	1	0.40
Aditivo	Lt	9	2	18.00
SUBTOTAL				154.36
COSTO UNITARIO DIRECTO (A+B+C)				172.934
COSTO INDIRECTO (25%)				43.233
COSTO TOTAL				216.167

Fuente: Labanda - Rodríguez

5.11 Mortero de 35 MPa con LC3.

Rendimiento: 0.40

Unidad: M³

Tabla 51: Análisis precio unitario mortero de 35 MPa con 100% LC3.

RUBRO: Mortero F'c 350 Kg/cm³ con 100% de LC3			UNIDAD m³	Rendimiento 0.40
EQUIPO Y MAQUINARIA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	REND/HORA	C.TOTAL
Herramientas manuales (5%)				0.798
Concretera	1.00	4.5	0.40	1.80
SUBTOTAL				2.598
MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORN/HORA	U/H	C.TOTAL
Albañil	4.00	3.62	0.40	5.972
Oficial	7.00	3.58	0.40	10.024
Maestro	1.00	4	0.04	0.16
SUBTOTAL				15.976
MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	C.TOTAL
Cemento LC3	Saco	20	6	120.00
Arena	m ³	1.2	15	18.00
Agua	m ³	0.4	1	0.40
Aditivo	Lt	11	2	22.00
SUBTOTAL				160.40
COSTO UNITARIO DIRECTO (A+B+C)				178.614
COSTO INDIRECTO (25%)				44.653
COSTO TOTAL				223.267

Fuente: Labanda - Rodríguez

5.12 Mortero de 35 MPa con 10% de Humo de sílice.

Rendimiento: 0.40

Unidad: M³

Tabla 52: Análisis precio unitario mortero de 35 MPa con 10% de humo de sílice.

RUBRO: Mortero F'c 350 Kg/cm ³ con 10% de Humo de Sílice			UNIDAD m ³	Rendimiento 0.40
EQUIPO Y MAQUINARIA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	REND/HORA	C.TOTAL
Herramientas manuales (5%)				0.798
Concretera	1.00	4.5	0.40	1.80
SUBTOTAL				2.598
MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORN/HORA	U/H	C.TOTAL
Albañil	4.00	3.62	0.40	5.792
Oficial	7.00	3.58	0.40	10.024
Maestro	1.00	4	0.04	0.16
SUBTOTAL				15.976
MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	C.TOTAL
Cemento Atenas	Saco	18	7.5	135.00
Humo de sílice	Kg	100	3.1	310.00
Arena	m ³	1.2	15	18.00
Agua	m ³	0.4	1	0.40
Aditivo	Lt	6	2	12.00
SUBTOTAL				475.40
COSTO UNITARIO DIRECTO (A+B+C)				493.974
COSTO INDIRECTO (25%)				123..493
COSTO TOTAL				617.467

Fuente: Labanda - Rodríguez

5.13 Relación costo/beneficio Hormigón

En la siguiente tabla se presenta la relación de costo beneficio:

Tabla 53: Relación Costo/Beneficio Hormigon

DESCRIPCIÓN	RESISTENCIA DEL HORMIGÓN A LOS 28 DIAS (MPa)	PRECIO UNITARIO (\$)	EMISIONES DE CO2 DEL CEMENTO Y DE LAS ADICIONES MINERALES (KgCO2/Ton cemento)	REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES DE CO2 (%)
M1-Cemento Atenas	42.24	157.642	890.63	
M2-15%LC2	34.57	151.017	799.36	10.0%
M3-30%LC2	42.74	145.730	708.1	36.6%
M4-45%LC2	53.2	141.567	616.83	10.2%
M5-100%LC3	61.42	145.242	564.39	20.5%
M6-10%HS	42.67	340.567	801.57	30.7%

Fuente: Labanda - Rodríguez

Los valores de las emisiones de CO2 del cemento y de las adiciones minerales fueron tomadas de “Utilización de la adición de arcilla calcinada mas caliza (LC2) en la producción de hormigones de altas prestaciones” elaborado por Prudente - Vallejo en el 2019.

El uso de LC3 brinda mejores beneficios que la utilización del cemento Portland debido a que obtuvo mayor resistencia a la compresión con una diferencia de 19.18 MPa y genera un ahorro de \$12.40 por cada metro cúbico de hormigón producido.

5.14 Relación costo/beneficio Mortero

En la siguiente tabla se presenta la relación de costo beneficio:

Tabla 54: Relación Costo/Beneficio Morteros

DESCRIPCIÓN	RESISTENCIA DE MORTEROS A LOS 28 DIAS (MPa)	PRECIO UNITARIO (\$)	EMISIONES DE CO2 DEL CEMENTO Y DE LAS ADICIONES MINERALES (KgCO2/Ton cemento)	REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES DE CO2 (%)
M1-Cemento Atenas	46.56	248.713	890.63	
M2-15%LC2	46.68	235.367	799.36	10.0%
M3-30%LC2	36.14	224.517	708.1	36.6%
M4-45%LC2	44.71	216.167	616.83	10.2%
M5-100%LC3	62.55	223.267	564.39	20.5%
M6-10%HS	48.45	617.467	801.57	30.7%

Fuente: Labanda – Rodríguez

El uso de LC3 brinda mejores beneficios que la utilización del cemento Portland debido a que obtuvo mayor resistencia a la compresión con una diferencia de 15.99 MPa y genera un ahorro de \$25.45 por cada metro cúbico de Mortero producido.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CONCLUSIONES:

- La muestra con mayor resistencia de compresión en hormigón y mortero para los dos tipos de aditivos estudiados SikaPlast 9100 CU(AL-0044-2) y SikaPlast 9100 CU(AL-0044-3) es el que contiene el 100% del cemento LC3, superando a las demás dosificaciones y a la muestra patrón.
- El hormigón elaborado con el 100% de cemento LC3 para un metro cúbico es más económico que la muestra patrón con el 100% de cemento Atenas (GU) con una diferencia de \$12.4
- Se obtuvieron mejores resultados de la resistencia a la compresión de hormigón con el aditivo SikaPlast 9100 CU(AL-0044-3) debido a que a los 28 días estos valores eran mayores comparado con el aditivo SikaPlast 9100 CU(AL-0044-2), sin embargo, la muestra con Cemento Atenas (GU) con el aditivo SikaPlast 9100 CU(AL-0044-3) no llegó a la resistencia requerida, limitadamente alcanzó el 73%.
- El aditivo SikaPlast 9100 CU(AL-0044-2) brindó mejores resultados que el aditivo SikaPlast 9100 CU(AL-0044-3) en la elaboración de mortero que a los 28 días logro mayores resistencia a la compresión.
- Los resultados de la resistencia a la compresión de hormigón con la adición mineral del LC2 varia en los dos tipos de aditivos, con el aditivo SikaPlast 9100 CU(AL-0044-2) cuando mayor sea el porcentaje de LC2 mejores resultados se obtendrán mientras que con el uso del aditivo SikaPlast 9100 CU(AL-0044-3) se obtendrán mejores resultados si el porcentaje de LC2 son menores.
- La mayor resistencia a la compresión en el hormigón que se obtuvo de todas las muestra es la que contiene el 100% del cemento LC3 y con aditivo SikaPlast 9100 CU(AL-0044-3) que a los 28 días alcanzó un valor 73.21 MPa

- La mayor resistencia a la compresión en el mortero que se obtuvo de todas las muestras es la que contiene el 100% del cemento LC3 y con aditivo SikaPlast 9100 CU(AL-0044-3) que a los 28 días alcanzó un valor 73.21 MPa.

RECOMENDACIONES:

- Utilizar un aditivo que produzcan una mezcla de hormigón mas fluido donde se pueda tener mejor trabajabilidad al momento de realizar las muestras.
- Realizar estudios posteriores con otros aditivos y diferentes proporciones de la adición mineral LC2 con Cemento Atenas (GU), utilizando varios protocolos de mezclado.
- Incluir un estudio de implementación en elementos reales para medir como influye la puesta en obra de las dosificaciones iguales a las usadas en la investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- ASTM C-33. (2003). *Especificación estándar para agregados para concreto*. West Conshohocken, Estados Unidos.
- 156, N. I. (2009). *Cemento hidráulico. Determinación de la densidad*. Quito , Quito, Ecuador.
- 195, N. I. (2016). *Cemento hidráulica. Determinación del contenido de aire en morteros*. Quito, Quito, Ecuador.
- 211.1, C. A. (2002). *Práctica estándar para seleccionar el proporcionamiento de concreto de peso normal, pesado y masivo (ACI 211.1-91) (Reaprov. 2002)*. Farmington Hills, Estados Unidos.
- 3036, N. I. (2018). *Hormigón fresco. Determinación del contenido de aire por el método volumétrico*. Quito, Quito, Ecuador.
- ACI 318. (SEPTIEMBRE de 2014). REQUISITOS DE REGLAMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL. FARMINGTON, MICHIGAN, USA. Obtenido de <https://www.concrete.org/>
- ALEJANDRO, E. &. (13 de SEPTIEMBRE de 2019). DISEÑO DE UN HORMIGÓN PERMEABLE MEDIANTE EL MÉTODO ACI-211.1 UTILIZANDO CANTOS RODADOS DEL RÍO MANANTIAL DE GUANGALA QUE SE ENCUENTRA UBICADO EN LA COMUNA DE MANANTIAL DE GUANGALA. LA LIBERTAD, SANTA ELENA, ECUADOR. Obtenido de <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/5034/1/UPSE-TIC-2019-0013.pdf>
- Alvarez, J. F. (2017). Estudios de reología de hormigones fluidos de 35MPa producidos con el bioproducto CBQ-VTC y el aditivo químico SRC 20. *Departamento de Ingeniería Civil*. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas", La habana.
- APUNTES INGENIERIA CIVIL. (13 de OCTUBRE de 2010). *FLUIDEZ DEL CEMENTO*. Obtenido de <https://apuntesingenierocivil.blogspot.com/2010/10/fluidez-del-cemento.html>
- ARANCIBIA, F. (24 de OCTUBRE de 2014). *HUMO DE SILICE*. Obtenido de <https://facingyconst.blogspot.com/2010/10/humo-de-silice-en-hormigon-de-alta.html>
- ASOCEM. (21 de MAYO de 2018). *CEMENTO DE ARCILLA CALCINADA*. Obtenido de <http://www.asocem.org.pe/noticias-internacionales/lc3-cemento-de-arcilla-calcinada>
- ASTM C 231. (2014). *Método de Ensayo Normalizado de Contenido de Aire del Concreto Recién Mezclado Mediante el Método por Presión*. West Conshohocken, EEUU. Obtenido de https://kupdf.net/download/astm-c231-14-pdf_58ee0dbfdc0d60bb35da9832_pdf
- ASTM C 494. (2008). *Especificación Normalizada de Aditivos Químicos para Concreto*. West Conshohocken. Obtenido de

- <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/C494C494M-08A-SP.htm>
- ASTM C 597. (2016). *VELOCIDAD DE PULSO A TRAVES DEL CONCRETO*. West Conshohocken. Obtenido de <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?C597>
- C231/C231M, A. (2014). *Método de ensayo normalizado de contenido de aire del concreto recién mezclado. Mediante el método por presión*. West Conshohocken, Estados Unidos.
- CASTILLO JUMBO, R. V. (28 de FEBRERO de 2019). "EFECTOS DE LOS AGENTES INTENSIFICADORES DE MOLIENDA EN LA ADICION MINERAL LC2". *"EFECTOS DE LOS AGENTES INTENSIFICADORES DE MOLIENDA EN LA ADICION MINERAL LC2"*. SANTA ELENA , SANTA ELENA, ECUADOR.
- CIVILGEEKS. (11 de ABRIL de 2011). *ENSAYO NO DESTRUCTIVOS EN EL CONCRETO-ULTRASONIDO*. Obtenido de <https://civilgeeks.com/2011/04/11/ensayos-no-destructivos-del-concreto-ultrasonido/>
- DURAND, J. (s.f.). *ACADEMIA*. Obtenido de INTRODUCCION GENERAL DEL CONCRETO: https://www.academia.edu/13214366/INTRODUCCION_GENERAL_A_L_CONCRETO
- EMILIA, G. &. (2012). *LAS ARCILLAS: PROPIEDADES Y USOS. LAS ARCILLAS: PROPIEDADES Y USOS*, 25.
- García, A. J. (2 de JUNIO de 2017). *EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN (LC2) DE ARCILLA CALCINADA-CALIZA-YESO, EN HORMIGONES DE 35 MPA DESTINADOS A AMBIENTE AGRESIVOS*. Obtenido de DSPACE: <http://dspace.uclv.edu.cu/handle/123456789/9118>
- GARCIA, A. J. (2017). Evaluación de la adición (LC2) de arcilla calcinada-caliza-yeso, en hormigones de MPa destinados a ambientes agresivos. *Evaluación de la adición (LC2) de arcilla calcinada-caliza-yeso, en hormigones de MPa destinados a ambientes agresivos*. De las villas, Cuba.
- IDICT, C. (30 de julio de 2019). *ECURED*. Obtenido de ECURED: <https://www.ecured.cu/index.php?title=Cemento&action=info>
- IMCYC. (FEBRERO de 2001). *PROPIEDADES DEL CONCRETO QUE CONTIENE CENIZA VOLANTE*. Obtenido de <http://www.imcyc.com/revista/2001/febrero2001/propiedades.htm>
- INECYC. (2007). *MANUAL DE CONSEJOS PRATICOS DE HORMIGON*. En INECYC, *MANUAL DE CONSEJOS PRATICOS DE HORMIGON* (pág. 127). QUITO: INECYC.
- INGENIERO DE CAMINOS. (2010). *ADITIVOS PARA CONCRETO*. Obtenido de <https://ingeniero-de-caminos.com/aditivos-para-concreto/>
- INSTITUTO ESPAÑOL DEL CEMENTO Y SUS APLICACIONES. (26 de MARZO de 2018). *IECA*. Obtenido de <https://www.ieca.es/componentes-y-propiedades-del-cemento/>

- M. ANTONI, J. R. (2012). Cement substitution by a combination of metakaolin and limestone. *ELSERVIER*, 1579-1589.
- MCCANN, C. A. (1 de OCTUBRE de 2014). *OVERBLOG*. Obtenido de OVERBLOG: <http://cinabrio.over-blog.es/article-cemento-el-romano-sigue-siendo-el-mejor-milenario-puerto-de-cosa-124694239.html>
- Minetti. (2008). *Guia Practica: Hormigon Elaborado. Hormigones Minetti*. Italia.
- Modenese, P. (23 de MAYO de 2016). *MORTERO*. Obtenido de <https://www.manualdeobra.com/blog/mortero>
- MUNDO CONSTRUCTOR. (20 de MARZO de 2019). *MORTEROS PARA CONSTRUCCION*. Obtenido de <https://www.mundoconstructor.com.ec/morteros-para-construccion/>
- NEC. (2013). CARGAS Y MATERIALES. En NEC. QUITO. Obtenido de http://giec.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2013/09/NEC2011-CAP1-CARGAS-Y-MATERIALES_2013.pdf
- NTC. (10 de MAYO de 1995). *DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO DE MEZCLAS DE CONCRETO POR MEDIO DE SU RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN*. BOGOTA. Obtenido de <https://www.coursehero.com/file/41268847/NTC890pdf/>
- NTE INEN 157. (2009). *Cemento hidráulico. Determinación de la consistencia normal. Método de Vicat*. Quito, Quito, Ecuador.
- NTE INEN 1573. (2010). *HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO*. QUITO. Obtenido de https://181.112.149.204/buzon/normas/nte_inen_1573-1.pdf
- NTE INEN 1576. (2011). *HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. ELABORACIÓN Y CURADO EN OBRA DE ESPECÍMENES PARA ENSAYO*. QUITO. Obtenido de https://181.112.149.204/buzon/normas/nte_inen_1576.pdf
- NTE INEN 1578. (2010). *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento*. Quito, Quito, Ecuador.
- NTE INEN 158. (2009). *Cemento hidráulico. Determinación del tiempo de fraguado. Método de vicat*. Quito, Quito, Ecuador.
- NTE INEN 2500. (2009). *CEMENTO HIDRÁULICO. ESPECIFICACIONES PARA LA MESA DE FLUJO USADA EN ENSAYOS DE CEMENTO HIDRÁULICO*. QUITO. Obtenido de https://181.112.149.204/buzon/normas/nte_inen_2500.pdf
- NTE INEN 488. (2009). *DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTEROS EN CUBOS DE 50 mm DE ARISTA*. QUITO: NTE INEN. Obtenido de <https://181.112.149.204/buzon/normas/488.pdf>
- NTE INEN 697. (2010). *Áridos. Determinación del material más fino que pasa el tamiz con aberturas de 75 um (No. 200), mediante lavado*. Quito, Quito, Ecuador.

- NTE INEN 856. (2010). *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (Gravedad específica) y absorción del árido fino*. Quito, Quito, Ecuador.
- NTE INEN 857. (2010). *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (Gravedad específica) y absorción del árido grueso*. Quito, Quito, Ecuador.
- NTE INEN 858. (2010). *Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos*. Quito, Quito, Ecuador.
- NTE INEN 862. (2011). *Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad*. Quito, Quito, Ecuador.
- NTE INEN-696. (2011). *Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso*. Quito, Quito, Ecuador.
- ORRALA, F. G. (2 de ABRIL de 2015). ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON ADICIÓN DE PUZOLANA OBTENIDA DE LA CALCINACIÓN DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAÍZ PRODUCIDO EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA. LA LIBERTAD, SANTA ELENA, ECUADOR. Obtenido de <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/2272/1/UPSE-TIC-2015-009.pdf>
- Perez, J. F. (29 de MAYO de 2019). CUBADEBATE. Obtenido de CUBADEBATE: <http://www.cubadebate.cu/especiales/2019/05/24/produccion-de-cemento-lc3-en-cuba-el-camino-de-la-autarquia/#.Xb2ZvZpKhPY>
- PRUDENTE, M. &. (18 de ENERO de 2019). UTILIZACIÓN DE LA ADICIÓN DE ARCILLA CALCINADA MÁS CALIZA (LC2) EN LA PRODUCCIÓN DE HORMIGONES DE ALTAS PRESTACIONES. LA LIBERTAD, SANTA ELENA, ECUADOR. Obtenido de <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/4772/1/UPSE-TIC-2019-0002.pdf>
- PUERTAS, F. (1993). ESCORIAS DE ALTO HORNO: COMPOSICION Y COMPORTAMIENTO HIDRAULICO. 12.
- QUIMINET. (20 de SEPTIEMBRE de 2011). *PIEDRA CALIZA*. Obtenido de <https://www.quiminet.com/articulos/la-piedra-caliza-en-la-industria-de-la-construccion-2575113.htm>
- REIBAN OJEDA, D. V. (SEPTIEMBRE de 2017). EVALUACION EXPERIMENTAL DE LAS CARACTERISTICAS MECANICAS DE MATRICES CEMENTICIAS CON ADICION DE CASCARA DE HUEVO PULVERIZADO DESHIDRATADO Y SUS APLICACIONES EN LA ARQUITECTURA. *EVALUACION EXPERIMENTAL DE LAS CARACTERISTICAS MECANICAS DE MATRICES CEMENTICIAS CON ADICION DE CASCARA DE HUEVO PULVERIZADO DESHIDRATADO Y SUS APLICACIONES EN LA ARQUITECTURA*. LOJA, LOJA, ECUADOR.
- ROCAS Y MINERALES. (2 de FEBRERO de 2018). *CALIZA*. Obtenido de <https://www.rocasyminales.net/caliza/>

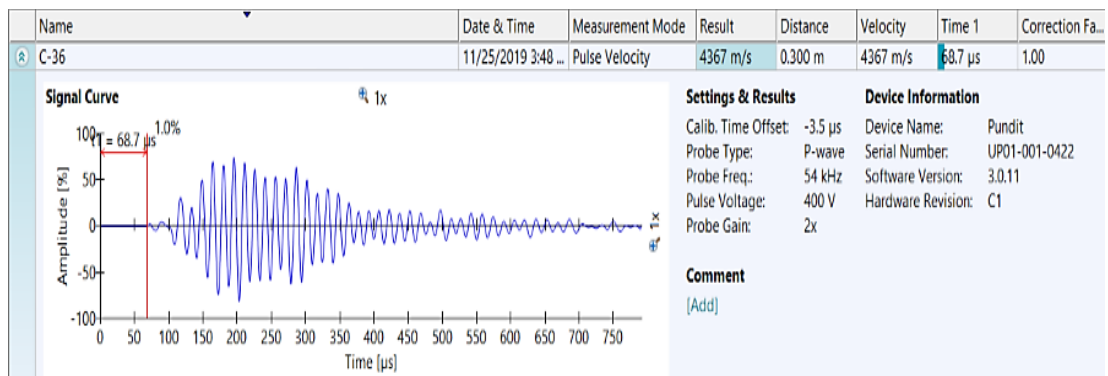
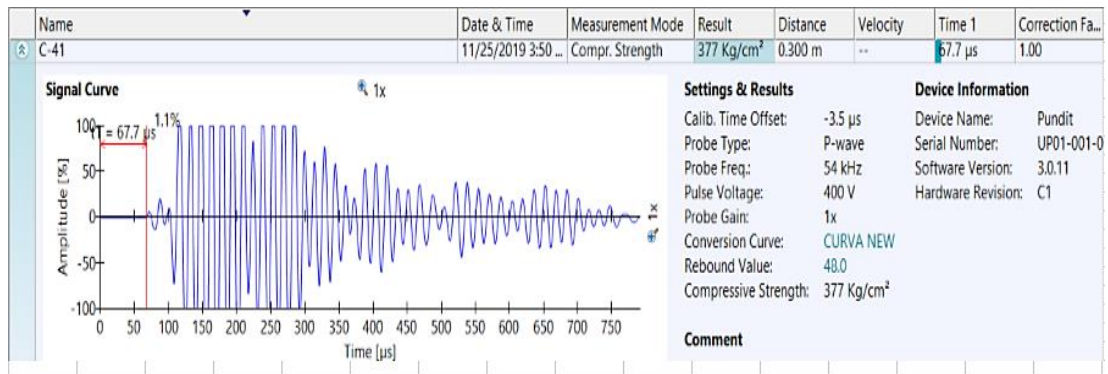
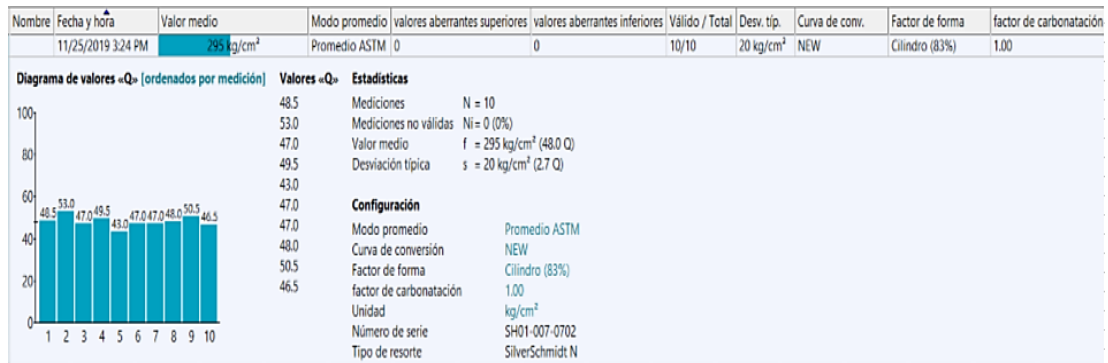
- ROMERO, A. (2014). DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN POR EL MÉTODO A.C.I. Y EFECTOS DE LA ADICIÓN DE CENIZAS VOLANTES DE TERMOTASAJERO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. BOGOTÁ, COLOMBIA. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/915/Diseno%20de%20mezclas%20de%20hormigon%20por%20el%20metodo%20a.c.i..pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- SIKA. (2019). *HOJA TÉCNICA SIKA VISCOCRETE-9100*. QUITO. Obtenido de <https://www.teknobayres.com.ar/tienda/sika-sika-viscocrete-6/>
- SOLUCIONES PRACTICAS. (2018). PUZOLANAS. 6. Obtenido de <https://www.solucionespracticas.org.pe/>
- Toirac, C. A. (2015). EMPLEO DE ZEOLITAS MICRINIZADAS EN HORMIGONES, RELACION ENTRE EL TAMAÑO DE PARTICULAS Y LAS PRESTACIONES. *MICONs*, pg 6.
- YANGUATIN, H. &. (2017). REACTIVIDAD PUZOLANICA DE ARCILLAS CAOLINITICA. *INGENIERIA DE CONSTRUCCION*. Obtenido de https://www.academia.edu/34683121/Reactividad_puzol%C3%A1nica_de_arcillas_caolin%C3%ADticas_una_revisi%C3%B3n

ANEXO

ANEXO A. DATOS ESCLEROMETRO

Anexo A.1 Cemento GU con aditivo sikaplast 9100 CU(AL-0044-2)

PROBETA 1



PROBETA 2

Nombre	Fecha y hora	Valor medio	Modo promedio	valores aberrantes superiores	valores aberrantes inferiores	Válido / Total	Desv. tip.	Curva de conv.	Factor de forma	factor de carbonatación
	11/25/2019 3:27 PM	340 kg/cm ²	Promedio ASTM	0	0	10/10	30 kg/cm ²	NEW	100%	1.00

Diagrama de valores «Q» [ordenados por medición]		Valores «Q»	Estadísticas
	41.0	Mediciones	N = 10
	48.5	Mediciones no válidas	Ni = 0 (0%)
	49.5	Valor medio	f = 340 kg/cm ² (46.8 Q)
	46.0	Desviación típica	s = 30 kg/cm ² (3.1 Q)
	48.0	Configuración	
	47.5	Modo promedio	Promedio ASTM
	44.5	Curva de conversión	NEW
	52.0	Factor de forma	100%
	47.5	factor de carbonatación	1.00
	44.0	Unidad	kg/cm ²
		Número de serie	SH01-007-0702
		Tipo de resorte	SilverSchmidt N

Name	Date & Time	Measurement Mode	Result	Distance	Velocity	Time 1	Correction Fa...
C-43	11/25/2019 3:54 ...	Compr. Strength	379 Kg/cm ²	0.300 m	--	67.1 μs	1.00

Signal Curve 		Settings & Results Calib. Time Offset: -3.5 μs Probe Type: P-wave Probe Freq.: 54 kHz Pulse Voltage: 400 V Probe Gain: 1x Conversion Curve: CURVA NEW Rebound Value: 46.8 Compressive Strength: 379 Kg/cm ²	Device Information Device Name: Pundit Serial Number: UP01-001-0 Software Version: 3.0.11 Hardware Revision: C1
Comment [Add]			

Name	Date & Time	Measurement Mode	Result	Distance	Velocity	Time 1	Correction Fa...
C-48	11/25/2019 3:54 ...	Pulse Velocity	4458 m/s	0.300 m	4458 m/s	67.3 μs	1.00

Signal Curve 		Settings & Results Calib. Time Offset: -3.5 μs Probe Type: P-wave Probe Freq.: 54 kHz Pulse Voltage: 400 V Probe Gain: 1x	Device Information Device Name: Pundit Serial Number: UP01-001-0422 Software Version: 3.0.11 Hardware Revision: C1
Comment [Add]			

PROBETA 3

Nombre	Fecha y hora	Valor medio	Modo promedio	valores aberrantes superiores	valores aberrantes inferiores	Válido / Total	Desv. tip.	Curva de conv.	Factor de forma	factor de carbonatación
	11/25/2019 3:29 PM	310 kg/cm ²	Promedio ASTM	0	0	10/10	38 kg/cm ²	NEW	100%	1.00

Diagrama de valores «Q» [ordenados por medición]		Valores «Q»	Estadísticas
	40.5	Mediciones	N = 10
	42.0	Mediciones no válidas	Ni = 0 (0%)
	44.5	Valor medio	f = 310 kg/cm ² (43.7 Q)
	46.0	Desviación típica	s = 38 kg/cm ² (3.4 Q)
	45.5	Configuración	
	45.0	Modo promedio	Promedio ASTM
	38.5	Curva de conversión	NEW
	43.0	Factor de forma	100%
	40.0	factor de carbonatación	1.00
	50.0	Unidad	kg/cm ²
		Número de serie	SH01-007-0702
		Tipo de resorte	SilverSchmidt N

Name	Date & Time	Measurement Mode	Result	Distance	Velocity	Time 1	Correction Fa...
C-55	11/25/2019 3:56 ...	Compr. Strength	313 Kg/cm ²	0.300 m	--	70.7 μs	1.00

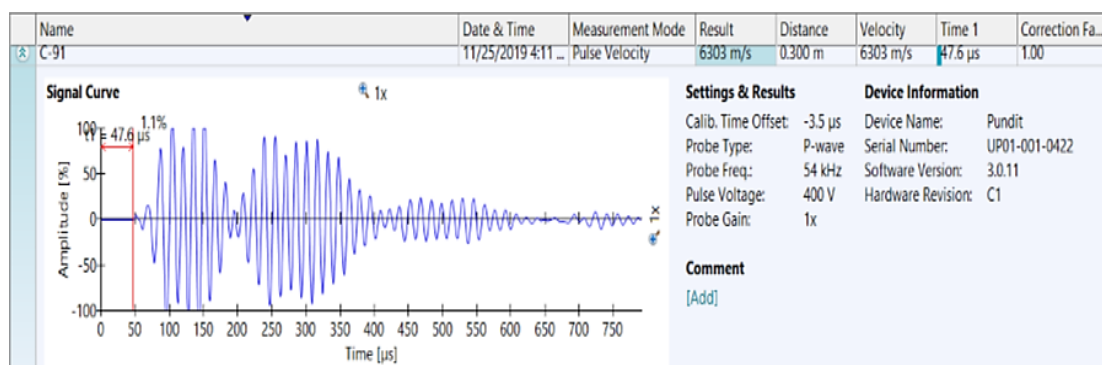
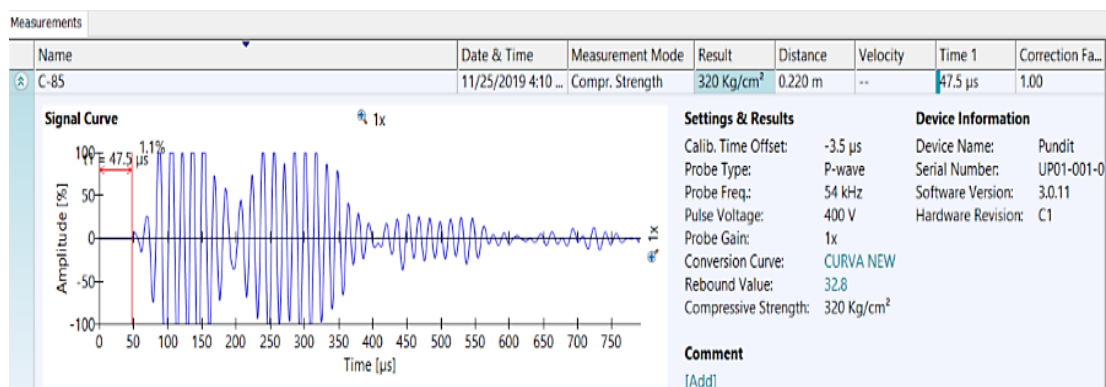
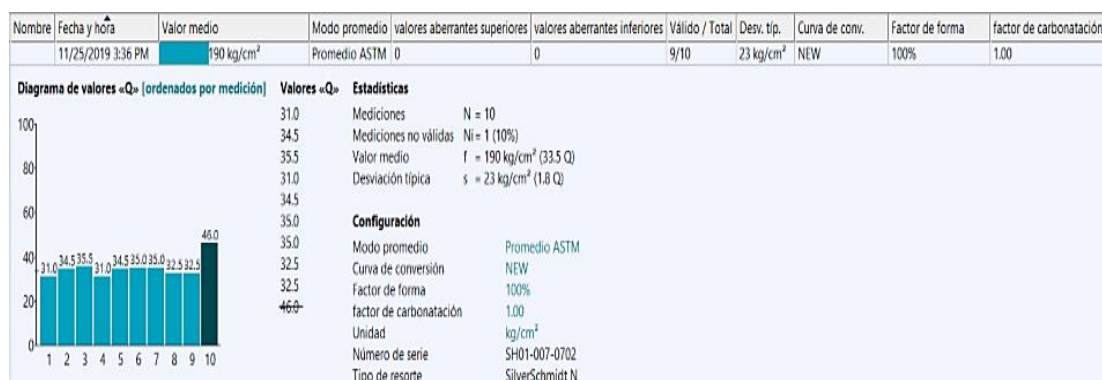
Signal Curve 		Settings & Results Calib. Time Offset: -3.5 μs Probe Type: P-wave Probe Freq.: 54 kHz Pulse Voltage: 400 V Probe Gain: 1x Conversion Curve: CURVA NEW Rebound Value: 43.7 Compressive Strength: 313 Kg/cm ²	Device Information Device Name: Pundit Serial Number: UP01-001-0 Software Version: 3.0.11 Hardware Revision: C1
Comment		[Add]	

Name	Date & Time	Measurement Mode	Result	Distance	Velocity	Time 1	Correction Fa...
C-50	11/25/2019 3:56 ...	Pulse Velocity	4178 m/s	0.300 m	4178 m/s	71.8 μs	1.00

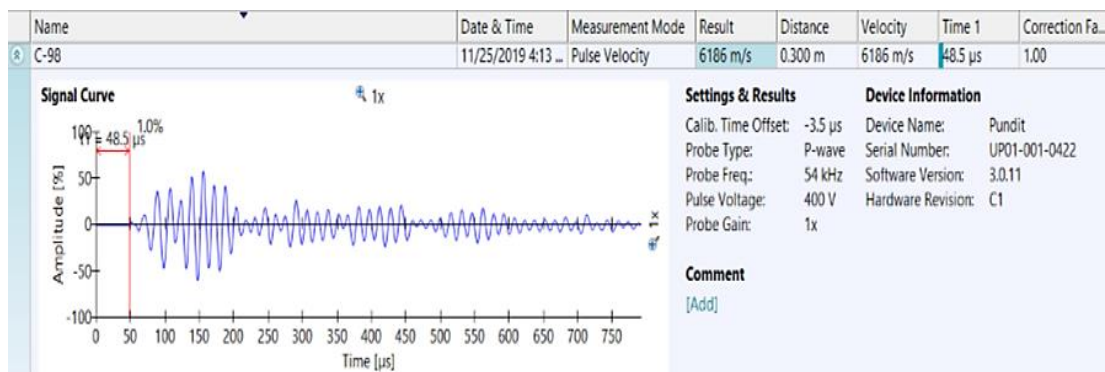
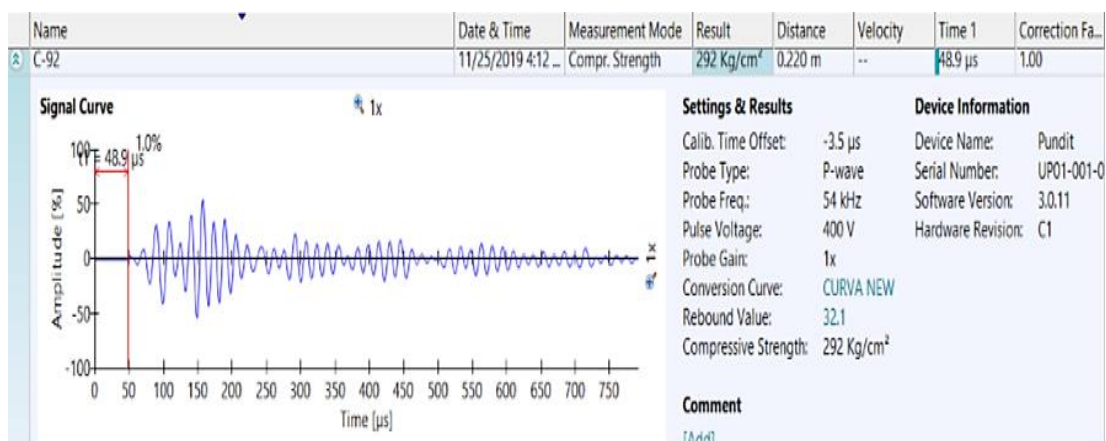
Signal Curve 		Settings & Results Calib. Time Offset: -3.5 μs Probe Type: P-wave Probe Freq.: 54 kHz Pulse Voltage: 400 V Probe Gain: 1x	Device Information Device Name: Pundit Serial Number: UP01-001-0422 Software Version: 3.0.11 Hardware Revision: C1
Comment		[Add]	

Anexo A.2 Cemento GU con 15% de LC2 con aditivo sikaplast 9100 CU(AL-0044-2)

PROBETA 1



PROBETA 2



PROBETA 3

Nombre	Fecha y hora	Valor medio	Modo promedio	valores aberrantes superiores	valores aberrantes inferiores	Válido / Total	Desv. tip.	Curva de conv.	Factor de forma	factor de carbonatación
	11/25/2019 3:38 PM	175 kg/cm ²	Promedio ASTM	0	0	10/10	10 kg/cm ²	NEW	100%	1.00

Diagrama de valores «Q» [ordenados por medición]	Valores «Q»	Estadísticas
	32.5	Mediciones N = 10
	31.5	Mediciones no válidas Ni = 0 (0%)
	31.5	Valor medio f = 175 kg/cm ² (32.1 Q)
	34.0	Desviación típica s = 10 kg/cm ² (0.9 Q)
	32.0	
	33.0	
	31.0	
	32.5	
	32.0	
	31.0	

Configuración
Modo promedio Promedio ASTM
Curva de conversión NEW
Factor de forma 100%
factor de carbonatación 1.00
Unidad kg/cm ²
Número de serie SH01-007-0702
Tipo de resorte SilverSchmidt N

Name	Date & Time	Measurement Mode	Result	Distance	Velocity	Time 1	Correction Fa...
C-84	11/25/2019 4:10 ...	Compr. Strength	333 Kg/cm ²	0.220 m	--	47.1 μs	1.00

Signal Curve	Settings & Results	Device Information
	Calib. Time Offset: -3.5 μs Probe Type: P-wave Probe Freq.: 54 kHz Pulse Voltage: 400 V Probe Gain: 1x Conversion Curve: CURVA NEW Rebound Value: 33.5 Compressive Strength: 333 Kg/cm ²	Device Name: Pundit Serial Number: UP01-001-0 Software Version: 3.0.11 Hardware Revision: C1

Comment
[Add]

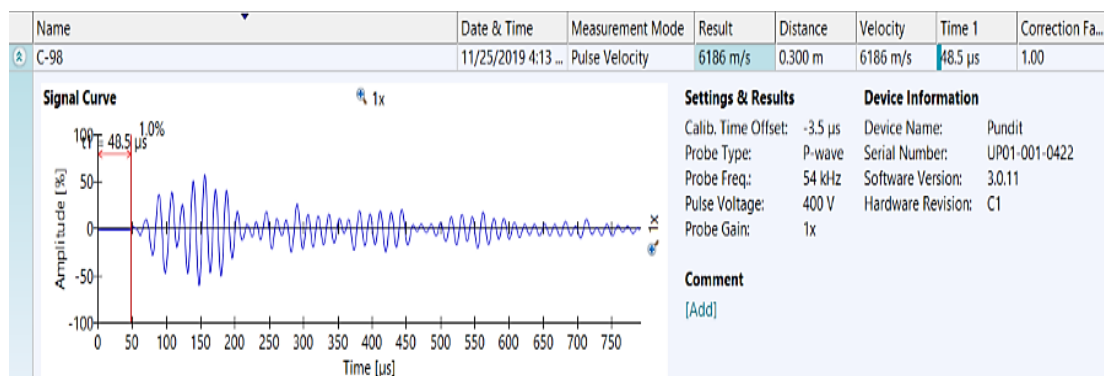
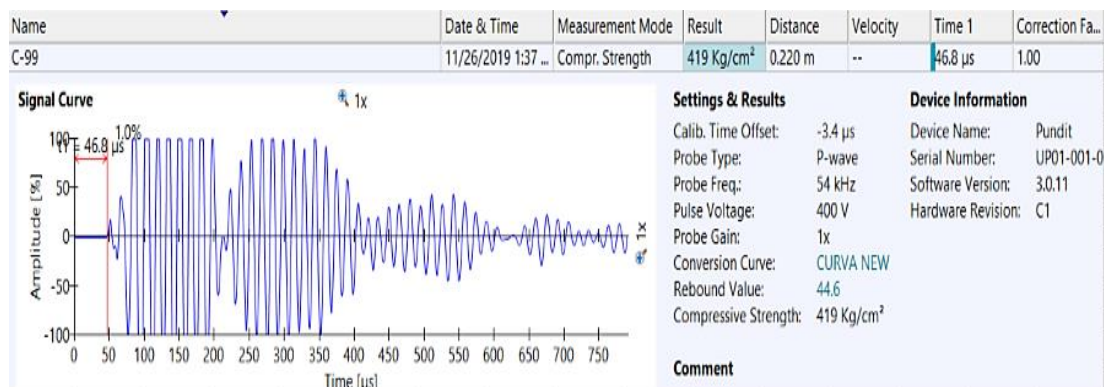
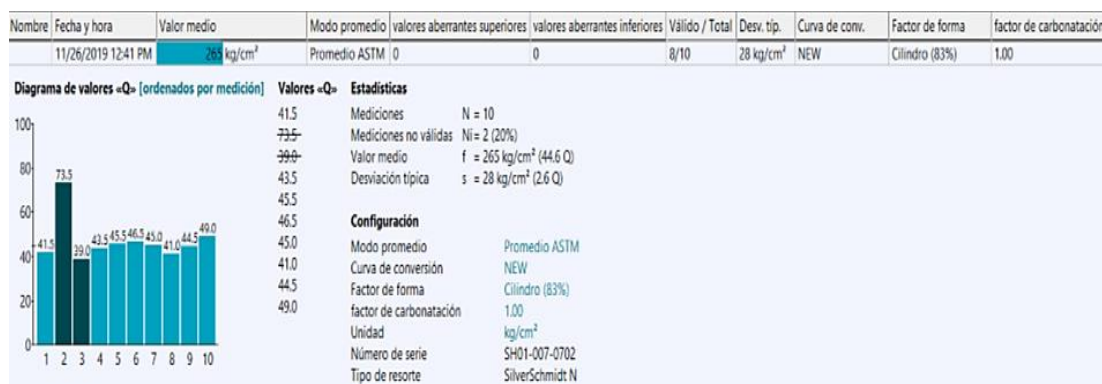
Name	Date & Time	Measurement Mode	Result	Distance	Velocity	Time 1	Correction Fa...
C-78	11/25/2019 4:07 ...	Pulse Velocity	6198 m/s	0.300 m	6198 m/s	48.4 μs	1.00

Signal Curve	Settings & Results	Device Information
	Calib. Time Offset: -3.5 μs Probe Type: P-wave Probe Freq.: 54 kHz Pulse Voltage: 400 V Probe Gain: 1x	Device Name: Pundit Serial Number: UP01-001-0422 Software Version: 3.0.11 Hardware Revision: C1

Comment
[Add]

Anexo A.3 Cemento GU con 30% de LC2 con aditivo sikaplast 9100 CU(AL-0044-2)

PROBETA 1



Nombre	Fecha y hora	Valor medio	Modo promedio	valores aberrantes superiores	valores aberrantes inferiores	Válido / Total	Desv. típ.	Curva de conv.	Factor de forma	factor de carbonatación
	11/26/2019 12:42 PM	270 kg/cm²	Promedio ASTM	0	0	10/10	30 kg/cm²	NEW	Cilindro (83%)	1.00

Diagrama de valores «Q» [ordenados por medición]

Medición	Valor «Q» (kg/cm²)
1	47.5
2	50.0
3	48.5
4	46.5
5	40.0
6	45.5
7	44.5
8	46.5
9	42.0
10	42.0

Valores «Q» Estadísticas

Mediciones N = 10

Mediciones no válidas Ni = 0 (0%)

Valor medio $\bar{x}$ = 270 kg/cm² (45.3 Q)

Desviación típica s = 30 kg/cm² (3.2 Q)

Configuración

Modo promedio Promedio ASTM

Curva de conversión NEW

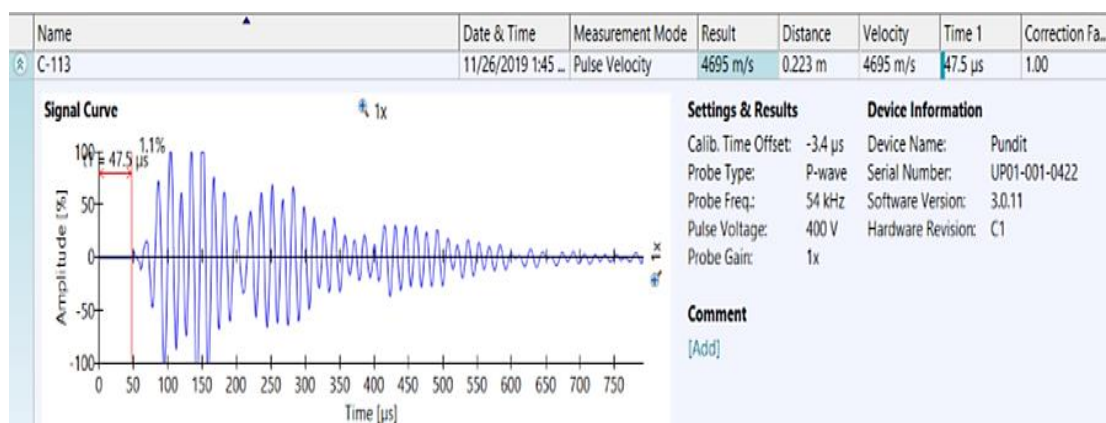
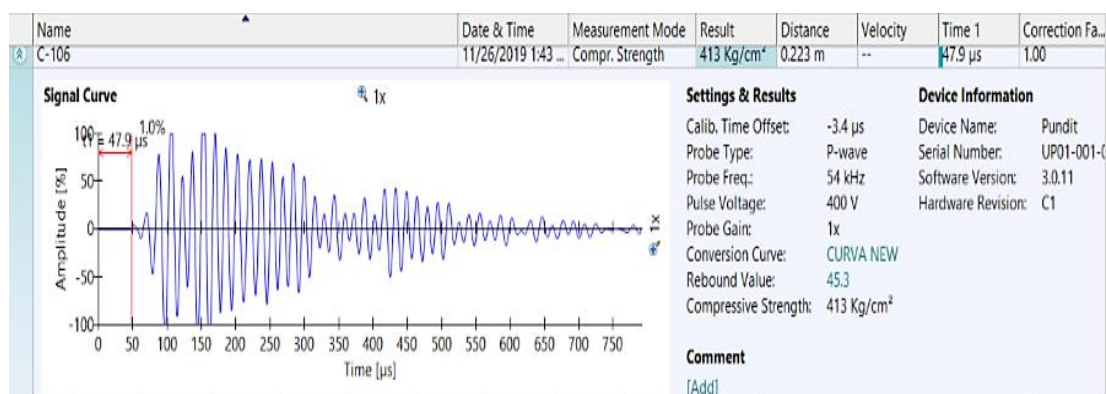
Factor de forma Cilindro (83%)

factor de carbonatación 1.00

Unidad kg/cm²

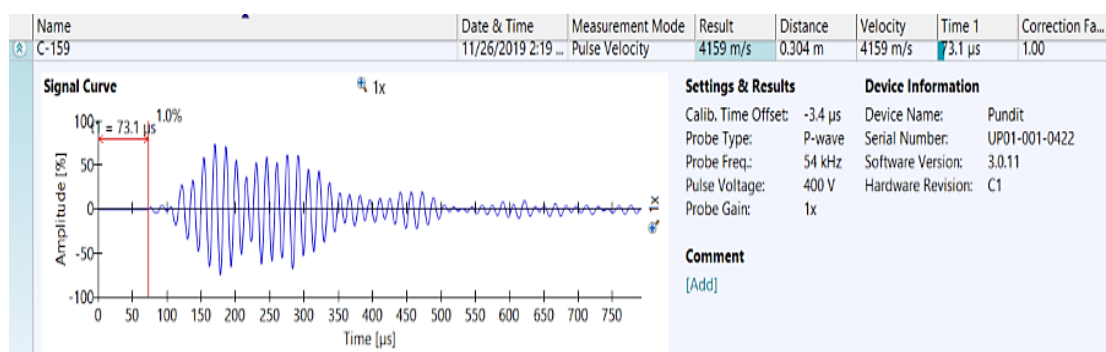
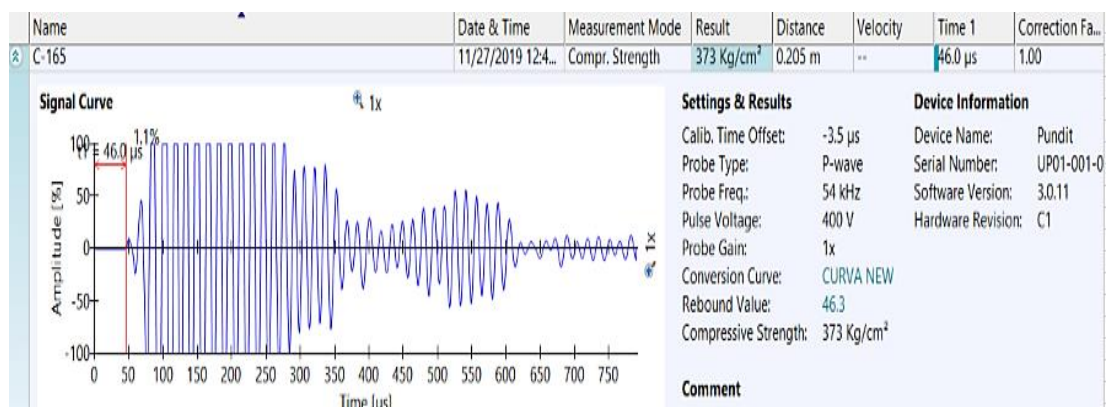
Número de serie SH01-007-0702

Tipo de resorte SilverSchmidt N

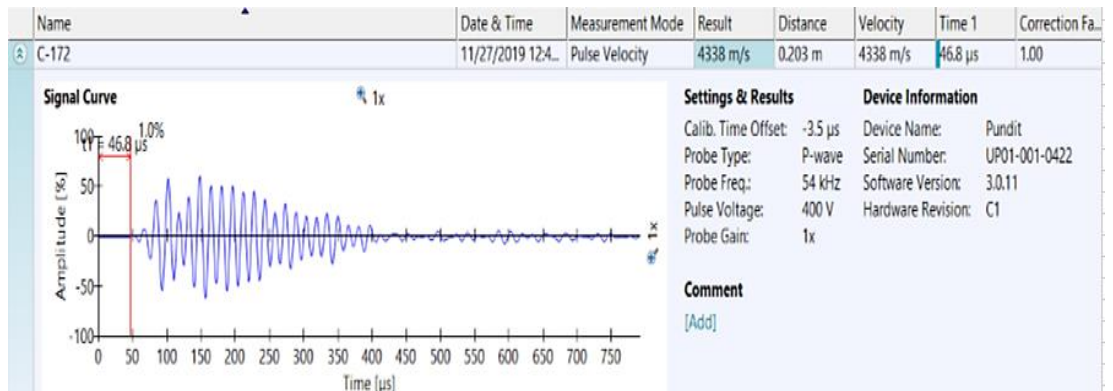
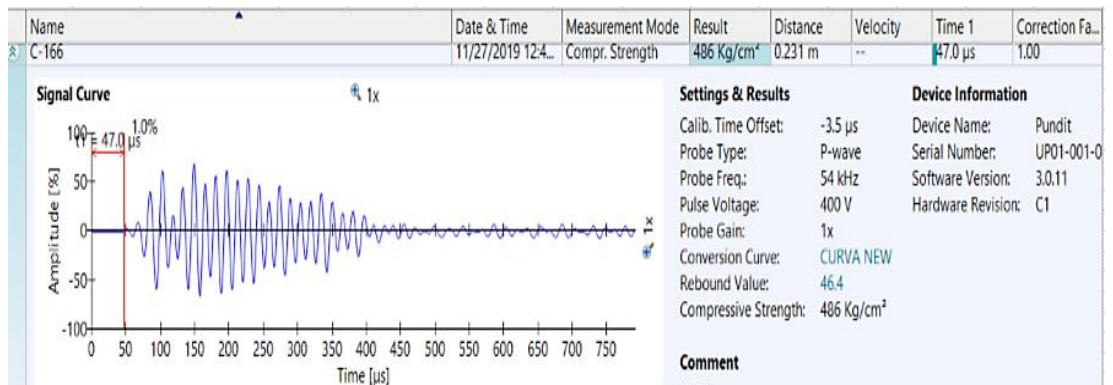


Anexo A.4 Cemento GU con 45% de LC2 con aditivo sikaplast 9100 CU(AL-0044-2)

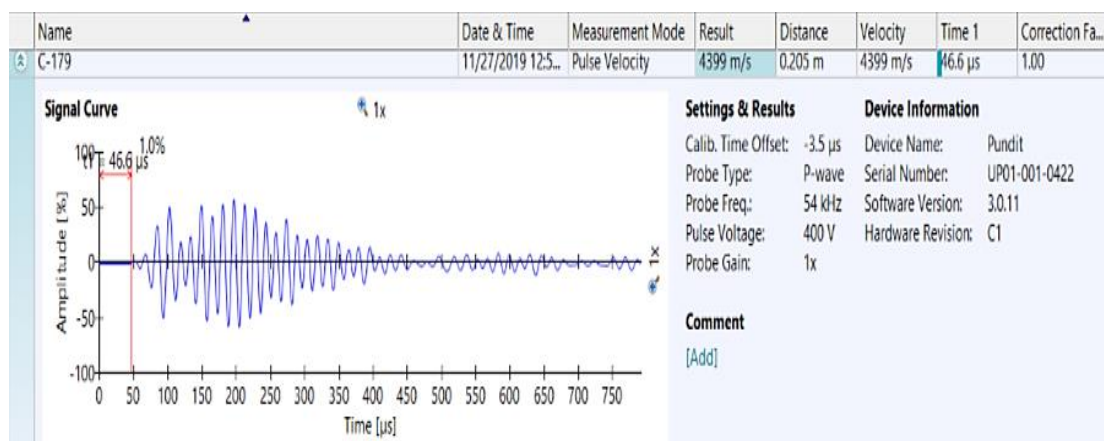
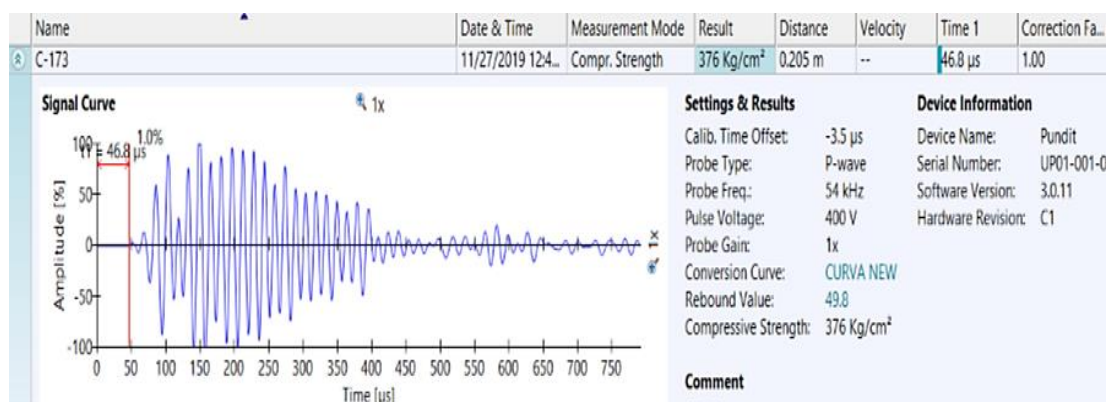
PROBETA 1



PROBETA 2

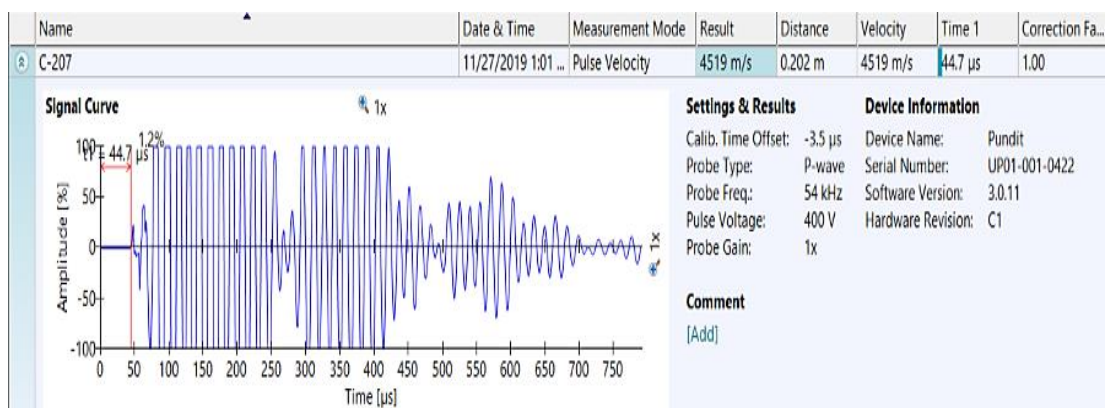
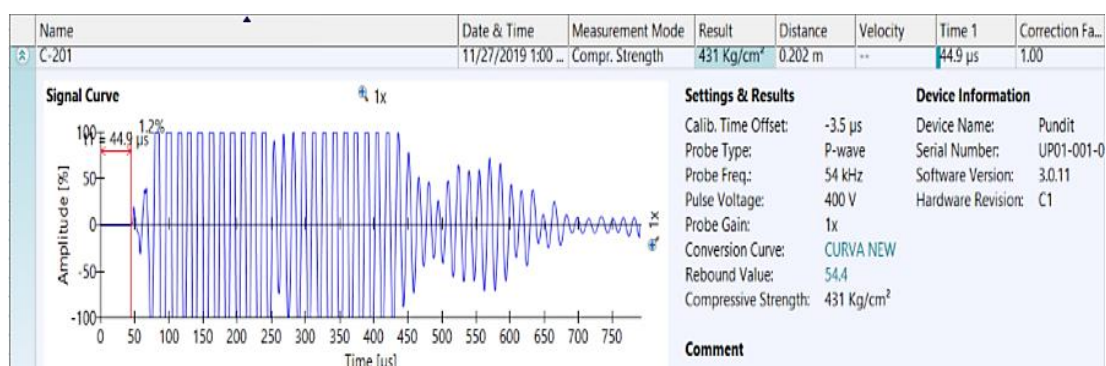


PROBETA 3



Anexo A.5 Cemento LC3 con aditivo sikaplast 9100 CU(AL-0044-2)

PROBETA 1



PROBETA 2

Nombre	Fecha y hora	Valor medio	Modo promedio	valores aberrantes superiores	valores aberrantes inferiores	Válido / Total	Dev. tip.	Curva de conv.	Factor de forma	factor de carbonatación
	11/27/2019 12:36 PM	670 kg/cm ²	Promedio ASTM	0	0	9/10	140 kg/cm ²	Curve EU	Cubo 150mm (100%)	1.00

Diagrama de valores «Q» [ordenados por medición]		Valores «Q»	Estadísticas
		57.5	Mediciones N = 10
		53.0	Mediciones no válidas Ni = 1 (10%)
		55.0	Valor medio f = 670 kg/cm ² (55.4 Q)
		56.0	Desviación típica s = 140 kg/cm ² (3.2 Q)
		46.5	
		59.0	Configuración
		59.5	Modo promedio Promedio ASTM
		54.0	Curva de conversión Curve EU
		56.0	Factor de forma Cubo 150mm (100%)
		49.0	factor de carbonatación 1.00
			Unidad kg/cm ²
			Número de serie SH01-007-0702
			Tipo de resorte Silverschmidt N

Name	Date & Time	Measurement Mode	Result	Distance	Velocity	Time 1	Correction Fa...
C-208	11/27/2019 1:02 ...	Compr. Strength	432 Kg/cm ²	0.203 m	--	45.3 μs	1.00

Signal Curve 		Settings & Results Calib. Time Offset: -3.5 μs Probe Type: P-wave Probe Freq.: 54 kHz Pulse Voltage: 400 V Probe Gain: 1x Conversion Curve: CURVA NEW Rebound Value: 55.4 Compressive Strength: 432 Kg/cm ²	Device Information Device Name: Pundit Serial Number: UP01-001-0 Software Version: 3.0.11 Hardware Revision: C1
Comment			

Name	Date & Time	Measurement Mode	Result	Distance	Velocity	Time 1	Correction Fa...
C-215	11/27/2019 1:03 ...	Pulse Velocity	4481 m/s	0.203 m	4481 m/s	45.3 μs	1.00

Signal Curve 		Settings & Results Calib. Time Offset: -3.5 μs Probe Type: P-wave Probe Freq.: 54 kHz Pulse Voltage: 400 V Probe Gain: 1x	Device Information Device Name: Pundit Serial Number: UP01-001-0422 Software Version: 3.0.11 Hardware Revision: C1
Comment			

PROBETA 3

Nombre	Fecha y hora	Valor medio	Modo promedio	valores aberrantes superiores	valores aberrantes inferiores	Válido / Total	Desv. tip.	Curva de conv.	Factor de forma	factor de carbonatación
	11/27/2019 12:36 PM	700 kg/cm ²	Promedio ASTM	0	0	8/10	105 kg/cm ²	Curve EU	Cubo 150mm (100%)	1.00

Diagrama de valores «Q» [ordenados por medición]		Valores «Q»	Estadísticas
		53.5	Mediciones N = 10
		52.5	Mediciones no válidas Ni = 2 (20%)
		54.5	Valor medio f = 700 kg/cm ² (56.1 Q)
		58.0	Desviación típica s = 105 kg/cm ² (2.3 Q)
		91.0	
		53.5	
		59.5	Configuración
		57.5	Modo promedio Promedio ASTM
		54.5	Curva de conversión Curve EU
		57.5	Factor de forma Cubo 150mm (100%)
			factor de carbonatación 1.00
			Unidad kg/cm ²
			Número de serie SH01-007-0702
			Tipo de resorte Silverschmidt N

Name	Date & Time	Measurement Mode	Result	Distance	Velocity	Time 1	Correction Fa...
C-216	11/27/2019 1:04 ...	Compr. Strength	439 Kg/cm ²	0.203 m	--	45.2 μs	1.00

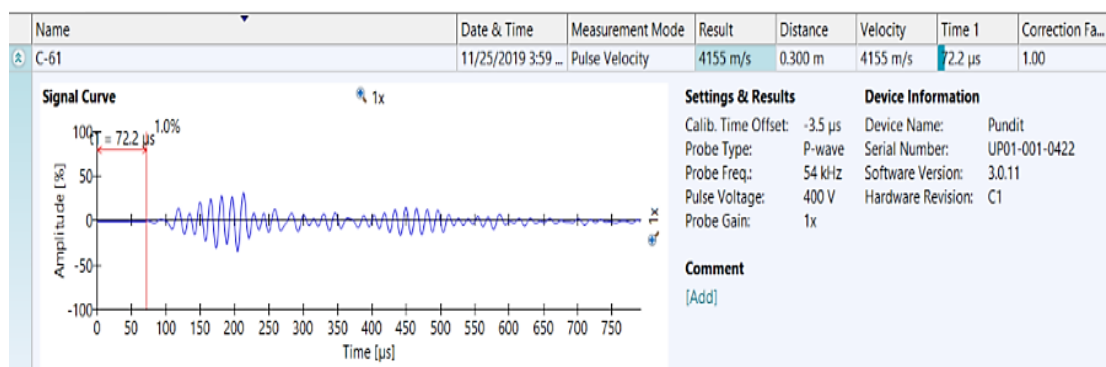
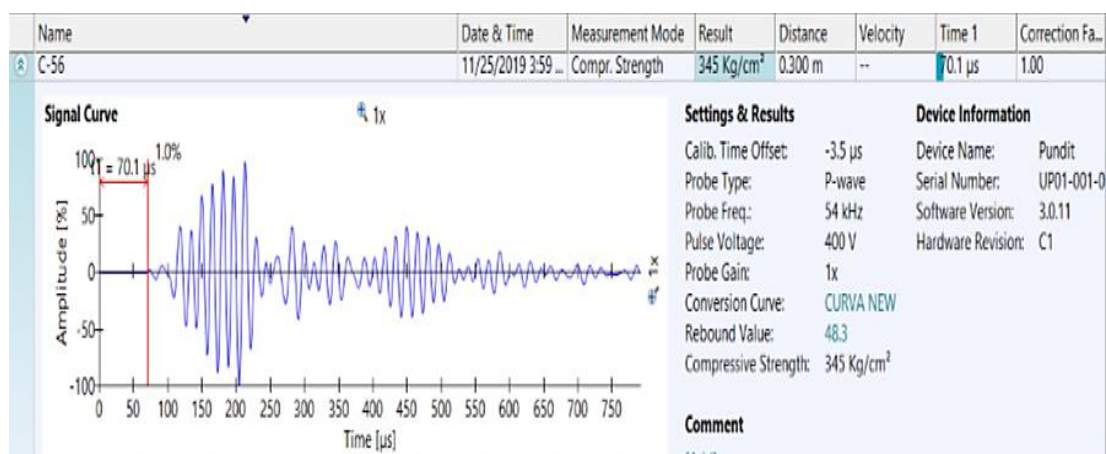
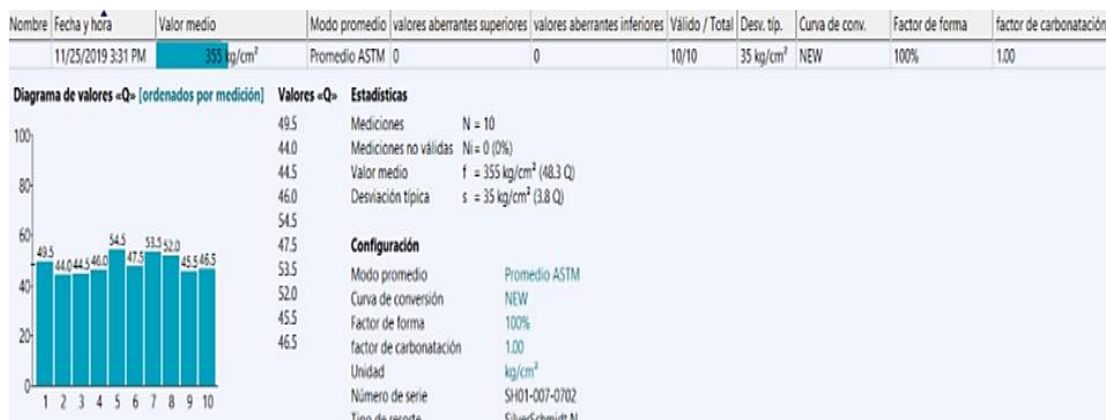
Signal Curve 		Settings & Results Calib. Time Offset: -3.5 μs Probe Type: P-wave Probe Freq.: 54 kHz Pulse Voltage: 400 V Probe Gain: 1x Conversion Curve: CURVA NEW Rebound Value: 56.1 Compressive Strength: 439 Kg/cm ²	Device Information Device Name: Pundit Serial Number: UP01-001-0 Software Version: 3.0.11 Hardware Revision: C1
Comment			

Name	Date & Time	Measurement Mode	Result	Distance	Velocity	Time 1	Correction Fa...
C-220	11/27/2019 1:05 ...	Pulse Velocity	4491 m/s	0.203 m	4491 m/s	45.2 μs	1.00

Signal Curve 		Settings & Results Calib. Time Offset: -3.5 μs Probe Type: P-wave Probe Freq.: 54 kHz Pulse Voltage: 400 V Probe Gain: 1x	Device Information Device Name: Pundit Serial Number: UP01-001-0422 Software Version: 3.0.11 Hardware Revision: C1
Comment		[Add]	

Anexo A.6 Cemento GU con 10% de humo de silice con aditivo sikaplast 9100 CU(AL-0044-2)

PROBETA 1



PROBETA 2

Nombre	Fecha y hora	Valor medio	Modo promedio	valores aberrantes superiores	valores aberrantes inferiores	Válido / Total	Desv. tip.	Curva de conv.	Factor de forma	factor de carbonatación
	11/25/2019 3:35 PM	335 kg/cm ²	Promedio ASTM	0	0	10/10	30 kg/cm ²	NEW	100%	1.00

Diagrama de valores «Q» [ordenados por medición]		Valores «Q»	Estadísticas
	42.0	Mediciones	N = 10
	46.6	Mediciones no válidas	Ni = 0 (0%)
	51.0	Valor medio	f = 335 kg/cm ² (46.3 Q)
	52.0	Desviación típica	s = 30 kg/cm ² (3.2 Q)
	47.0	Configuración	
	44.0	Modo promedio	Promedio ASTM
	47.0	Curva de conversión	NEW
	46.5	Factor de forma	100%
	45.5	factor de carbonatación	1.00
	42.5	Unidad	kg/cm ²
		Número de serie	SH01-007-0702
		Tipo de resorte	SilverSchmidt N

Name	Date & Time	Measurement Mode	Result	Distance	Velocity	Time 1	Correction Fa...
C-69	11/25/2019 4:03 ...	Compr. Strength	321 Kg/cm ²	0.300 m	--	70.7 µs	1.00

Signal Curve 		Settings & Results Calib. Time Offset: -3.5 µs Probe Type: P-wave Probe Freq.: 54 kHz Pulse Voltage: 400 V Probe Gain: 1x Conversion Curve: CURVA NEW Rebound Value: 45.3 Compressive Strength: 321 Kg/cm ²	Device Information Device Name: Pundit Serial Number: UP01-001-0 Software Version: 3.0.11 Hardware Revision: C1
Comment [Add]			

Name	Date & Time	Measurement Mode	Result	Distance	Velocity	Time 1	Correction Fa...
C-62	11/25/2019 4:00 ...	Pulse Velocity	3778 m/s	0.300 m	3778 m/s	79.4 µs	1.00

Signal Curve 		Settings & Results Calib. Time Offset: -3.5 µs Probe Type: P-wave Probe Freq.: 54 kHz Pulse Voltage: 400 V Probe Gain: 1x	Device Information Device Name: Pundit Serial Number: UP01-001-0422 Software Version: 3.0.11 Hardware Revision: C1
Comment [Add]			

PROBETA 3

Nombre	Fecha y hora	Valor medio	Modo promedio	valores aberrantes superiores	valores aberrantes inferiores	Válido / Total	Dev. tip.	Curva de conv.	Factor de forma	factor de carbonatación
	11/25/2019 3:33 PM	325 kg/cm²	Promedio ASTM	0	0	10/10	33 kg/cm²	NEW	100%	1.00

Diagrama de valores «Q» [ordenados por medición]

Medición	Valor «Q»
1	42.5
2	41.5
3	45.0
4	50.0
5	43.5
6	49.5
7	45.0
8	43.0
9	49.5
10	43.0

Valores «Q»

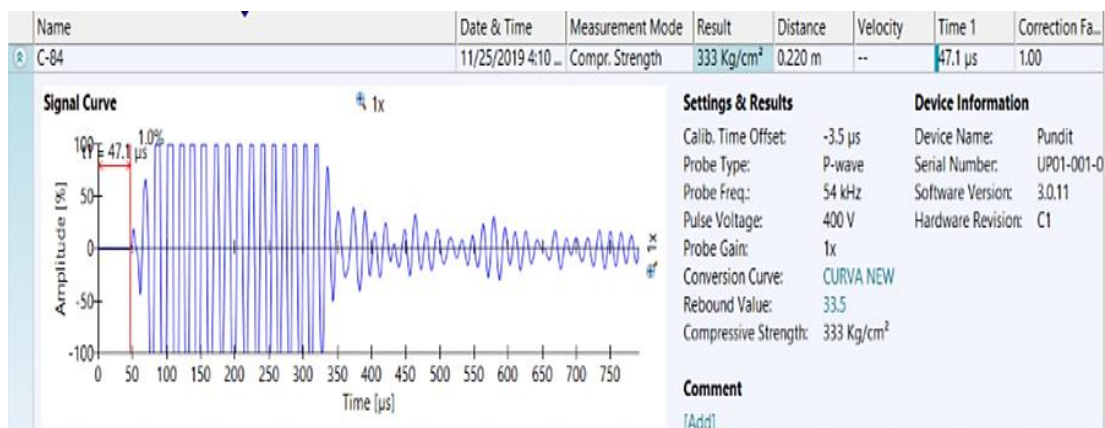
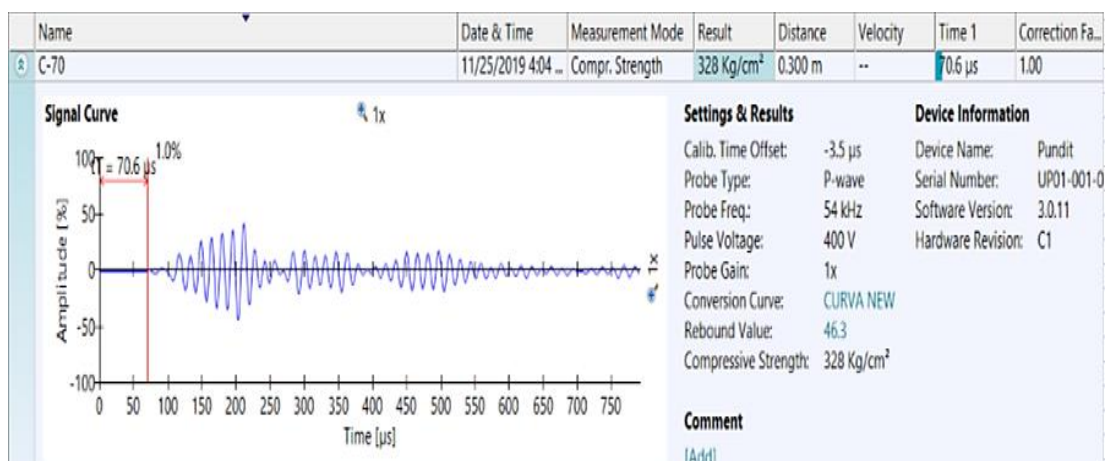
42.5
41.5
45.0
50.0
43.5
49.5
45.0
43.0
49.5
43.0

Estadísticas

Mediciones N = 10
Mediciones no válidas Ni = 0 (0%)
Valor medio f = 325 kg/cm² (45.3 Q)
Desviación típica s = 33 kg/cm² (3.2 Q)

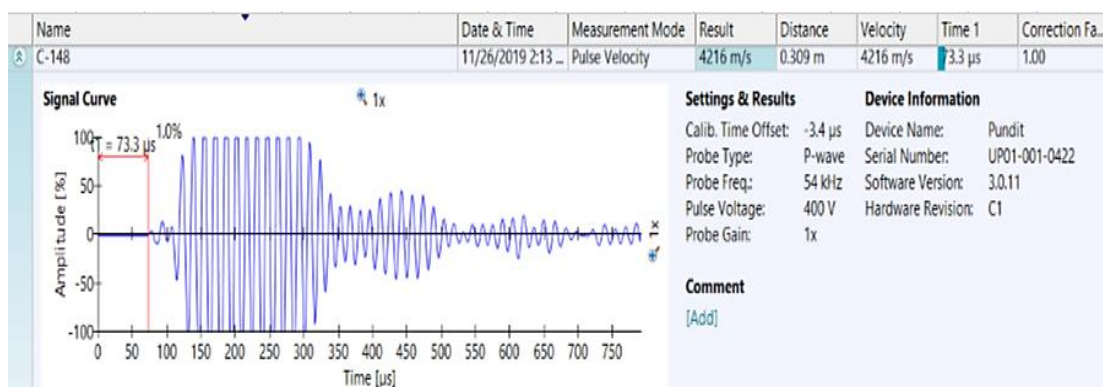
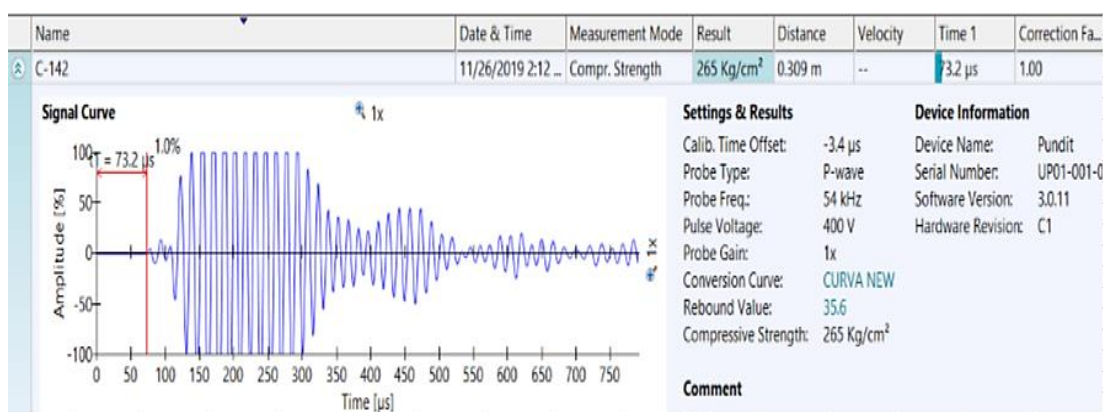
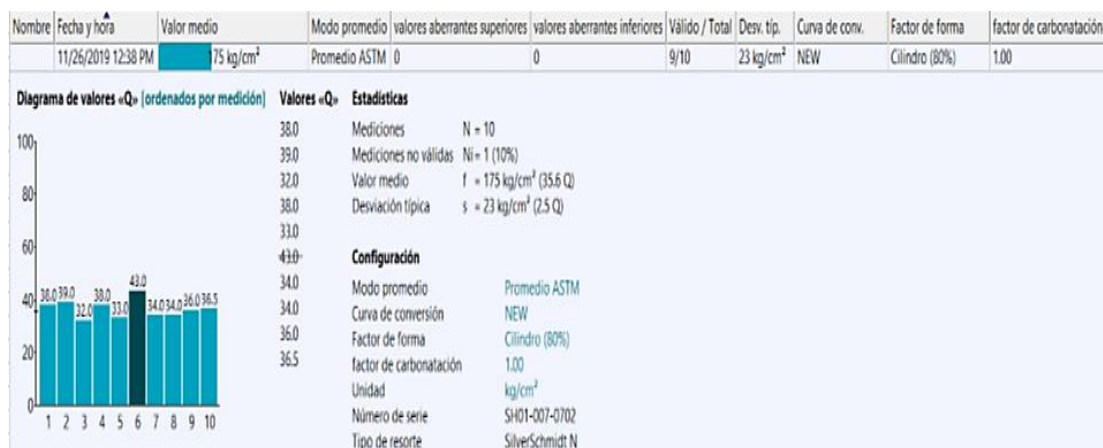
Configuración

Modo promedio Promedio ASTM
Curva de conversión NEW
Factor de forma 100%
factor de carbonatación 1.00
Unidad kg/cm²
Número de serie SH01-007-0702
Tipo de resorte SilverSchmidt N



Anexo A.7 Cemento GU con aditivo sikaplast 9100 CU(AL-0044-3)

PROBETA 1



PROBETA 2

Nombre	Fecha y hora	Valor medio	Modo promedio	valores aberrantes superiores	valores aberrantes inferiores	Válido / Total	Desv. tip.	Curva de conv.	Factor de forma	factor de carbonatación
	11/26/2019 12:40 PM	240 kg/cm²	Promedio ASTM	0	0	10/10	38 kg/cm²	NEW	Cilindro (80%)	1.00

Diagrama de valores «Q» [ordenados por medición]		Valores «Q»	Estadísticas
		41.5	Mediciones N = 10
		42.0	Mediciones no válidas Ni = 0 (0%)
		41.5	Valor medio f = 240 kg/cm² (42.6 Q)
		37.5	Desviación típica s = 38 kg/cm² (3.7 Q)
		44.0	
		Configuración	
		46.0	Modo promedio Promedio ASTM
		39.0	Curva de conversión NEW
		49.0	Factor de forma Cilindro (80%)
		46.0	factor de carbonatación 1.00
			Unidad kg/cm²
			Número de serie SH01-007-0702
			Tipo de resorte SilverSchmidt N

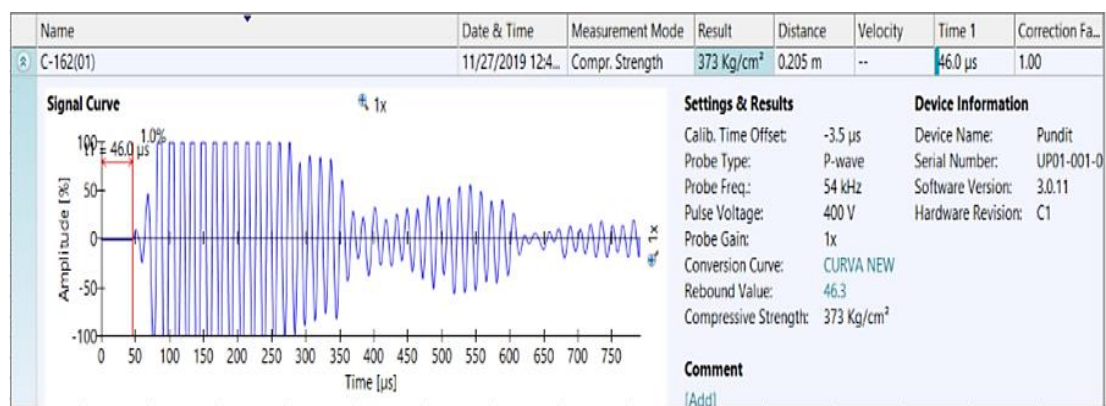
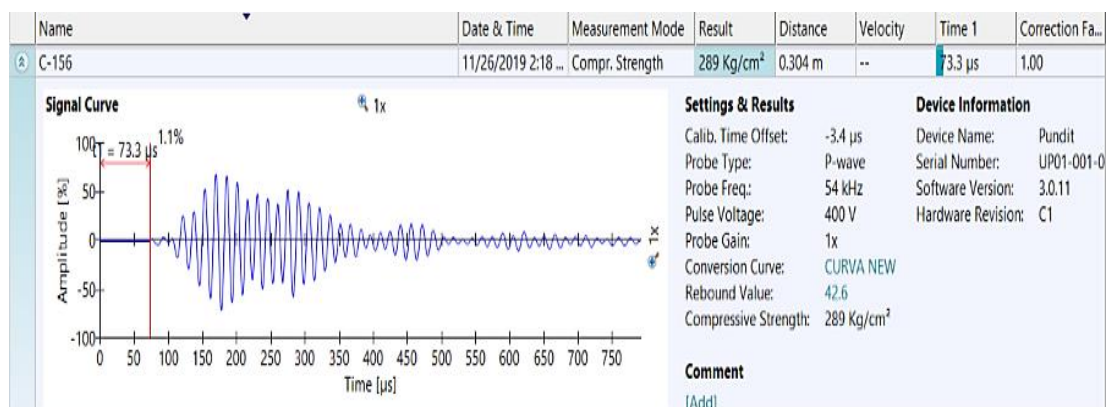
Name	Date & Time	Measurement Mode	Result	Distance	Velocity	Time 1	Correction Fa...
C-155	11/26/2019 2:17 ...	Compr. Strength	261 Kg/cm²	0.300 m	--	72.3 µs	1.00

Signal Curve 		Settings & Results Calib. Time Offset: -3.4 µs Probe Type: P-wave Probe Freq.: 54 kHz Pulse Voltage: 400 V Probe Gain: 1x Conversion Curve: CURVA NEW Rebound Value: 37.1 Compressive Strength: 261 Kg/cm²	Device Information Device Name: Pundit Serial Number: UP01-001-0 Software Version: 3.0.11 Hardware Revision: C1
Comment		[Add]	

Name	Date & Time	Measurement Mode	Result	Distance	Velocity	Time 1	Correction Fa...
C-149	11/26/2019 2:15 ...	Pulse Velocity	4149 m/s	0.300 m	4149 m/s	72.3 µs	1.00

Signal Curve 		Settings & Results Calib. Time Offset: -3.4 µs Probe Type: P-wave Probe Freq.: 54 kHz Pulse Voltage: 400 V Probe Gain: 1x	Device Information Device Name: Pundit Serial Number: UP01-001-0422 Software Version: 3.0.11 Hardware Revision: C1
Comment		[Add]	

PROBETA 3



PROBETA 2

Nombre	Fecha y hora	Valor medio	Modo promedio	valores aberrantes superiores	valores aberrantes inferiores	Válido / Total	Desv. tip.	Curva de conv.	Factor de forma	factor de carbonatación
	11/27/2019 12:28 PM	510 kg/cm ²	Promedio ASTM	0	0	9/10	73 kg/cm ²	Curve EU	Cubo 150mm (100%)	1.00

Diagrama de valores «Q» [ordenados por medición]		Valores «Q»	Estadísticas
	49.0	Mediciones	N = 10
	52.0	Mediciones no válidas	Ni = 1 (10%)
	54.5	Valor medio	$\bar{x}$ = 510 kg/cm ² (51.1 Q)
	51.5	Desviación típica	s = 73 kg/cm ² (2.2 Q)
	52.0	Configuración	
	52.0	Modo promedio	Promedio ASTM
	51.5	Curva de conversión	Curve EU
	59.0	Factor de forma	Cubo 150mm (100%)
	50.5	factor de carbonatación	1.00
	46.5	Unidad	kg/cm ²
		Número de serie	SH01-007-0702
		Tipo de resorte	SilverSchmidt N

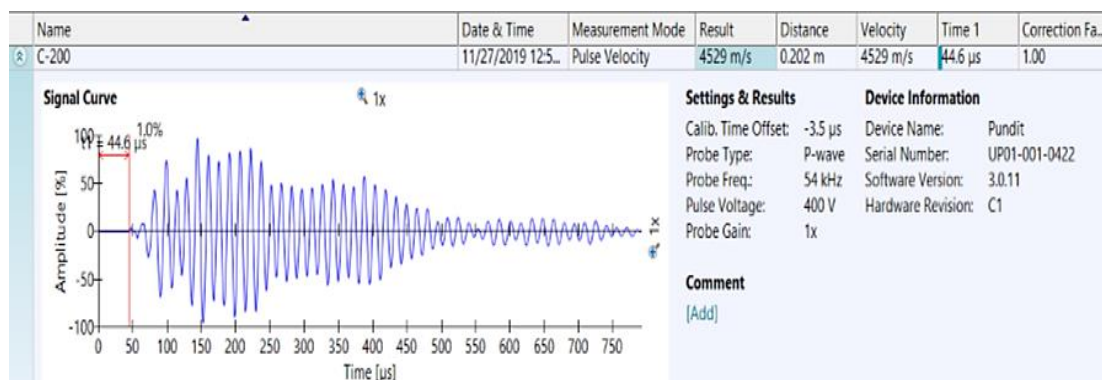
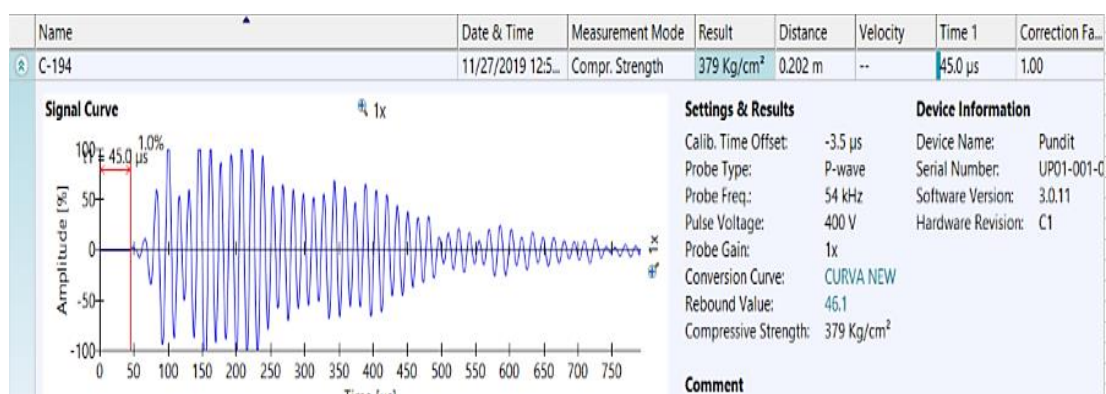
Name	Date & Time	Measurement Mode	Result	Distance	Velocity	Time 1	Correction Fa...
C-187	11/27/2019 12:5...	Compr. Strength	412 Kg/cm ²	0.204 m	--	45.3 μs	1.00

Signal Curve 		Settings & Results Calib. Time Offset: -3.5 μs Probe Type: P-wave Probe Freq.: 54 kHz Pulse Voltage: 400 V Probe Gain: 1x Conversion Curve: CURVA NEW Rebound Value: 51.1 Compressive Strength: 412 Kg/cm ²	Device Information Device Name: Pundit Serial Number: UP01-001- Software Version: 3.0.11 Hardware Revision: C1
Comment			

Name	Date & Time	Measurement Mode	Result	Distance	Velocity	Time 1	Correction Fa...
C-193	11/27/2019 12:5...	Pulse Velocity	4493 m/s	0.204 m	4493 m/s	45.4 μs	1.00

Signal Curve 		Settings & Results Calib. Time Offset: -3.5 μs Probe Type: P-wave Probe Freq.: 54 kHz Pulse Voltage: 400 V Probe Gain: 1x	Device Information Device Name: Pundit Serial Number: UP01-001-0422 Software Version: 3.0.11 Hardware Revision: C1
Comment		[Add]	

PROBETA 3



Anexo A.9 Cemento GU con 30% de LC2 con aditivo sikaplast 9100 CU(AL-0044-3)

PROBETA 1

Nombre	Fecha y hora	Valor medio	Modo promedio	valores aberrantes superiores	valores aberrantes inferiores	Válido / Total	Desv. tip.	Curva de conv.	Factor de forma	factor de carbonatación
	11/28/2019 9:56 AM	255 kg/cm ²	Promedio ASTM	0	0	10/10	33 kg/cm ²	10-percentile curve	Cilindro (83%)	1.00

Diagrama de valores «Q» [ordenados por medición]		Valores «Q»	Estadísticas
	53.0	Mediciones	N = 10
	51.5	Mediciones no válidas	Ni = 0 (0%)
	50.5	Valor medio	f = 255 kg/cm ² (49.8 Q)
	51.0	Desviación típica	s = 33 kg/cm ² (2.4 Q)
	50.5		
	51.5	Configuración	
	45.0	Modo promedio	Promedio ASTM
	49.5	Curva de conversión	10-percentile curve
	47.0	Factor de forma	Cilindro (83%)
	48.0	factor de carbonatación	1.00
		Unidad	kg/cm ²
		Número de serie	SH01-007-0702
		Tipo de resorte	SilverSchmidt N

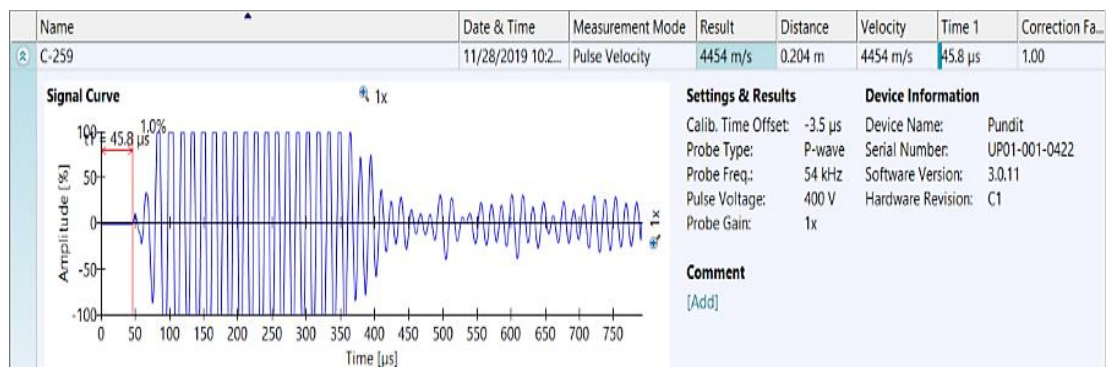
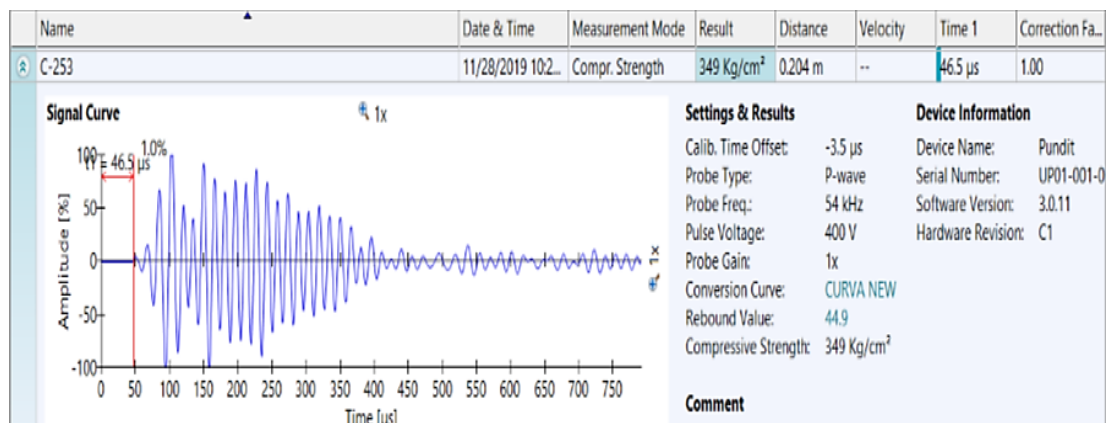
Name	Date & Time	Measurement Mode	Result	Distance	Velocity	Time 1	Correction Fa...
C-245	11/28/2019 10:2...	Compr. Strength	377 Kg/cm ²	0.203 m	--	46.3 µs	1.00

Signal Curve 		Settings & Results Calib. Time Offset: -3.5 µs Probe Type: P-wave Probe Freq: 54 kHz Pulse Voltage: 400 V Probe Gain: 1x Conversion Curve: CURVA NEW Rebound Value: 49.8 Compressive Strength: 377 Kg/cm ²	Device Information Device Name: Pundit Serial Number: UP01-001-0 Software Version: 3.0.11 Hardware Revision: C1
Comment [Add]			

Name	Date & Time	Measurement Mode	Result	Distance	Velocity	Time 1	Correction Fa...
C-252	11/28/2019 10:2...	Pulse Velocity	4403 m/s	0.203 m	4403 m/s	46.1 µs	1.00

Signal Curve 		Settings & Results Calib. Time Offset: -3.5 µs Probe Type: P-wave Probe Freq: 54 kHz Pulse Voltage: 400 V Probe Gain: 1x	Device Information Device Name: Pundit Serial Number: UP01-001-0422 Software Version: 3.0.11 Hardware Revision: C1
Comment [Add]			

PROBETA 2



PROBETA 3

Nombre	Fecha y hora	Valor medio	Modo promedio	valores aberrantes superiores	valores aberrantes inferiores	Válido / Total	Desv. tip.	Curva de conv.	Factor de forma	factor de carbonatación
	11/28/2019 10:01 AM	235 kg/cm ²	Promedio ASTM	0	0	10/10	40 kg/cm ²	10-percentile curve	Cilindro (80%)	1.00

Diagrama de valores «Q» [ordenados por medición]		Valores «Q»	Estadísticas
	53.0	Mediciones	N = 10
	45.5	Mediciones no válidas	Ni = 0 (0%)
	47.0	Valor medio	f = 235 kg/cm ² (48.6 Q)
	52.5	Desviación típica	s = 40 kg/cm ² (3.0 Q)
	51.0	Configuración	
	48.0		
	49.5		
	44.5		
	45.5		
	49.5		
1	2	3	4
5	6	7	8
9	10		

Modo promedio	Promedio ASTM
Curva de conversión	10-percentile curve
Factor de forma	Cilindro (80%)
factor de carbonatación	1.00
Unidad	kg/cm ²
Número de serie	SH01-007-0702
Tipo de resorte	SilverSchmidt N

Name	Date & Time	Measurement Mode	Result	Distance	Velocity	Time 1	Correction Fa...
C-260	11/28/2019 10:2...	Compr. Strength	389 Kg/cm ²	0.205 m	--	45.9 μs	1.00

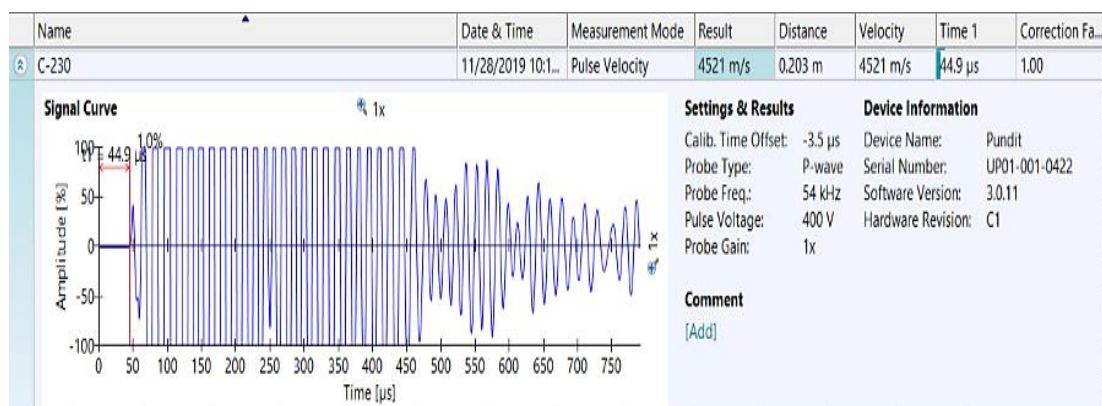
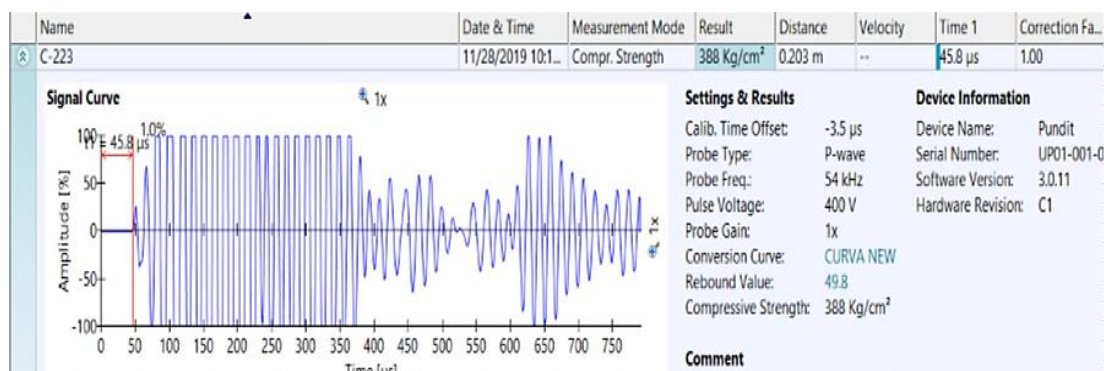
Signal Curve		Settings & Results	Device Information
	1x	Calib. Time Offset:	-3.5 μs
		Probe Type:	P-wave
		Probe Freq:	54 kHz
		Pulse Voltage:	400 V
		Probe Gain:	1x
		Conversion Curve:	CURVA NEW
		Rebound Value:	48.6
		Compressive Strength:	389 Kg/cm ²
		Comment	
		...	

Name	Date & Time	Measurement Mode	Result	Distance	Velocity	Time 1	Correction Fa...
C-267	11/28/2019 10:2...	Pulse Velocity	4486 m/s	0.205 m	4486 m/s	45.7 μs	1.00

Signal Curve		Settings & Results	Device Information
	1x	Calib. Time Offset:	-3.5 μs
		Probe Type:	P-wave
		Probe Freq:	54 kHz
		Pulse Voltage:	400 V
		Probe Gain:	1x
		Comment	
		[Add]	

Anexo A.10 Cemento GU con 45% de LC2 con aditivo sikaplast 9100 CU(AL-0044-3)

PROBETA 1



PROBETA 2

Nombre	Fecha y hora	Valor medio	Modo promedio	valores aberrantes superiores	valores aberrantes inferiores	Válido / Total	Desv. tip.	Curva de conv.	Factor de forma	factor de carbonatación
	11/28/2019 9:57 AM	240 kg/cm ²	Promedio ASTM	0	0	9/10	40 kg/cm ²	10 percentile curve	Cilindro (80%)	1.00

Diagrama de valores «Q» [ordenados por medición]		Valores «Q»	Estadísticas
	100	51.5	Mediciones N = 10
	80	53.5	Mediciones no válidas Ni = 1 (10%)
	60	51.0	Valor medio f = 240 kg/cm ² (49.1 Q)
	40	50.0	Desviación típica s = 40 kg/cm ² (3.1 Q)
	20	45.0	
	0	51.5	
		45.5	Configuración
		46.5	Modo promedio Promedio ASTM
		47.0	Curva de conversión 10-percentile curve
		38.0	Factor de forma Cilindro (80%)
			factor de carbonatación 1.00
			Unidad kg/cm ²
			Número de serie SH01-007-0702
			Tipo de resorte Silverschmidt N

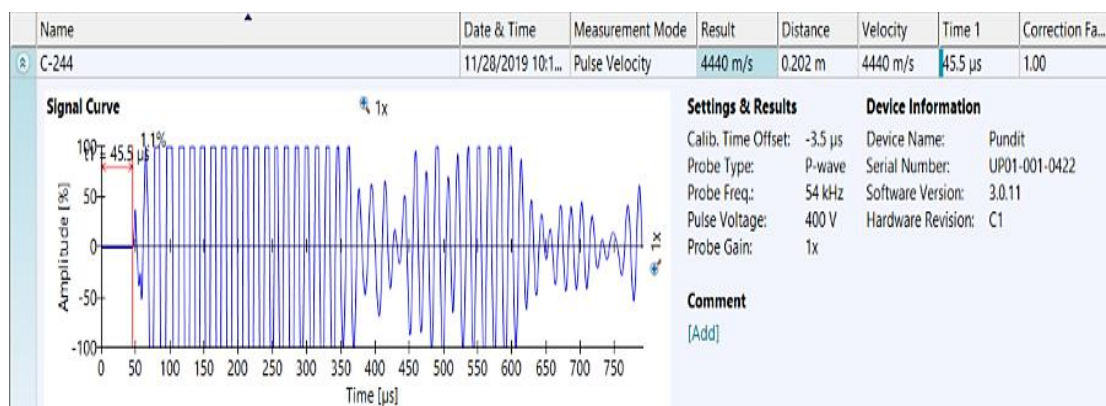
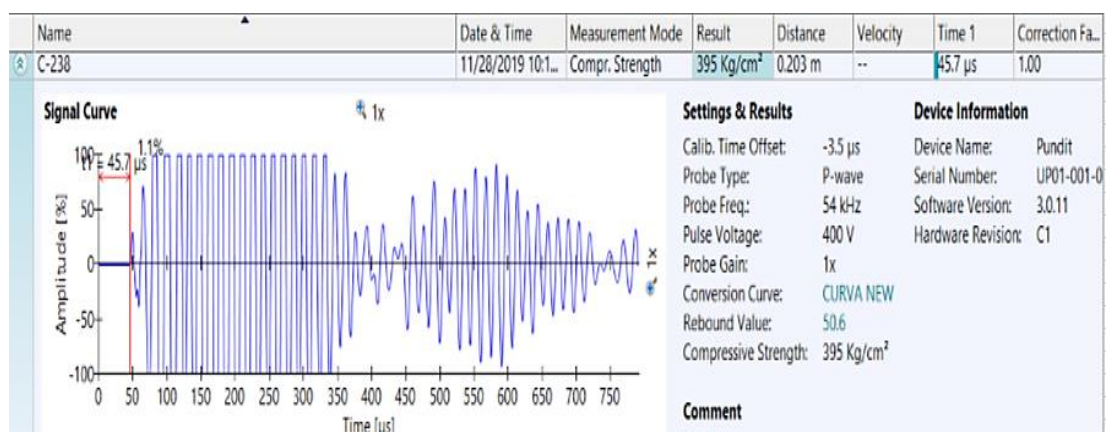
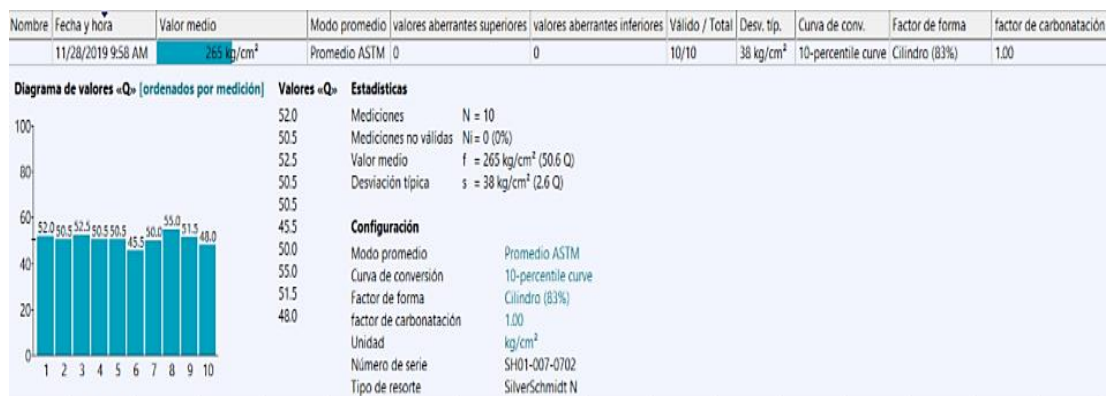
Name	Date & Time	Measurement Mode	Result	Distance	Velocity	Time 1	Correction Fa...
C-231	11/28/2019 10:1...	Compr. Strength	373 Kg/cm ²	0.204 m	--	46.5 µs	1.00

Signal Curve 		Settings & Results Calib. Time Offset: -3.5 µs Probe Type: P-wave Probe Freq.: 54 kHz Pulse Voltage: 400 V Probe Gain: 1x Conversion Curve: CURVA NEW Rebound Value: 49.1 Compressive Strength: 373 Kg/cm ²	Device Information Device Name: Pundit Serial Number: UP01-001-C Software Version: 3.0.11 Hardware Revision: C1
Comment			

Name	Date & Time	Measurement Mode	Result	Distance	Velocity	Time 1	Correction Fa...
C-237	11/28/2019 10:1...	Pulse Velocity	4416 m/s	0.204 m	4416 m/s	46.2 µs	1.00

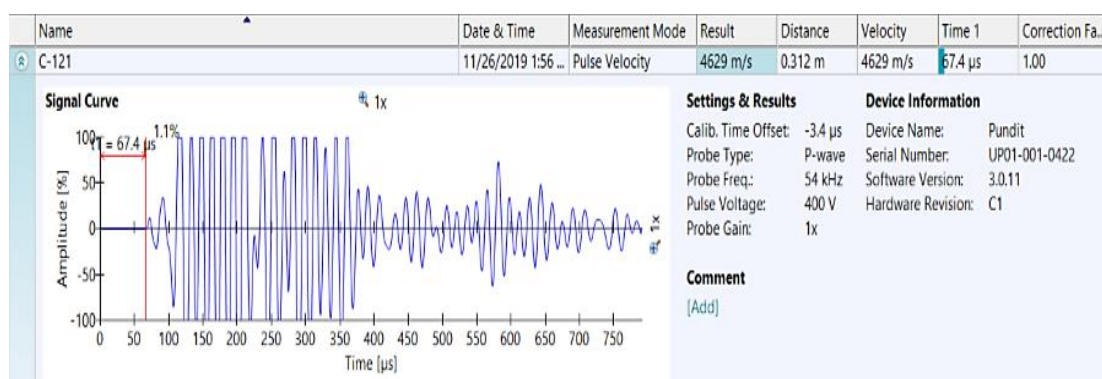
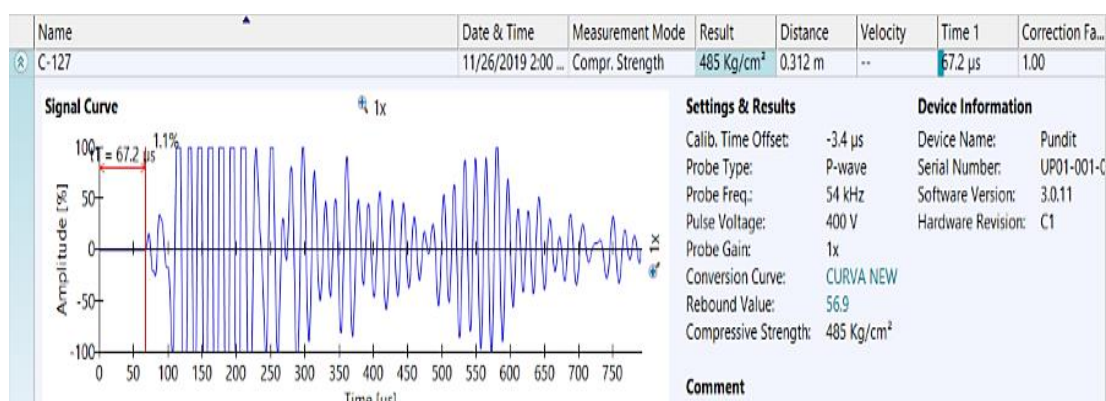
Signal Curve 		Settings & Results Calib. Time Offset: -3.5 µs Probe Type: P-wave Probe Freq.: 54 kHz Pulse Voltage: 400 V Probe Gain: 1x	Device Information Device Name: Pundit Serial Number: UP01-001-0422 Software Version: 3.0.11 Hardware Revision: C1
Comment		[Add]	

PROBETA 3

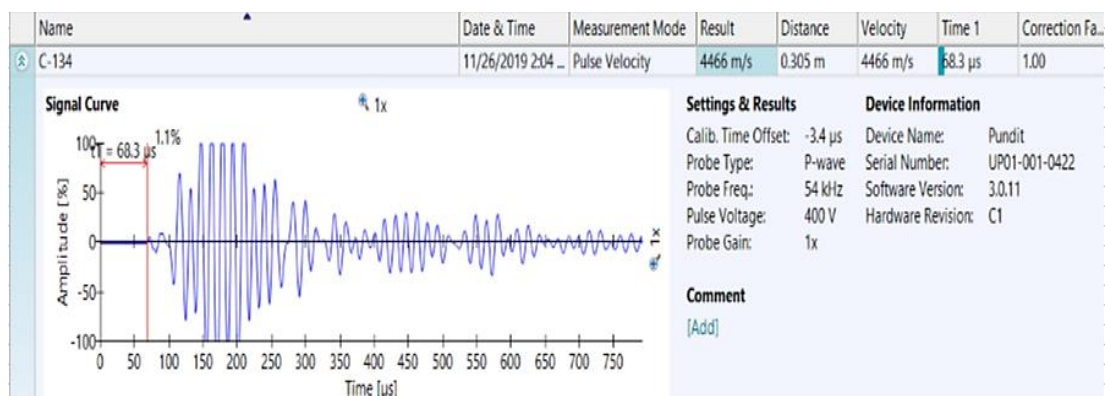
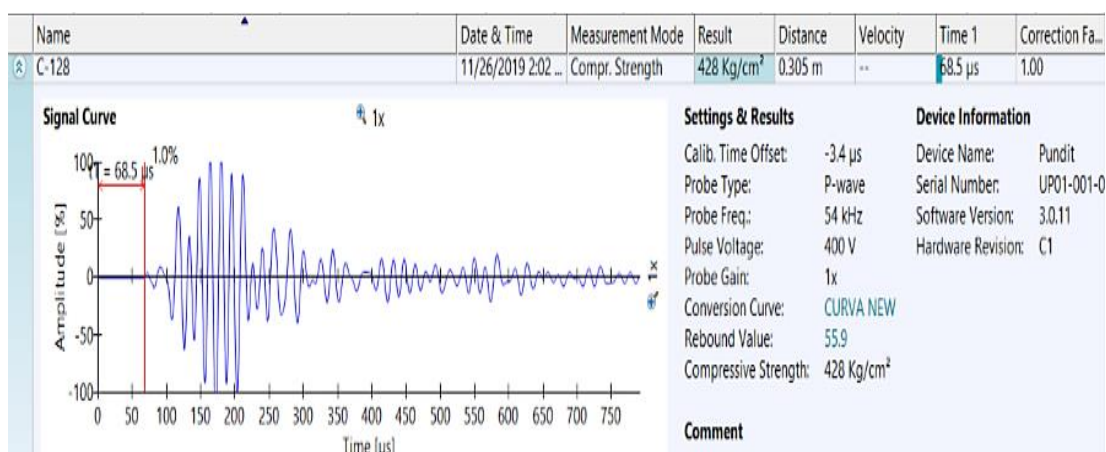


Anexo A.11 Cemento GU con 10% de humo de silice con aditivo sikaplast 9100 CU(AL-0044-3)

PROBETA 1



PROBETA 2



PROBETA 3

Nombre	Fecha y hora	Valor medio	Modo promedio	valores aberrantes superiores	valores aberrantes inferiores	Válido / Total	Desv. típ.	Curva de conv.	Factor de forma	factor de carbonatación
	11/26/2019 12:37 PM	330 kg/cm²	Promedio ASTM	0	0	10/10	18 kg/cm²	NEW	Cilindro (81%)	1.00

Diagrama de valores «Q» [ordenados por medición]

Número de medición	Valor «Q»
1	52.5
2	60.0
3	55.5
4	57.0
5	52.5
6	55.5
7	57.0
8	59.0
9	49.0
10	52.5

Valores «Q»

Estadísticas

Mediciones N = 10

Mediciones no válidas Ni = 0 (0%)

Valor medio f = 330 kg/cm² (55.0 Q)

Desviación típica s = 18 kg/cm² (3.4 Q)

Configuración

Modo promedio Promedio ASTM

Curva de conversión NEW

Factor de forma Cilindro (81%)

factor de carbonatación 1.00

Unidad kg/cm²

Número de serie SH01-007-0702

Tipo de resorte SilverSchmidt N

Name	Date & Time	Measurement Mode	Result	Distance	Velocity	Time 1	Correction Fa...
C-141	11/26/2019 2:09 ...	Compr. Strength	474 Kg/cm ²	0.317 m	--	68.2 μs	1.00

Signal Curve	Settings & Results	Device Information
	Calib. Time Offset: -3.4 μs	Device Name: Pundit
	Probe Type: P-wave	Serial Number: UP01-001-0
	Probe Freq.: 54 kHz	Software Version: 3.0.11
	Pulse Voltage: 400 V	Hardware Revision: C1
	Probe Gain: 1x	
	Conversion Curve: CURVA NEW	
	Rebound Value: 55.0	
	Compressive Strength: 474 Kg/cm ²	
	Comment	

Name	Date & Time	Measurement Mode	Result	Distance	Velocity	Time 1	Correction Fa...
C-135	11/26/2019 2:06 ...	Pulse Velocity	4628 m/s	0.317 m	4628 m/s	68.5 μs	1.00

Signal Curve	Settings & Results	Device Information
	Calib. Time Offset: -3.4 μs	Device Name: Pundit
	Probe Type: P-wave	Serial Number: UP01-001-0422
	Probe Freq.: 54 kHz	Software Version: 3.0.11
	Pulse Voltage: 400 V	Hardware Revision: C1
	Probe Gain: 1x	
	Comment	
	[Add]	

ANEXO B. DATOS DE PROBETAS

Identificación:		Muestras CP, HS, LC2(15%); Primer Aditivo														
Temperatura:		30 °C														
	nº	Toma	Dimensiones de cilindro								Peso (Kg)	Densidad Kg/m3	Edad (días)	nº Rebote	Esclerometro kg/cm2	
			Diametro			Altura (cm)			h prom.	Area (cm2)						
			D1	D2	D. prom.	h1	h2									
1 Aditivo	1 CP	25/11/2019	15	15	15	30	30	30	30	180	12.36	2290	28	48.0	355	
Cilindro	2 CP	25/11/2019	15	15	15	30	30	30	30	182	12.59	2310	28	46.8	340	
Grande	3 CP	25/11/2019	15	15	15	30	30	30	30	182	12.34	2251	28	43.7	310	
1 Aditivo	1 HS	25/11/2019	15	15	15	30	30	30	30	181	12.50	2274	28	48.3	355	
Cilindro	2 HS	25/11/2019	15	15	15	30	30	30	30	180	12.23	2253	28	45.3	325	
Grande	3 HS	25/11/2019	15	15	15	30	30	30	30	178	12.05	2231	28	46.3	335	
1 Aditivo	1 LC2(15)	25/11/2019	10	10	10	20	20	20	20	82	3.69	2205	28	33.5	190	
Cilindro	2 LC2(15)	25/11/2019	10	10	10	20	20	20	20	82	3.65	2187	28	32.8	185	
Pequeño	3 LC2(15)	25/11/2019	11	11	11	20	20	20	20	87	3.85	2160	28	32.1	175	

	Identificación:	Muestras CP, HS Segundo Aditivo; LC2(30%) Primer Aditivo																
		30 °C																
		Temperatura:																
		nº	Toma	Dimensiones de cilindro										Peso (Kg)	Densidad Kg/m3	Edad (días)	nº Rebote	Esclerómetro kg/cm2
			Diametro			Altura (cm)												
				D1	D2	D. prom.	h1	h2	h prom.	Area (cm2)								
	1 CP	1	26/11/2019	15	15	15.28	30	30.09	30	183			11.77	2133	28	35.6	175	
	2 CP	2	26/11/2019	15	15	15.34	30	30.00	30	185			11.86	2139	28	37.1	190	
	3 CP	3	26/11/2019	15	15	15.22	30	30.04	30	182			11.77	2152	28	42.6	240	
	2 Aditivo Grande	4	26/11/2019	15	15	15.16	30	30.12	30	180			12.45	2295	28	56.9	340	
	2 Aditivo Cilindro	5	26/11/2019	15	15	15.20	30	30.05	30	181			12.38	2273	28	55.9	335	
	3 HS Grande	6	26/11/2019	15	15	15.00	30	30.17	30	177			11.96	2249	28	55.00	330	
	1 Aditivo Cilindro	7	26/11/2019	10	10	10.42	21	24.45	23	85			3.912	2039	28	44.6	265	
	2 LC2(30)	8	26/11/2019	10	10	10.40	21	20.51	21	85			3.914	2247	28	45.3	270	
	3 LC2(30) Pequeño	9	26/11/2019	10	10	10.29	20	20.5	20	83			3.811	2240	28	41.3	225	

	Identificación: Temperatura:	Muestra LC2(45%), LC3(50%) Primer Aditivo; LC2(15%) Segundo aditivo 30 °C															
		nº	Toma	Dimensiones de cilindro							Volumen (m3)	Peso (Kg)	Densidad Kg/m3	Edad (días)			Esclerometr o kg/cm2
				Diametro		Altura (cm)											
				D1	D2	D. prom.	h1	h2	h prom.	Area (cm2)							
1 Aditivo Cilindro Pequeño	1 LC2(45)	1	27/11/2019	10.38	10.46	10.42	20	20.47	20.460	85	3.80	2175	28	46.3	335		
	2 LC2(45)	2	27/11/2019	10	10	10.35	20	20.29	20.31	84	3.96	2321	28	47.4	400		
	3 LC2(45)	3	27/11/2019	10	10	10.37	21	20.53	20.55	84	4.062	2343	28	49.8	370		
2 Aditivo Cilindro Pequeño	1 LC2(15)	4	27/11/2019	10	10	10.19	20	20.30	20.34	82	3.865	2331	28	48.1	420		
	2 LC2(15)	5	27/11/2019	10	10	10.18	20	20.43	20.42	81	3.877	2336	28	51.1	510		
	3 LC2(15)	6	27/11/2019	10	10	10.21	20	20	20.29	82	3.874	2333	28	46.10	370		
1 Aditivo Cilindro Pequeño	1 LC3(50)	7	27/11/2019	10	10	10.23	20	20	20.24	82	3.906	2351	28	54.4	630		
	2 LC3(50)	8	27/11/2019	10	10	10.23	20.3	20	20.32	82	3.942	2363	28	55.4	670		
	3 LC3(50)	9	27/11/2019	10	10	10.40	20.3	20	20.33	85	4.081	2363	28	56.1	700		

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

ANEXO C. ENSAYO DE FRAGUADO DEL HORMIGÓN

Anexo C.1 Cemento GU con aditivo SikaPlast 9100 CU (AL-044-2)

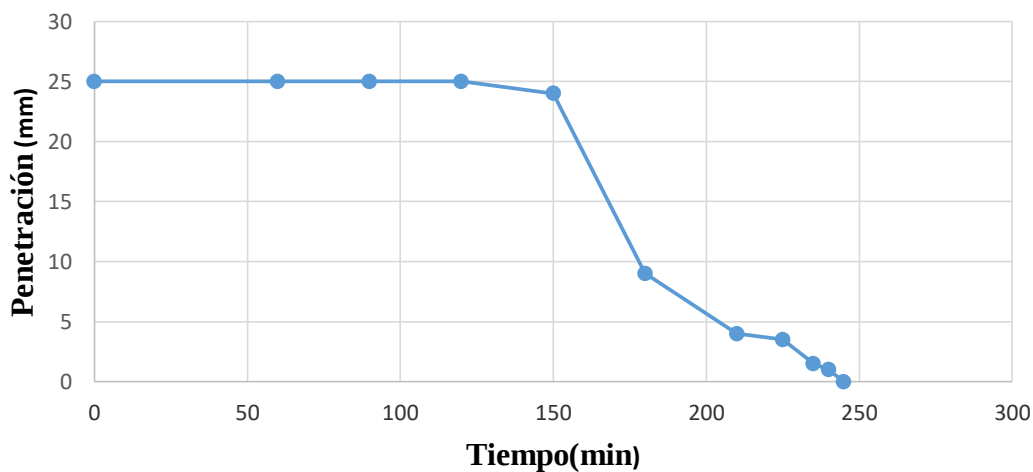
UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

TUTOR	Ing. Lucrecia Moreno Alcivar. Mg		TESISTAS	Luis Labanda y Edwin Rodríguez	
TEMA	"Evaluación de la sencibilidad de los aditivos sika, en hormigones y morteros producidos con cemento gu, lc3, lc2 y humo de sílice"				
HORMIGÓN	M1-CEMENTO GU (100%)		ADITIVO	SIKAPLAST 9100 CU(AL-044-2)	
TIEMPO DE FRAGUADO DEL HORMIGÓN					
NTE INEN 158					
HORA DE INICIO ENSAYO		9:50			
Hora de inicio de fraguado		9:50			
LECTURAS	TIEMPO (min)	Penetración 25mm ± 1,5mm			
9:50	0	25			
10:50	60	25			
11:20	90	25			
11:50	120	25			
12:20	150	24			
12:50	180	9			
13:20	210	4			
13:35	225	3.5			
13:45	235	1.5			
13:50	240	1			
13:55	245	0			
Hora de fraguado final		14:55			
Realizado por:		Revisado por:		Fecha de Ensayo:	
Luis Labanda O.-Edwin Rodríguez C.		Ing. Lucrecia Moreno Alcivar. Mgs.		Enero, 2020	

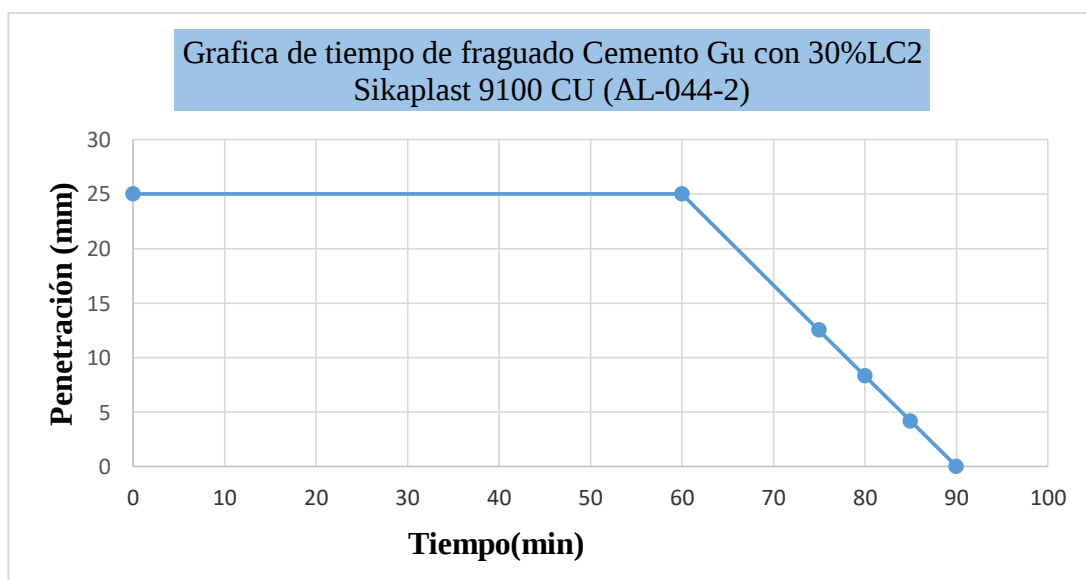
Grafica de tiempo de fraguado Cemento Gu Sikaplast 9100 CU (AL-044-2)



[illegible]

Anexo C.3 Cemento GU con 30% de LC2 con aditivo SikaPlast 9100 CU (AL-044-2)

		UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL						
TUTOR		Ing. Lucrecia Moreno Alcivar. Mg			TESISTAS		Luis Labanda y Edwin Rodríguez	
TEMA		"Evaluación de la sencibilidad de los aditivos sika, en hormigones y morteros producidos con cemento gu, lc3, lc2 y humo de sílice"						
HORMIGÓN		M1-LC2 (30%)			ADITIVO		SIKAPLAST 9100 CU(AL-044-2)	
TIEMPO DE FRAGUADO DEL HORMIGÓN								
NTE INEN 158								
HORA DE INICIO ENSAYO		10:46						
Hora de inicio de fraguado		10:46						
LECTURAS	TIEMPO (min)	Penetración 25mm ± 1,5mm						
10:46	0	25			DESCRIPCION		DATOS	
11:46	60	25			Marca del cemento		LC2-30%	
12:01	75	12.50			Hora de inicio del ensayo		10:46	
12:06	80	8.33			Hora del fraguado inicial del hormigón		11:46	
12:11	85	4.17			Tiempo de fraguado inicial del hormigón		0h 60 min	
12:16	90	0			Hora del fraguado final del hormigón		12:16	
Hora de fraguado final		12:16			Tiempo de fraguado total del hormigón		1h 30 min	



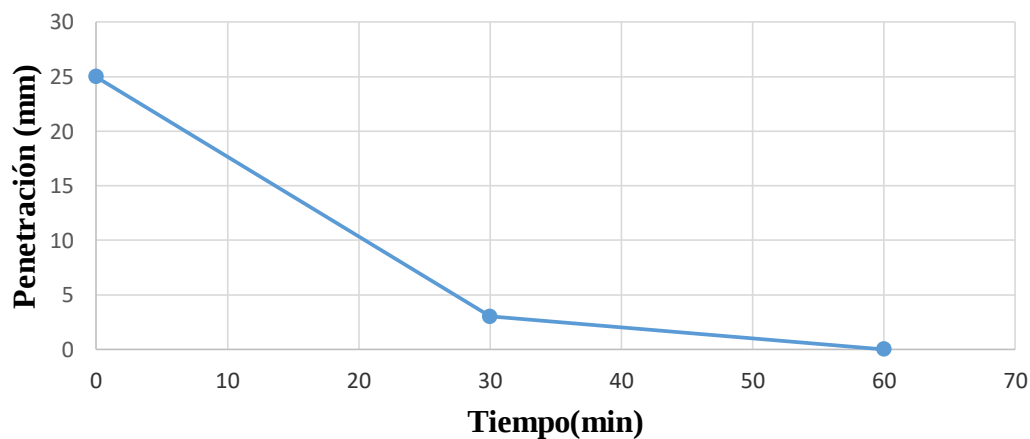
[illegible]

Anexo C.5 Cemento LC3 aditivo SikaPlast 9100 CU (AL-044-2)

UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

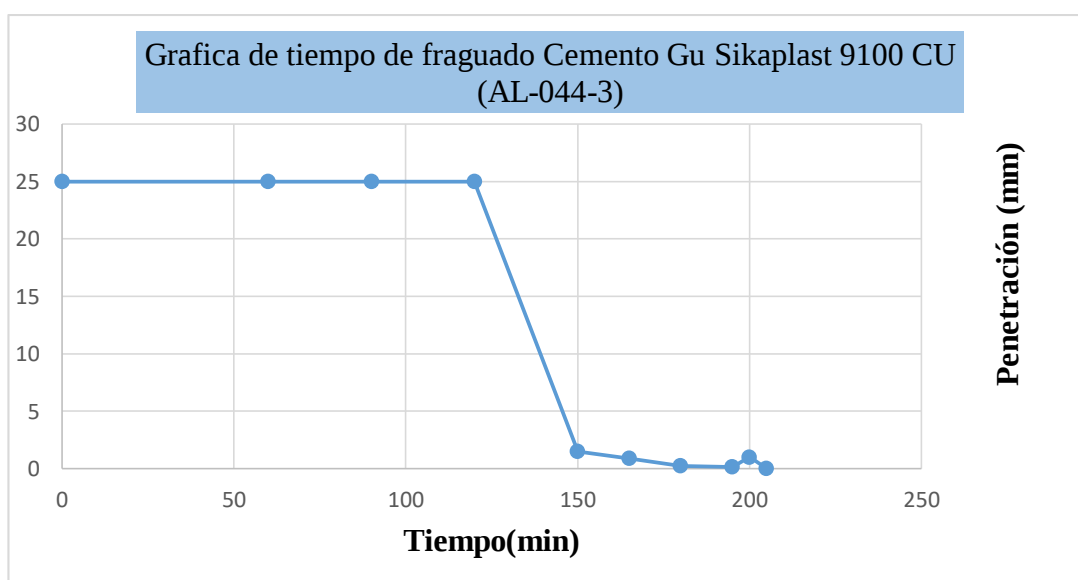
TUTOR	Ing. Lucrecia Moreno Alcivar. Mg			TESISTAS	Luis Labanda y Edwin Rodríguez		
TEMA	"Evaluación de la sencibilidad de los aditivos sika, en hormigones y morteros producidos con cemento gu, lc3, lc2 y humo de sílice"						
HORMIGÓN	M1-LC3 (100%)			ADITIVO	SIKAPLAST 9100 CU(AL-044-2)		
TIEMPO DE FRAGUADO DEL HORMIGÓN							
NTE INEN 158							
HORA DE INICIO ENSAYO		10:06					
Hora de inicio de fraguado		10:06					
LECTURAS	TIEMPO (min)	Penetración 25mm ± 1,5mm					
10:06	0	25					
10:36	30	3					
11:06	60	0					
Hora de fraguado final		11:06					

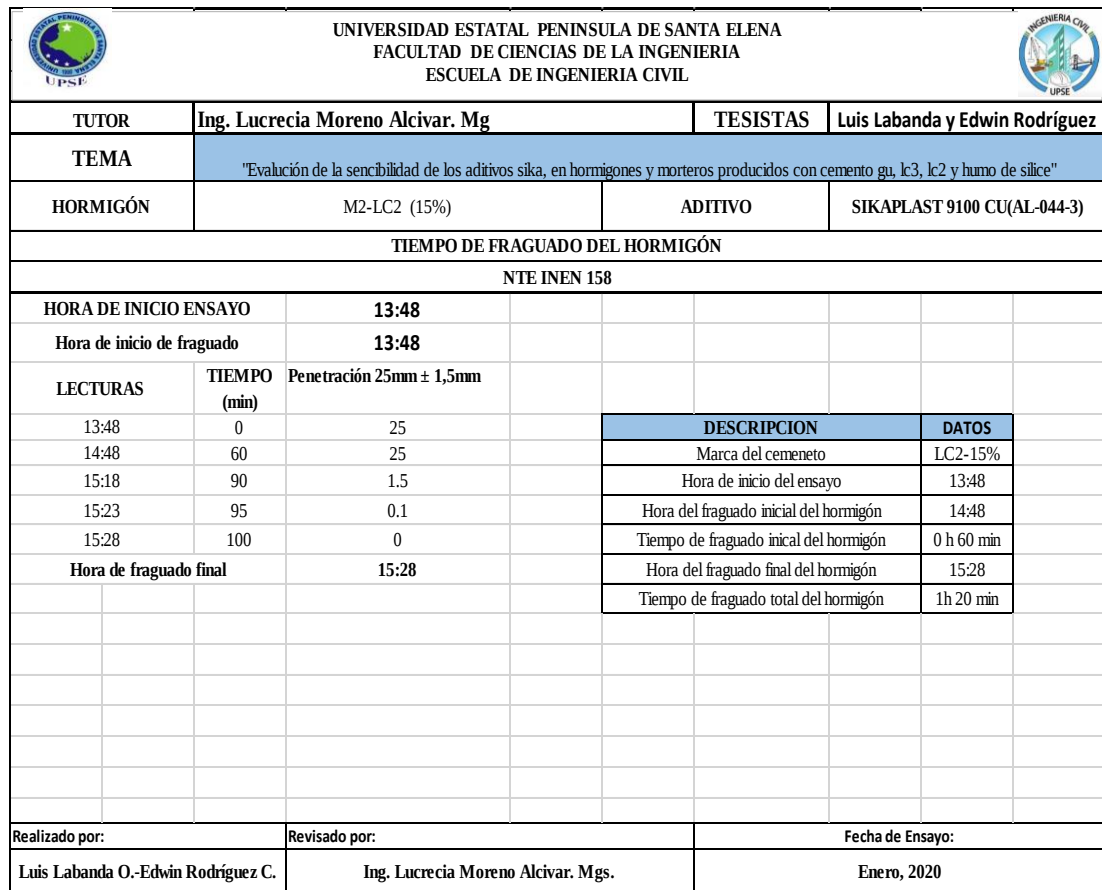
Grafica de tiempo de fraguado Cemento LC3 Sikaplast 9100 CU (AL-044-2)



Anexo C.6 Cemento GU con aditivo SikaPlast 9100 CU (AL-044-3)

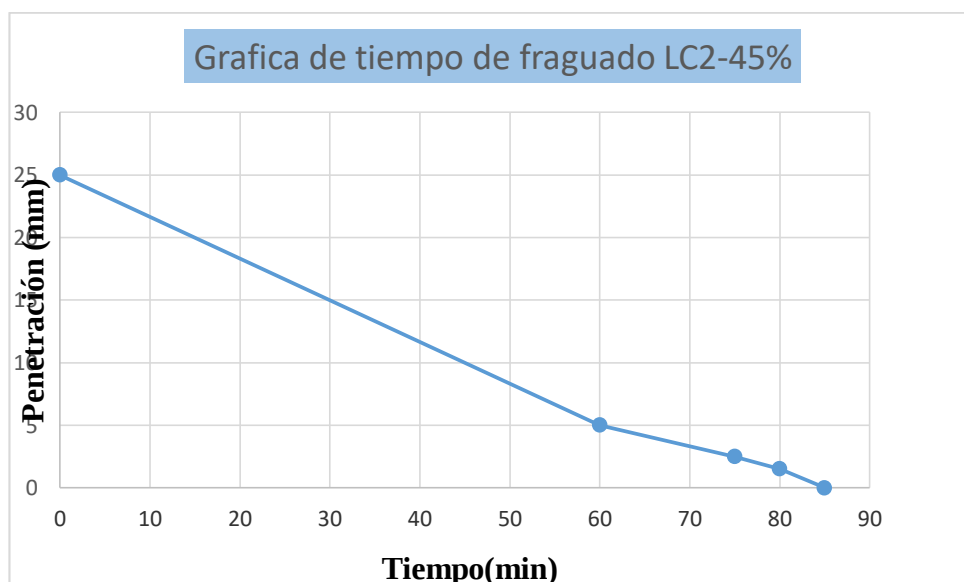
		UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL						
TUTOR		Ing. Lucrecia Moreno Alcivar. Mg			TESISTAS		Luis Labanda y Edwin Rodríguez	
TEMA		"Evaluación de la sencibilidad de los aditivos sika, en hormigones y morteros producidos con cemento gu, lc3, lc2 y humo de sílice"						
HORMIGÓN		M2-CEMENTO GU (100%)			ADITIVO		SIKAPLAST 9100 CU(AL-044-3)	
TIEMPO DE FRAGUADO DEL HORMIGÓN								
NTE INEN 158								
HORA DE INICIO ENSAYO		12:13						
Hora de inicio de fraguado		12:13						
LECTURAS	TIEMPO (min)	Penetración 25mm ± 1,5mm						
12:13	0	25		DESCRIPCION		DATOS		
13:13	60	25		Marca del cemeneto		Atenas GU		
13:43	90	25		Hora de inicio del ensayo		12:13		
14:13	120	25		Hora del fraguado inicial del hormigón		13:13		
14:43	150	1.5		Tiempo de fraguado inical del hormigón		0 h 60 min		
14:58	165	0.9		Hora del fraguado final del hormigón		15:28		
15:13	180	0.25		Tiempo de fraguado total del hormigón		3h 25 min		
15:18	195	0.15						
15:23	200	1						
15:28	205	0						
Hora de fraguado final		15:28						
Realizado por:		Revisado por:			Fecha de Ensayo:			
Luis Labanda O.-Edwin Rodríguez C.		Ing. Lucrecia Moreno Alcivar. Mgs.			Enero, 2020			



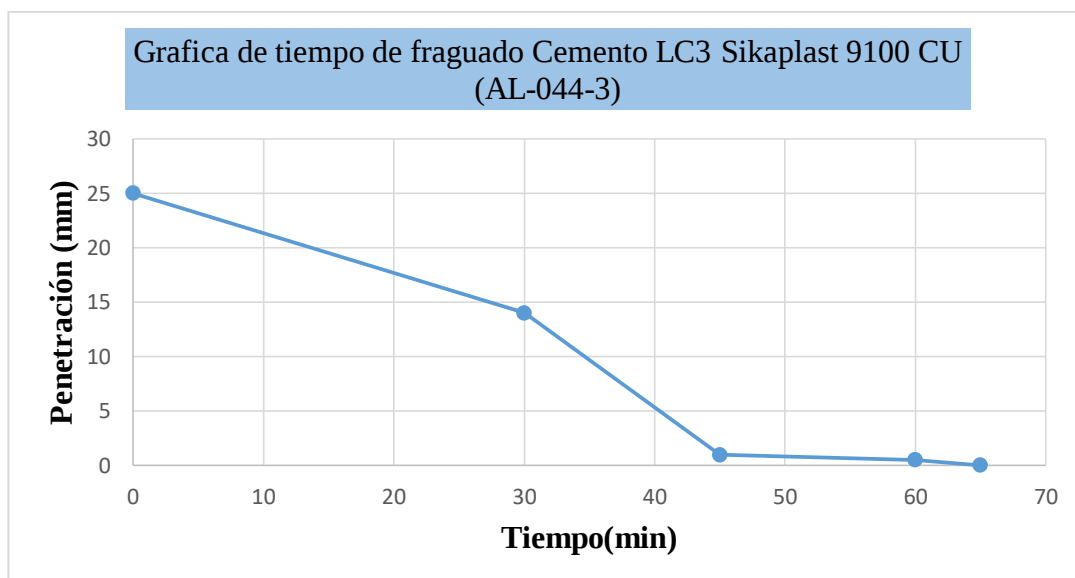


[illegible]

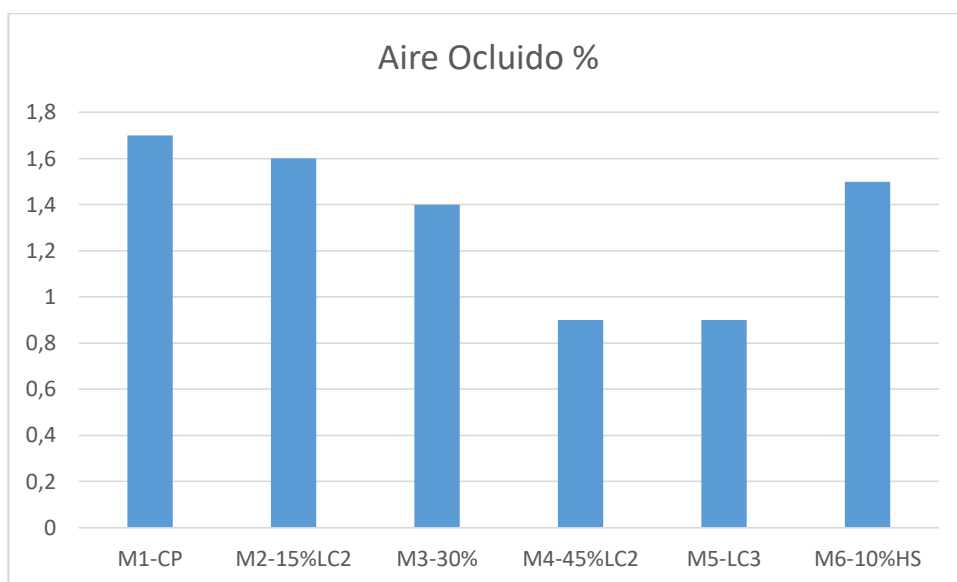
Anexo C.9 Cemento GU con 45% de LC2 con aditivo SikaPlast 9100 CU (AL-044-3)

[illegible]

Anexo C.10 Cimento LC3 aditivo SikaPlast 9100 CU (AL-044-3)

[illegible]

ANEXO D. ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE



Fuente: Labanda- Rodriguez