

EVALUACIÓN DEL USO DE ADITIVOS SOBRE LA MEZCLA CONVENCIONAL
DE CONCRETO EN MORTEROS DE CEMENTO ART PARA EL AUMENTO DE
SU RESISTENCIA

MARÍA CAMILA CARVAJAL VEGA
GABRIELA CORTÉS POMAR

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD AMÉRICA
FACULTA DE INGENIERÍAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C
2019

EVALUACIÓN DEL USO DE ADITIVOS SOBRE LA MEZCLA CONVENCIONAL
DE CONCRETO EN MORTEROS DE CEMENTO ART PARA EL AUMENTO DE
SU RESISTENCIA

MARÍA CAMILA CARVAJAL VEGA
GABRIELA CORTÉS POMAR

Proyecto Integral de Grado para optar el título de:
INGENIERO QUÍMICO

Director
WILSON ANÍBAL VERGARA URREGO
Ingeniero químico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD AMÉRICA
FACULTA DE INGENIERÍAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C
2019

Nota de aceptación:

Ing. Orlando Castiblanco Urrego

Ing. Luis Miguel Chaparro Hernández

Bogotá D.C, octubre de 2019

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA PEÑA

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Decano de la Facultad de Ingenierías

Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director Programa de Ingeniería Química

Ing. LEONARDO DE JESÚS HERRERA GUTIÉRREZ

Las directivas de la Fundación Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a la autora.

*Le agradezco a Dios y a mis padres Dayra y Armando
por apoyarme día a día a cumplir este sueño, por
amarme, ayudarme y darme su mano en cada
momento, papas esto es por ustedes y para ustedes.*

*Le agradezco a mi hermano Mateo por ser mi compañía
y mi todo, te amo mucho*

*Igualmente, a mi familia abuelas, tíos, primos por ser mi
apoyo incondicional diariamente. ¡Este triunfo también
es de ustedes, los amo!*

*A mis mejores amigas Laura Toro y Paula Barrios por
sus consejos y palabras de aliento, de una u otra forma
ustedes me acompañan en todos mis sueños y metas.
¡Gracias!*

GABRIELA CORTES POMAR

*El presente trabajo está dedicado principalmente a Dios
Por permitirnos llegar hasta el día más importante de nuestras vidas.*

*Igualmente, a mi amada madre Luz Dary Vega,
Quien ha sido mi motor y guía,
A quien le debo toda mi vida, así como este logro.*

*Le agradezco en el alma a mi familia,
Que han estado siempre apoyándome en mis sueños,
Ellos lo son todo,
Y quienes anhelan ver en mí una profesional realizada e idónea.
Este sueño es gracias a ustedes.*

*A mis amigos y compañeros,
Quienes no solo estuvieron en los momentos de felicidad,
Sino de tensión, angustia y desespero.*

*A Santiago Quintero Barón,
Quien estuvo a mi lado durante esta etapa tan importante en mi vida,
Y no dudo ni un segundo en mí,
Sabía las palabras correctas,
Las cuales me alentaban a seguir,
y no desfallecer en los momentos más duros de este proyecto.
Gracias.*

*Los amo con todo mi corazón.
MARIA CAMILA CARVAJA VEGA*

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Fundación Universidad de América, por brindarnos las bases y orientación necesaria en nuestro proyecto de grado, especialmente a los profesores Oscar Lombana y José Luis Salazar López, quienes nos acompañaron y guiaron en nuestro proceso de elaboración de tesis.

A la empresa soluciones en diseño de ingeniería S.A.S, quien nos abrió las puertas para desarrollar nuestro proyecto de grado y nos brindó la ayuda de los mejores profesionales, en especial al ingeniero Wilson Aníbal Vergara Urrego quien siempre estuvo dispuesto a brindar su experiencia, productos y la infraestructura de su empresa para pruebas y estudios.

CONTENIDO

	pág.
OBJETIVOS	21
1. MARCO TEÓRICO	22
1.1 MORTERO	22
1.2 CEMENTO	27
1.2.1 Proceso de Producción	27
1.2.2 Tipo de cemento	31
1.2.3 Historia del cemento en Colombia	32
1.3 AGREGADOS PARA EL CONCRETO	33
1.4 PROPIEDADES DEL CEMENTO	39
1.4.1 Superficie específica y finura	40
1.4.2 Hidratación	41
1.4.3 Calor de hidratación	43
1.4.4 Densidad del cemento	45
1.4.5 Tiempo de fraguado	46
1.4.5.1 Falso Fraguado	46
1.4.5.2 Fraguado Relámpago	47
1.4.6 Resistencia	47
1.5 ADITIVOS	47
1.5.1 Tipos de aditivos	48
1.5.1.1 Aditivos plastificantes	48
1.5.1.2 Aditivos acelerantes	49
1.5.1.3 Aditivos reductores de agua y acelerantes	49
1.5.1.4 Otros aditivos	49
1.6 RELACIÓN AGUA/CEMENTO	52
1.7 FRACTURA	54
1.7.1 ¿Qué es una fractura?	54
1.7.2 Resistencia de materiales	55
1.7.2.1 Comportamiento de hormigón sometido a compresión	56
1.7.3 Efecto de la temperatura	56
1.7.4 Modulo Young	58
2. DIAGNOSTICO	61
2.1 PROCESO DE PRODUCCIÓN	61
2.1.1 Diagrama de bloques	61
2.1.2 Descripción del proceso.	62
2.2 DIAGNOSTICO	66
2.2.1 Encuesta.	66
2.2.1.1 Formato de encuesta.	67
2.2.1.2 Clientes encuestados	67
2.2.1.3 Preguntas encuesta	68
2.2.1.4 Gráfico de resultados de la encuesta	68
2.2.1.5 Conclusión Encuesta	69
2.2.2 Diagnostico final	70

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL	71
3.1 MATERIALES EMPLEADOS	71
3.1.1 Cemento	71
3.1.2 Agregados	71
3.1.3 Agua	71
3.1.4 Aditivos	71
3.1.4.1 Aditivo plastificante SikaPlast MO	72
3.1.4.2 Aditivos acelerante SikaSet NC	72
3.1.4.3 Aditivo plastificante-acelerante Sika ViscoCrete 10 HE	72
3.2 CARACTERIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS	72
3.2.1 Cemento	72
3.2.1.1 Finura del cemento	72
3.2.1.2 Densidad.	74
3.2.1.3 Tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante aguja de Vicat	75
3.2.1.4 Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico	75
3.2.1.5 Análisis químico de los cementos hidráulicos	76
3.2.1.6 Consistencia normal del cemento hidráulico	81
3.2.2 Agregados	81
3.2.2.1 Densidad y absorción	81
3.2.2.2 Granulometría	82
3.2.3 Agua	82
3.2.3.1 Características organolépticas	83
3.2.3.2 Estudio físico	83
3.2.3.3 Estudio químico	84
3.2.4 Aditivos	88
3.2.4.1 Porcentaje de sólidos totales	89
3.2.4.2 Viscosidad	90
3.2.4.3 Densidad	91
3.3 PRUEBAS DE DESEMPEÑO AL MORTERO	93
3.3.1 Resistencia a la compresión	94
3.3.2 Ensayo de absorción de la mezcla	96
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS	97
4.1 CEMENTO	97
4.1.1 Finura del cemento (Blaine y 45 um)	99
4.1.2 Densidad	100
4.1.3 Tiempo de fraguado	100
4.1.4 Expansión autoclave	101
4.1.5 Consistencia Normal	101
4.1.6 Resistencia	102
4.2 AGREGADOS	103
4.2.1 Granulometría	104
4.2.2 Densidad y absorción	105
4.3 AGUA	107
4.3.1 Características organolépticas	108

4.3.1.1	Color	109
4.3.1.2	Olor	109
4.3.1.3	Sustancias flotantes	109
4.3.2	Estudio físico	109
4.3.2.1	pH	109
4.3.2.2	Temperatura	110
4.3.2.3	Sólidos disueltos totales	110
4.3.2.4	Sólidos totales	110
4.3.3	Estudio químico	110
4.3.3.1	Alcalinidad.	111
4.3.3.2	Cloruros	111
4.3.3.3	Dureza total	111
4.3.3.4	Nitratos	112
4.3.3.5	Sulfatos	112
4.4	ADITIVOS	112
4.4.1	Porcentaje de sólidos totales	113
4.4.2	Viscosidad	113
4.4.3	Densidad	114
4.4.4	Color	114
4.5	PRUEBAS DE DESEMPEÑO AL MORTERO	115
4.5.1	Resistencia a la compresión	116
4.5.1.1	Morteros con mezcla convencional	116
4.5.1.2	Morteros con aditivo plastificante	116
4.5.1.3	Morteros con aditivo acelerante	118
4.5.1.4	Morteros con mezcla de aditivos	119
4.5.1.5	Análisis de resultados ensayo de resistencia a la compresión	121
4.5.2	Ensayo de absorción de la mezcla	123
4.5.2.1	Ensayo de absorción de la mezcla convencional	123
4.5.2.2	Ensayo de absorción de mezcla con aditivo plastificante.	124
4.5.2.3	Ensayo de absorción de la mezcla con aditivo acelerante	125
4.5.2.4	Ensayo de absorción de la mezcla con mezcla de aditivos.	127
5.	DESARROLLO PRUEBA NIVEL PILOTO	131
5.1	CÁLCULO DE DOSIFICACIÓN	131
5.2	PRUEBAS DE DESEMPEÑO AL MORTERO	132
5.2.1	Resistencia a la compresión	133
5.2.2	Ensayo de absorción	134
6.	ANÁLISIS FINANCIERO	137
7.	CONCLUSIONES	144
8.	RECOMENDACIONES	145
	BIBLIOGRAFÍA	146

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1.. Informe de resultados de pruebas al cemento a los 3 días.	97
Tabla 2.. Informe de resultados de pruebas al cemento a los 7 días.	98
Tabla 3. Informe de resultados de pruebas al cemento a los 28 días.	98
Tabla 4. Composicion quimica del cemento tipo ART	99
Tabla 5. Resultados resistencia promedio de cemento Holcim y NTC 121	102
Tabla 6. Análisis granulométrico de agregados	104
Tabla 7. Resultados % absorción y densidad del agregado fino.	107
Tabla 8. Resultado análisis fisicoquímico del agua	108
Tabla 9. Resultado de caracterización de los aditivos químicos para el concreto	113
Tabla 10. Resultados de color según escala Gardner	115
Tabla 11 Resistencia a la compresión a los 14 días mezcla convencional	116
Tabla 12. Resistencia a la compresión a los 28 días mezcla convencional	116
Tabla 13. Resistencia a la compresión a los 14 días con plastificante	117
Tabla 14. Resistencia a la compresión a los 28 días con plastificante	117
Tabla 15. Resistencia a la compresión a los 14 días con acelerante	118
Tabla 16. Resistencia a la compresión a los 28 días con acelerante	119
Tabla 17. . Resistencia a la compresión a los 14 días con plastificante-acelerante	120
Tabla 18. Resistencia a la compresión a los 28 días con plastificante-acelerante	120
Tabla 19. Promedio total (PSI) para mezcla convencional.	121
Tabla 20. Promedio total (PSI) para mezcla con aditivo plastificante.	122
Tabla 21. Promedio total (PSI) para mezcla con aditivo acelerante.	122
Tabla 22. Promedio total (PSI) para mezcla con aditivo plastificante - acelerante.	122
Tabla 23. Ensayo de absorción a los 14 días mezcla convencional.	123
Tabla 24. Ensayo de absorción a los 28 días mezcla convencional.	124
Tabla 25. Ensayo de absorción a los 14 días Mezcla con SikaPlast MO.	124
Tabla 26. Ensayo de absorción a los 28 días Mezcla con SikaPlast MO.	125
Tabla 27. Ensayo de absorción a los 14 días Mezcla con SikaSet NC.	126
Tabla 28. Ensayo de absorción a los 28 días Mezcla con SikaSet NC.	126
Tabla 29. Ensayo de absorción a los 14 días Mezcla con Sika ViscoCrete 10 HE.	127
Tabla 30. Ensayo de absorción a los 28 días Mezcla con Sika ViscoCrete 10 HE.	127
Tabla 31. Especificaciones tubería prueba piloto	131
Tabla 32. Volúmenes totales de revestimiento externo para tubería 24 y 12 pulgadas.	132
Tabla 33. Dosificaciones establecidas para recubrimiento de tubería seleccionada	132
Tabla 34. Resistencia a la compresión a los 14 y 28 días.	133

Tabla 35. Ensayo de absorción a los 14 días Mezcla con Sika ViscoCrete 10 HE.	134
Tabla 36. Ensayo de absorción a los 28 días Mezcla con Sika ViscoCrete 10 HE.	134
Tabla 37. Especificaciones de tubería.	137
Tabla 38. Volúmenes revestimiento externo	137
Tabla 39. Volúmenes revestimiento interno	138
Tabla 40. Volumen total de revestimiento	138
Tabla 41. Dosificaciones para revestimiento externo.	138
Tabla 42. Costos materiales del mortero	138
Tabla 43. . Costo aditivo Sika ViscoCrete 10 HE	139
Tabla 44. Costo aditivo linealizado por un metro de tubería	139
Tabla 45. Costo por metro de tubería diámetro de 16 pulgadas mezcla convencional	139
Tabla 46. Costo por metro de tubería diámetro de 24 pulgadas mezcla convencional.	140
Tabla 47. Costo por metro de tubería diámetro de 16 pulgadas mezcla convencional con aditivo Sika ViscoCrete 10 HE.	141
Tabla 48. Costo por metro de tubería diámetro de 24 pulgadas mezcla convencional con aditivo Sika ViscoCrete 10 HE.	142
Tabla 49. Comparación costos totales en mezcla convencional con aditivo y sin aditivo.	142

LISTADO DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Proporciones de morteros cemento-arena, características y usos.	23
Cuadro 2. Proporciones de morteros cemento-arena y resistencias (kg/cm ²).	24
Cuadro 3. Proporciones de morteros cal-arena y usos.	24
Cuadro 4. Proporciones de morteros cemento- cal-agua y usos.	25
Cuadro 5. Compuestos químicos y sus límites aproximados del cemento.	28
Cuadro 6. Compuesto químicos del cemento después del proceso de producción.	28
Cuadro 7. Diferentes tipos de cemento hidráulico, definición, características y aplicaciones.	32
Cuadro 8. Clasificación agregados según su tamaño.	34
Cuadro 9. Tipo de agregado Vs. tamaño de malla.	35
Cuadro 10. Límites granulométricos para agregado fino.	36
Cuadro 11. Clasificación según su densidad.	37
Cuadro 12. Métodos para la medición de área específica del cemento.	41
Cuadro 13. Porcentajes de calor generado para los diferentes tipos de cemento.	44
Cuadro 14. Tabla de calor de hidratación según norma ASTM C186 E.E.U.U.	45
Cuadro 15. Aditivo plastificante Vs. superfluidificante.	50
Cuadro 16. Valores comunes de módulo de elasticidad para concreto y acero.	59
Cuadro 17. Clientes encuesta de satisfacción	67
Cuadro 18. Preguntas encuesta	68
Cuadro 19. Máximas variaciones permisibles de la composición química del cemento	80
Cuadro 20. Punto final pH a tener en cuenta en la prueba.	86
Cuadro 21. % de aditivo Vs. días de toma de datos.	95
Cuadro 22. Datos mezcla para la elaboración de probetas con aditivo.	95

LISTA DE IMÁGENES

	pág.
Imagen 1. Planta de proceso de producción de cemento Holcim	31
Imagen 2. Etapas de hidratación del cemento	42
Imagen 3. Permeabilidad en alta y baja relación A/C sobre el concreto	53
Imagen 4. Proceso ilustrado de fractura.	55
Imagen 5. Láminas soldadas y proceso de obtención de forma (Rolling machine).	62
Imagen 6. Pruebas de verificación de soldaduras con sus respectivos líquidos.	63
Imagen 7. Tubos con anillos.	64
Imagen 8. Máquina para prueba de presión hidrostática.	64
Imagen 9. Máquina de revestimiento interno.	65
Imagen 10. Proceso de curado revestimiento interno.	65
Imagen 11. Proceso de revestimiento externo.	65
Imagen 12. Producto final convencional y línea especial.	66
Imagen 13 . Aparato Blaine	73
Imagen 14. Frasco de le Chartelier para prueba de densidad.	74
Imagen 15. Aparato Vicat	75
Imagen 16. Serie de tamices	82
Imagen 17. Filtro de fibra de vidrio estándar	84
Imagen 18. <i>Peso cápsula vacía y peso cápsula con muestra.</i>	89
Imagen 19. Cápsulas con muestra en horno.	89
Imagen 20. Viscosidad Sika ViscoCrete 10 HE.	91
Imagen 21. Picnómetro vacío y con solución estándar de referencia.	92
Imagen 22. Picnómetro con muestra (Sika ViscoCrete 10 HE-Sikaplast MO-SikaSet NC).	92
Imagen 23. Peso picnómetro con muestra.	93
Imagen 24. Maquina universal.	95
Imagen 25. Ensayo de Absorción en panelas SDI	96
Imagen 26. Partícula de agregado húmedo con distribución externa e interna del agua.	106
Imagen 27. Color aditivos	115
Imagen 28. Tubería seleccionada	132

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Ecuación módulo de Young o elasticidad.	58
Ecuación 2. Finura del cemento	73
Ecuación 3. Residuo corregido	73
Ecuación 4. Densidad del cemento.	74
Ecuación 5. Cálculo para la resistencia a la compresión	76
Ecuación 6. Porcentaje de MgO en la muestra	78
Ecuación 7. Porcentaje de CaO ₂ en la muestra	78
Ecuación 8. Obtención de óxido férrico	79
Ecuación 9. Porcentaje de TiO ₂ en la muestra de cemento	80
Ecuación 10. Densidad aparente	81
Ecuación 11. Densidad nominal	82
Ecuación 12. Medición del umbral	83
Ecuación 13. Alcalinidad total con ácido titulante	85
Ecuación 14. Cálculo en ml y Litros de Cloro	87
Ecuación 15. Dureza en mg/L de CaCO ₃	87
Ecuación 16. Sulfatos en mg/L	88
Ecuación 17. Determinación porcentaje de sólidos.	90
Ecuación 18. Determinación viscosidad.	90
Ecuación 19. Determinación velocidad de caída.	91
Ecuación 20. Determinación densidad.	93
Ecuación 21. Determinación volumen picnómetro.	93
Ecuación 22. Formula de Absorción de agua del concreto	96
Ecuación 23. Módulo de finura	105
Ecuación 24. Porcentaje de absorción	105

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Grafica 1. Curva de reactividad de los compuestos químicos del cemento.	29
Grafica 2. Evolución de calor para las etapas de hidratación	43
Grafica 3. Desarrollo de resistencias.	50
Grafica 4. Retracción a largo plazo de un concreto con y sin controlador.	52
Grafica 5. Variación de resistencias típicas para relaciones agua-cemento de concreto de cemento portland basadas en más de 100 diferentes mezclas de concreto moldeadas	54
Grafica 6. Gráfico respuesta del hormigón sometido a cargas de compresión.	56
Grafica 7. Etapas de un material.	57
Grafica 8. Grafica esfuerzo-deformación.	59
Grafica 9. Comparación curva esfuerzo-deformación de materiales	60
Grafica 10. Proceso de producción SDI	61
Grafica 11. Resultados encuesta.	69
Grafica 12. Resistencia promedio de cemento Holcim y NTC 121	103
Grafica 13. Comparación de resistencias promedio de cuatro tipos de cemento	103
Grafica 14. Curva análisis granulométrico	104
Grafica 15. Resistencia a la compresión con aditivo plastificante.	118
Grafica 16. Resistencia a la compresión con aditivo acelerante.	119
Grafica 17. Resistencia a la compresión con aditivo acelerante – plastificante.	121
Grafica 18. Ensayo de absorción aditivo SikaPlast MO.	125
Grafica 19. Ensayo de absorción aditivo SikaSet NC.	126
Grafica 20. Ensayo de absorción aditivo Sika ViscoCrete 10 HE.	128
Grafica 21. Comparación ensayo de absorción aditivo Sika ViscoCrete 10 HE y mezcla convencional de concreto.	130
Grafica 22. Resistencia a la compresión prueba piloto	133
Grafica 23. Ensayo de absorción prueba piloto.	135
Grafica 24. Comparación ensayo de absorción prueba piloto y mezcla convencional de concreto.	135

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Tabla dosificación revestimiento interior.	150
Anexo B. Tabla dosificación revestimiento exterior.	151
Anexo C. Hoja técnica aditivo sikaplast mo	152
Anexo D. Hoja técnica aditivo sikaplast mo (continuación)	153
Anexo E. Hoja técnica aditivo sikaplast mo (continuación)	154
Anexo F. Hoja técnica aditivo sikaset nc	155
Anexo G. Hoja técnica aditivo sikaset nc (continuación)	156
Anexo H. Hoja técnica aditivo visconcrete-10-he	157
Anexo I. Hoja técnica aditivo visconcrete-10-he (continuación)	158
Anexo J. Formato encuesta	159
Anexo K. Formato encuesta (continuación)	160
Anexo L. Formato pieza 103 prueba piloto (sdi)	161
Anexo M. Resultados encuesta	162
Anexo N. Resultados encuesta (continuación)	163

RESUMEN

La finalidad de este trabajo de grado es evaluar el uso de aditivos sobre la mezcla convencional de concreto en morteros de cemento ART para lograr un aumento en su resistencia, se hace uso de aditivos plastificantes (SikaPlast MO), acelerantes (SikaSet NC) y plastificantes-acelerantes (Sika ViscoCrete 10 HE), con un total de 29 pruebas realizadas, en donde, como primer paso se presenta la caracterización de la materia prima que compone un mortero de cemento (cemento, agua, arena y aditivos a estudiar), para el cemento se determinan propiedades tales como finura, densidad, tiempo de fraguado, resistencia a la compresión, análisis químico (dióxido de silicio, dióxido de calcio, óxido de magnesio, óxido férrico, dióxido de titanio, pentóxido de fósforo) y consistencia. Para el agua se realiza un análisis físico- químico en donde se determinan propiedades tales como pH, temperatura, sólidos disueltos totales, alcalinidad, cloruros, dureza total, nitratos y sulfatos, además, se determinaron características organolépticas como color, olor y sustancias flotantes. Para los agregados se realiza la caracterización con pruebas como absorción, granulometría y densidad finalmente, para el estudio de los aditivos se realizan pruebas tales como color (cualitativo), viscosidad, densidad y porcentaje de sólidos. Una vez realizada la caracterización de materiales se define la dosificación de aditivos a utilizar en la mezcla y se decide trabajar con tres valores de dosificación para cada aditivo (1%, 1,25% y 1,5% del peso del cemento), esto con el fin de determinar la dosificación adecuada y proceder a elaborar las mezclas con aditivos para su posterior estudio en las pruebas de desempeño a los morteros. Las pruebas de desempeño al mortero comprenden resistencia a la compresión y ensayo de absorción, ambas tomadas a los 14 y 28 días.

Al evaluar los resultados se obtiene que el aditivo que presenta un mejor desempeño sobre los morteros de cemento es el plastificante- acelerante (Sika ViscoCrete 10 HE) con una dosificación de 1,5%, mostrando un aumento en la resistencia a la compresión aproximado del 15,8% con respecto a la mezcla convencional (sin presencia de aditivo).

La presencia de aditivo en la mezcla del mortero aumenta el costo del producto final (tubería de acero recubierta con mortero de cemento), sin embargo, se presenta un aumento aproximado del 0,8% sobre el precio de fabricación total del producto, lo cual representa un proyecto financieramente viable.

PALABRAS CLAVE

Mortero

Cemento

Resistencia a la compresión

Aditivo plastificante

Aditivo acelerante

Aditivo plastificante- acelerante

Absorción

INTRODUCCIÓN

Garantizar la adecuada funcionalidad de las tuberías de acero recubiertas con morteros de cemento trae consigo la necesidad de conocer si la protección (Morteros de cemento) implementada sobre estas poseerá las características adecuadas, teniendo en cuenta que durante la producción, uso o aplicación de los morteros de cemento se reportan datos de fracturas que llegan al 10% a nivel de producción y 30 % a nivel exterior (transporte, almacenamiento y mala instalación), lo que puede afectar el funcionamiento del mismo, y donde sus posibles causas pueden ser el mal “curado” (humedad del cemento), mal trato del producto final, diferencial térmico, entre otros factores que producen la aparición de estas fallas.

En el campo de la construcción se ofrecen distintos tipos de aditivos, los cuales presentan funciones específicas que son establecidas por un diseño previo de la empresa que los fabrica, lo que facilita al cliente la selección del aditivo según el uso que este requiera, en este proyecto se tiene en cuenta que los aditivos a estudiar no presenten porcentaje de cloruros en su composición química, dado que, la función principal del mortero es brindar protección a tuberías de acero. El parámetro principal a estudiar con base al uso de aditivos en la mezcla de cemento es el aumento de la resistencia a la compresión de los morteros, lo que conlleva a la disminución de la presencia de fisuras, grietas o fracturas en el mortero y que puedan desencadenar en problemas de corrosión sobre la tubería de acero.

Este trabajo de grado está compuesto por 4 objetivos específicos, como primer objetivo se realiza una recopilación de fundamentos bibliográficos, comprendidos en los capítulos 1 y 2, los cuales explican las propiedades físicas y/o químicas de los materiales que componen un mortero de cemento y como se pueden presentar fracturas en estos, como segundo objetivo se realiza un desarrollo experimental sobre las propiedades de los materiales que componen un mortero de cemento y que influyen en la resistencia final del mismo, realizando una comparación en el desempeño de tres tipos de aditivos presentes en la mezcla de cemento, comprendidos en los capítulos 3 y 4, para el desarrollo del tercer objetivo se realiza una prueba a nivel piloto con el aditivo que mostró mejor desempeño en la mezcla y se realiza un desarrollo experimental, esto se muestra en el capítulo 5. Finalmente, se realiza un análisis de costos, comparando los costos totales de producción de las tuberías con morteros de cemento, teniendo en cuenta la implementación de aditivos en la nueva mezcla, lo que se muestra en el capítulo 6.

Con base en el estudio realizado se elaboraron las conclusiones y recomendaciones del proyecto, lo que permitirá la investigación de otras variables que afecten este tipo de protección para tuberías de acero.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el uso de aditivos plastificantes y acelerantes en las mezclas convencionales de concreto de morteros de cemento ART.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diagnosticar las causas de fractura en los morteros de cemento ART (alta resistencia temprana).
2. Seleccionar el aditivo apropiado según un desarrollo experimental.
3. Evaluar la mejor alternativa de mezcla de aditivos a nivel piloto.
4. Realizar un análisis de costos basado en la implementación de aditivos a la mezcla convencional de concreto.

1. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se estudia la teoría necesaria para la elaboración del presente proyecto de grado, se analizan conceptos básicos tales como propiedades y características de las materias primas, propiedades y características del mortero, entre otros, y con base a lo anterior llegar a un diagnóstico final de causas de fractura en los morteros de cemento.

1.1 MORTERO

El mortero se define como la mezcla entre agua, aglomerantes inorgánicos (cal, yeso o cemento) y un material de relleno (arena o agregados finos), sin olvidar que en ocasiones se pueden agregar aditivos a la mezcla. Generalmente se emplean como material de revestimiento exterior y/o interior sobre diferentes superficies.¹

Los tipos de morteros disponibles se pueden clasificar en dos grandes grupos: según el material que lo constituye y según su endurecimiento.

Según el material que lo constituye se encuentra el mortero de cemento, estos están constituidos por agua y cemento Portland, sus propiedades de manejabilidad varían según la proporción de arena- cemento y presentan valores de resistencias favorables. En estos morteros el contenido de materia orgánica y las propiedades de la arena como textura de partículas, granulometría, forma, entre otras, hacen parte en la definición de la calidad del mortero. Si se desea un mortero de cemento con resistencias altas, la mezcla debe presentar un contenido alto de cemento, sin embargo, este es apto para presentar grietas con mayor facilidad, por otro lado, si lo que se desea es un mortero con manejabilidad alta, pero resistencias bajas se deben usar arenas que presenten en bajas proporciones arcilla o limo. Según la proporción en peso de arena y cemento se logran dosificar estos morteros, a continuación, se presenta una tabla donde se especifican las proporciones de los morteros de cemento, sus características y los usos².

¹GUTIÉRREZ DE LÓPEZ, Libia. El Concreto y otros materiales para la construcción, Universidad Nacional de Colombia, 2003.

²Cátedra de Ingeniería Rural. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real. Tema 9: Morteros. [En línea]. Disponible en: https://previa.uclm.es/area/ing_rural/trans_const/tema9.pdf

Cuadro 1. Proporciones de morteros cemento-arena, características y usos.

DOSIFICACIÓN MORTERO	CARACTERÍSTICAS	USOS
1:1	Poseen alta resistencia, necesariamente arena limpia.	Mortero muy rico para impermeabilizaciones. Rellenos.
1:2	Poseen alta resistencia, necesariamente arena limpia.	Para impermeabilizaciones y pañetes de tanques subterráneos. Rellenos
1:3	Poseen alta resistencia, necesariamente arena limpia.	Impermeabilizaciones menores. Pisos
1:4	Arena limpia o semilavada.	Pega para ladrillos en muros y baldosines. Pañetes finos Pañetes exteriores. Pega para
1:5	Arena limpia o semilavada.	ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería en general. Pañetes no muy finos.
1:6	Arena limpia o semilavada.	Pañetes interiores: pega para ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería en general. Pañetes no muy finos
1:7	Poca resistencia, arena sucia.	Pañetes interiores: pega para ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería en general. Pañetes no muy finos
1:8	Poca resistencia, arena sucia.	Pegas para construcciones que se van a demoler pronto. Estabilización de taludes en cimentaciones.
1:9	Poca resistencia, arena sucia.	Pegas para construcciones que se van a demoler pronto. Estabilización de taludes en cimentaciones.

Fuente. GUTIÉRREZ DE LÓPEZ, Libia, et al. El concreto y otros materiales para la construcción. 2003. pg. 23

La siguiente tabla especifica la relación de proporción cemento- arena, y presenta valores de resistencia para cada proporción:

Cuadro 2. Proporciones de morteros cemento-arena y resistencias (kg/cm²).

Morteros de cemento y arena					
Tipo de mortero	Proporción en volumen		kg cemento por m³ de mortero	Empleo preferente	Resistencia kg/cm²
	Cemento	Arena			
Ricos	1	1	800	Bruñidos y revoques impermeables.	160
	1	2	600	Enlucidos, revoque de zócalos, corrido de cornisas	
	1	3	450	Bóvedas tabicadas, muros muy cargados, enlucidos de pavimento, enfoscados.	
Ordinarios	1	4	380	Bóvedas de escalera, tabiques de rasilla.	130
	1	5	300	Muros cargados, fábrica de ladrillos, enfoscados.	98
Pobres	1	6	250	Fábricas cargadas.	75
	1	8	200	Muros sin carga.	50
	1	10	170	Rellenos para solado.	30

Fuente. Cátedra de Ingeniería Rural. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real. Tema 9: Morteros.

Los morteros calcáreos son aquellos en los que su mezcla posee cal como aglomerante, según la cal que se utiliza en la mezcla se pueden diferenciar los morteros aéreos en donde normalmente se utiliza la cal gris y blanca, en estos la arena juega un papel importante ya que previene la aparición de grietas sobre estos, para esto la arena no debe poseer materia orgánica y se sugiere que sus partículas sean angulares. Si el fin del mortero es para construcción se debe presentar una proporción de cal-arena de 1:3 a 1:4 y si se utiliza para revestimiento se recomienda una proporción de 1:2. A continuación, se presenta una tabla donde se especifican las proporciones en volumen de cal- arena y su respectivo uso.

Cuadro 3. Proporciones de morteros cal-arena y usos.

MORTEROS DE CAL - ARENA		
Proporción en volumen		USO
Cal	Arena	
1	1	Enlucidos
1	2	Revoques
1	3	Muros de ladrillo
1	4	Muros de mampostería

Fuente. Cátedra de Ingeniería Rural. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real. Tema 9: Morteros.

Los morteros de yeso incluyen en su mezcla yeso hidratado con agua, este mortero presenta un tiempo de fragüe rápido ya que el proceso de endurecimiento inicia a los 5 minutos aproximadamente y finaliza a los 15 minutos transcurridos; basados en la finura de molido, coacción, calidad del yeso y otros factores la cantidad de agua a utilizar puede variar en un rango de valores que oscilan entre el 50% al 70% según sea la finalidad del mortero.

En los morteros bastardos se presentan dos aglomerantes en su mezcla como pueden ser cemento- cal, yeso- cal, etc. Los morteros de cemento y cal presentan una alta manejabilidad, alta resistencia y son capaces de retener el agua, sin embargo las proporciones de cal, cemento y arena en la mezcla sirven para identificar características de estos morteros, si la cantidad cal es mayor se presentara una permeabilidad alta y será más plástico, pero se presentará una resistencia baja, por otro lado si el contenido de cemento es mayor se presenta una contracción de 3% aproximadamente (mortero seco), su resistencia será alta y puede ser manejable y finalmente si su contenido de arena es mayor presentará baja resistencia y manejabilidad, a continuación se presenta una tabla donde se presentan las relaciones de mezcla entre cemento- cal- agua y sus usos, sin embargo las relaciones de mezcla que más se utilizan en las diferentes industrias donde se necesitan estos tipos de mortero varían entre 1:2:6 y 1:2:10 de cemento-cal-arena³.

Cuadro 4. Proporciones de morteros cemento- cal-agua y usos.

MORTEROS CEMENTO- CAL			
Proporción en volumen			USO
Cemento	Cal	Agua	
1	1	6	Muros cargados
1	1	8	Muros poco cargados
1	1	10	Cimientos
4	1	12	Revestimientos impermeables

Fuente. Cátedra de Ingeniería Rural. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real. Tema 9: Morteros.

Según su endurecimiento encontramos los morteros hidráulicos o acuáticos, para estos se mezclan los componentes en seco, teniendo en cuenta una dosificación controlada y precisa, hasta conseguir una mezcla homogénea, esto con el fin de obtener unas propiedades de impermeabilidad adecuadas, en razón a su composición y características estos morteros presentan resistencias iniciales altas

³Cátedra de Ingeniería Rural. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real. Tema 9: Morteros. p. 3. [En línea]. Disponible en https://previa.uclm.es/area/ing_rural/trans_const/tema9.pdf

y logran fraguar bajo el agua. Y los morteros aéreos los cuales fraguan debido a un proceso de carbonatación que ocurre sobre estos al secar el agua que estos poseen cuando se dejan expuestos al aire.

Cuando los morteros se encuentran en estado plástico presentan propiedades tales como la velocidad de fragüe, aquí se debe tener en cuenta la situación ambiental en la que se encuentra el mortero (clima, humedad, etc.) y los componentes de la mezcla, ya que esto genera variaciones en el tiempo de fragüe final el cual puede oscilar entre 2 a 24 horas. La manejabilidad la cual se define como la comodidad de manipular la mezcla, esta se ve afectada por la proporción cemento- arena y de propiedades de la arena tales como textura, forma, tamaño de partícula, etc. este factor se mide según la norma NTC 111. Finalmente, la retención de agua la cual puede afectar la resistencia final y la velocidad de fragüe, esta propiedad define una buena o mala hidratación del cemento y para aumentar la retención de agua en los morteros se sugiere el uso de cal en la mezcla, hacer uso de aditivos plastificantes o incrementar la cantidad de agregados finos en la arena.

Por otro lado, si el mortero se encuentra en estado endurecido se pueden estudiar propiedades tales como apariencia este aspecto se debe tener en cuenta en trabajos donde la apariencia final del producto sea importante, esto aplica para trabajos de construcción, entre otros, para obtener una apariencia final buena se recomienda hacer uso de morteros con una plasticidad buena. La adherencia que se define como la capacidad de asimilar fuerzas de tensión ya sean tangenciales o normales con respecto a la zona de unión entre una estructura y el mortero, si se desea una adherencia buena se sugiere trabajar sobre superficies rugosas capaces de absorber adecuadamente. Otra propiedad que se debe tener en cuenta al tener un mortero en estado endurecido es la durabilidad, ya que este puede estar expuesto a factores que varíen la resistencia del mismo, tales como cambios de temperatura, mala impermeabilización, agentes externos que corroan el mortero, entre otros, los morteros que presentan una mayor durabilidad son aquellos que cuentan con una resistencia a la compresión alta. La retracción que es una de las causas por la que puede agrietarse un mortero, surge gracias a la reducción de la pasta de cemento y puede aumentar si el mortero presenta contenidos altos de cemento, es aquí donde se debe tener especial cuidado en las proporciones de la mezcla, ya que se ve afectada la calidad final del mortero, con el fin de evitar o disminuir la aparición de grietas en el mortero se recomienda hacer uso de arenas que tengan granos rugosos y tener en cuenta aspectos como el clima al cual va a ser expuesto el mortero⁴.

⁴GUTIÉRREZ DE LÓPEZ, Libia. El Concreto y otros materiales para la construcción, Universidad Nacional de Colombia, 2003.

1.2 CEMENTO

En la industria del cemento hay dos grandes grupos, los cementos hidráulicos y los cementos no hidráulicos, en donde los últimos no reaccionan en presencia de agua o de ambiente húmedos por lo cual no es un grupo para abarcar en este trabajo. Al contrario, están los cementos hidráulicos los cuales, si interactúan con el agua, ya que ocurre una reacción química entre el polvo de cemento, el cual está compuesto principalmente por silicatos hidráulicos de calcio y el agua, proceso llamado hidratación del cemento que, junto con una adición de agregados finos o gruesos, dependiendo de la finalidad de la materia prima, se genera una pasta la cual adquiere propiedades cementantes.

1.2.1 Proceso de Producción. Para hablar de los dos procesos de producción de cemento, se debe tener en cuenta la composición química proveniente de la fuentes o materias primas necesarias para empezar el proceso, las cuales se extraen de canteras, y deben ser sometidas a un pre tratamiento, el cual se compone de la trituración primaria y secundaria en donde se transforma el tamaño de partícula hasta 125 mm y luego a 20 mm para poder ser transportada y almacenada la materia prima individualmente⁵.

El cemento tiene como materias primas la roca caliza que es la fuente de Calcio, arcillas que son la fuente de sílice y alúmina, mineral de hierro, arena y por ultimo una adición de yeso, material que ayuda a retardar el tiempo de fraguado ya que en vez de hacerse una hidratación rápida se forma una doble sal cristalina o sulfoaluminato⁶, sin embargo se debe tener en cuenta la cantidad de yeso a adicionar puesto que esta no puede superar el 3%.

En la siguiente tabla se pueden observar los principales componentes del cemento en los rangos aproximados, estos componentes necesitan de una dosificación artificial ya que naturalmente no se encuentran con las cantidades que son solicitadas para llevar a cabo el proceso de producción del cemento

⁵KOSMATKA, Steven H.; PANARESE, William C.; BRINGAS, Manuel Santiago. Diseño y control de mezclas de concreto. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 1992.

⁶Composición del cemento Portland. Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste [En línea]. Argentina Disponible en <http://ing.unne.edu.ar/pub/quimica/cemento.pdf>

Cuadro 5. Compuestos químicos y sus límites aproximados del cemento.

COMPUESTO	SÍMBOLO QUÍMICO	LÍMITES APROXIMADOS (%)
Cal	CaO	60,0-67,0
Sílice	SiO ₂	17,0-25,0
Alúmina	Al ₂ O ₃	3,0-8,0
Óxido de hierro	Fe ₂ O ₃	0,5-0,6
Óxido de magnesio	MgO	0,1-7,0
Alcalis		0,1-1,3
Anhídrido sulfúrico	SO ₃	1,0-3,5

Fuente. MATALLANA, R. Fundamentos de concreto aplicados a la construcción. Medellín, Piloto SA, 2006.

Luego de todo el proceso por el que pasan las materias primas se llega al producto final, el cemento, el cual tiene compuestos químicos más complejos, los cuales se encuentran en la siguiente tabla. El primer compuesto es C₃S que es 50-55% del cemento dependiendo del tipo que se maneja, este compuesto se caracteriza por atribuir resistencia inicial al cemento durante los 7 primeros días, el segundo compuesto es C₂S (belita) el cual proporciona al cemento la resistencia tardía durante los 21 días ayudando a bajar el riesgo de contracciones, sin embargo hace que los cementos sean lentos, el tercer compuesto es C₃A (celita) el cuál es el responsable del proceso de fraguado que ocurre en el cemento, ya que logra que el cemento se caliente para poder ser hidratado, sin embargo se debe tener en cuenta la cantidad puesto que es muy sensible a los sulfatos produciendo una expansión en la masa, formando así las micro fisuras, y por último está el cuarto compuesto C₄AF⁷.

Cuadro 6. Compuesto químicos del cemento después del proceso de producción.

COMPUESTO	SÍMBOLO QUÍMICO
Silicato tricálcico	C ₃ S
Silicato bicálcico	C ₂ S
Aluminato tricálcico	C ₃ A
Ferroaluminato tetracálcico	C ₄ AF

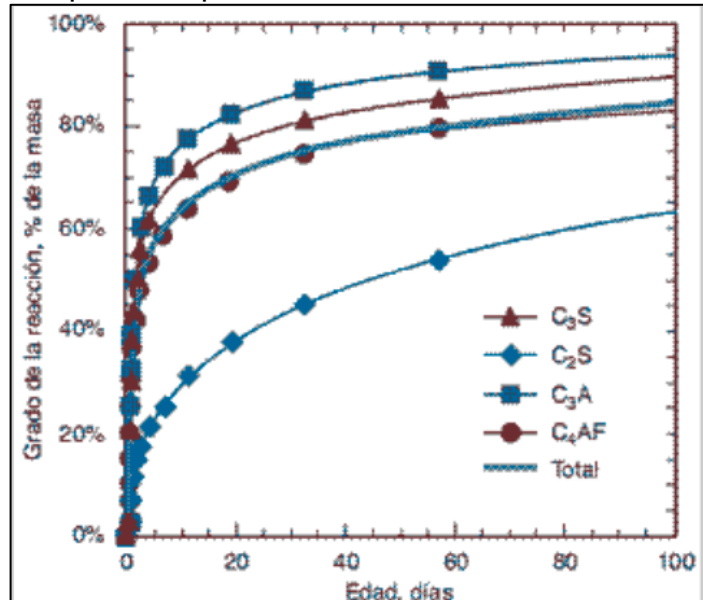
Fuente. MATALLANA, R. Fundamentos de concreto aplicados a la construcción. Medellín, Piloto SA, 2006.

Estos compuestos químicos combinados obedecen a una dependencia en propiedades como calores de hidratación y resistencias, en la siguiente gráfica se

⁷BLODA, Alberto Virella. Los cementos Pórtland con adiciones y los cementos compuestos. Materiales de construcción, 1976, vol. 26, no 164, p. 51-71.

puede ver cómo reaccionan los compuestos a medida que pasa el tiempo en un estudio hecho por Paul Tennis y Hamlin Jennings⁸.

Grafica 1. Curva de reactividad de los compuestos químicos del cemento.



Fuente. TENNIS, Paul D.; JENNINGS, Hamlin M. A model for two types of calcium silicate hydrate in the microstructure of Portland cement pastes. Cement and Concrete Research, 2000, vol. 30, no 6, p. 855-863.

El proceso de producción para la obtención de cemento empieza justo después de hacerse el debido pre tratamiento a la materia prima que ha sido extraída de las canteras, luego se transporta por medio de maquinaria pesada o por pasto ductos (tubería de transporte de materias primas) para ser almacenada y clasificada, este material necesita ser dosificado proporcionalmente según la cementera y normas de calidad que este lleve, después son llevadas por transportadoras de banda a molinos de cilindros el cuál combina trituración, molienda, secado y clasificación sin una adición de agua, por lo cual el producto que sale del molino se le llama harina, para ser llevada a silos de mezclado seco, en donde se hace una homogeneización por medio de agitación con aire, para poder ser llevado al siguiente paso del proceso, a diferencia del proceso por vía seca, el proceso por vía húmeda utiliza un molino de crudo, ya que se trabaja con una adición de agua, molino que tiene en su interior bolas metálicas las cuales reducen aún más el

⁸TENNIS, Paul D.; JENNINGS, Hamlin M. A model for two types of calcium silicate hydrate in the microstructure of Portland cement pastes. Cement and Concrete Research, 2000, vol. 30, no 6, p. 855-863.

tamaño de partícula hasta llegar a tamaños del orden de medio milímetro y mediante una agitación mecánica se impide que suceda una sedimentación⁹.

La homogeneización llevada en cada uno de los procesos busca distribuir de forma uniforme el material o pasta que pasara al horno, por la vía húmeda tiene un paso adicional puesto que el agua que había sido utilizada anteriormente debe ser extraída del proceso, esto se hace por medio de un espesador en donde se deja sedimentar la mezcla y el agua es retirada por la parte superior obteniendo así una especie de lodo, que en algunos caso requiere de una filtración para retirar excesos de agua, luego de tener en cuenta esta parte del proceso vía húmeda el material está listo para pasar a la calcinación.

La calcinación para el producto proveniente de la homogeneización de vía húmeda y seca se lleva a cabo en hornos rotatorios inclinados, los cuales giran alrededor de su eje, y por su extremo superior se alimentan con la pasta o la harina, productos que pasan por medio de diferentes zonas de temperatura hasta llegar a la zona de máxima temperatura, la cual oscila en 1450 °C, para lograr esta temperatura es necesario el uso de algún combustible como lo es carbón o gas, la única diferencia para el proceso por vía seca es la utilización de precalentadores del material, que funcionan con el aire caliente que es expedido por el horno y llevado a estos, de modo que se hace una reducción de gasto energético que es el principal costo de producción de cemento¹⁰.

En la parte final del horno se produce el conocido Clinker, ya que se va perdiendo temperatura y empieza la etapa enfriamiento, esta etapa debe ser sucedida por enfriadores de parrilla o enfriadores tipo planetario, los cuales son sistemas que aceleran el enfriamiento del clínker para llegar a ser transportado a el silo de almacenamiento. El clínker necesita de una serie de adiciones como el yeso, que anteriormente se explicó de su necesidad, contenido de 3-10% para poder controlar el tiempo de fraguado del producto final; después de esto el clínker mas sus adiciones debe ser adecuado en forma de polvo fino con el fin de que pueda hidratarse el cemento, por lo que es necesario de una siguiente etapa, una molienda de clínker¹¹.

⁹KOSMATKA, Steven H.; PANARESE, William C.; BRINGAS, Manuel Santiago. Diseño y control de mezclas de concreto. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 1992.

¹⁰KOSMATKA, Steven H.; PANARESE, William C.; BRINGAS, Manuel Santiago. Diseño y control de mezclas de concreto. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 1992.

¹¹Ibid., p. 28.

Finalmente se hace un proceso de empaquetamiento en sacos que deben de tener capas de papel para que el cemento no se tienda a hidratar o a granel utilizando camiones cisterna para su transporte y distribución.

Imagen 1. Planta de proceso de producción de cemento Holcim



Fuente. Holcim Colombia. Proceso de fabricación de cemento en Colombia. [En línea]. Recuperado de <https://www.holcim.com.co/productos-y-servicios/cemento/proceso-de-fabricacion-del-cemento>

1.2.2 Tipo de cemento. La normatividad del cemento se rige dependiendo del país, en Colombia está la norma recientemente actualizada NTC 121 Especificación de desempeño para cemento hidráulico, la cual se encarga de clasificar el cemento según su requerimiento en específico; anteriormente Colombia contaba con la NTC 30 y NTC 31 las cuales hacen una clasificación, nomenclatura y especificación al cemento Portland, sin embargo en 2014 se reemplazó teniendo en cuenta que la clasificación establecida no concordaba con las aplicaciones que hoy en día se tienen en el cemento y al alto avance tecnológico en la industria cementera.

Actualmente la NTC 121 clasifica al cemento hidráulico en 6 tipos, los cuales son llamados UG, ART, MRS, ARS, MCH, BCH, tal como se enseña en la siguiente tabla en donde se encuentran los tipos de cemento, definición, características y adiciones. Adicionalmente la NTC 121 contempla dos adiciones que dependen de la demanda de cemento con especiales propiedades para grandes infraestructuras¹².

¹²INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Especificación de desempeño para cemento hidráulico. Terminología. NTC 121. Bogotá D.C.: El Instituto, 2014. P 3-5.

Cuadro 7. Diferentes tipos de cemento hidráulico, definición, características y aplicaciones.

TIPO DE CEMENTO	DEFINICIÓN	CARACTERÍSTICAS			OPCIÓN ADICIONAL
UG	USO GENERAL	Cemento utilizado en construcción general			BAJA REACTIVIDAD CON AGREGADOS REACTIVOS ÁLCALI-SILICE (BRA)
ART	ALTA RESISTENCIA TEMPRANA	Se utiliza en la elaboración de concretos y morteros	Estructuras de concreto con rápida puesta en servicio y altas solicitudes de producción de concreto	Para el desempeño en ambientes agresivos	
MRS	MODERADA RESISTENCIA A LOS SULFATOS	Concretos con moderada resistencia a la compresión y resistencia a los sulfatos	Destino final del concreto en cimentaciones, muros, contenciones y todo tipo de obra	Para el desempeño en ambientes moderadamente agresivos	
ARS	ALTA RESISTENCIA A LOS SULFATOS	Destino final del concreto en obras como canales, alcantarillas, obras ortuarias y plantas de tratamientos de aguas.		Para el desempeño en ambientes muy agresivos	
MCH	MODERADO CALOR DE HIDRATACIÓN	Destino final del concreto en puentes y tuberías de concreto		Concretos con moderado desempeño de calor de hidratación	INCORPORACIÓN DE AIRE (A)
BCH	BAJO CALOR DE HIDRATACIÓN	Destino final del concreto en estructuras de gran volumen como presas, muros, diques, etc.	No se requiere de dilataciones durante fraguado ni retracciones durante secado	Concretos con bajo desempeño de calor de hidratación	
NOTA: las adiciones se deben hacer siempre y cuando se cumpla la tabla de especificaciones proveída por la NTC 121, encontrada en la sección de propiedades físicas.					

Fuente. NORMA, N. T. C. 121, Especificación de desempeño para cemento hidráulico, Bogotá D.C. Colombia): Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2014.

1.2.3 Historia del cemento en Colombia. En una explicación breve sobre la historia del cemento en Colombia es necesario entender la historia desde un punto más antiguo. Anteriormente civilizaciones como Egipcios, griegos y romanos utilizaban dos tipos de cal, una de ellas se le conocía como la cal hidráulica (caliza calcinada) que reacciona en presencia de agua y al contener impurezas arcillosas adquiere una forma de pasta de cemento que actúa como adhesivo y cohesivo con la capacidad de unir fragmentos, sin embargo las civilizaciones Griegas y Romanas en búsqueda de mejora en propiedades cementantes agregaron a la mezcla convencional ceniza volcánica, material conocido como puzolanas encontrado en el Golfo de Nápoles e Isla de Santorin.

En 1750 conocida como el principio de una era de cemento, en donde el conocido “padre de la Ingeniería Civil en el Reino Unido”, Jhon Smeaton el cuál empleo la información de las civilizaciones antiguas para hacer la reconstrucción del Faro Eddystone en el canal de la mancha con cal de alta impureza y material puzolana, posteriormente se hace una constante búsqueda en ciencia y avances en la industria de infraestructura llegando así a patentar el Cemento Portland en 1824 por Joseph Aspdin. Las investigaciones continuaron hasta 1845 el inglés Isaac

Johnson perfecciono la temperatura para formar el Clinker, que luego de pasar por un proceso de trituración las propiedades adquiridas son mejores¹³.

Finalmente autores como Kosmatka aseguran que en 1909¹⁴ la producción de cemento llega a Colombia, con la empresa Industrias e Inversiones Samper, la cual crea la primera fábrica de cemento en Bogotá D.C., hasta llegar a la actualidad en donde hay tres pioneros en la industria del cemento, los cuales son Cemex, Grupos Argos y Grupo HOLCIM (Cementos de Boyacá).

1.3 AGREGADOS PARA EL CONCRETO

Los agregados consisten en partículas, que presentan características como granos poco porosos, textura adecuada, distribución de tamaños de partículas, duros, resistencias adecuadas y capaces de soportar condiciones variables de exposición al ambiente, teniendo en cuenta que no deben tener presencia de materiales, como material orgánico, sustancias químicas (capaces de reaccionar con la pasta de cemento), agregados súper finos ya que pueden afectar el proceso de hidratación del cemento, y es en estos factores donde se debe tener especial cuidado en cuanto a la calidad de los agregados; estos son capaces de llegar a ocupar hasta tres cuartas partes (60%-80%) del volumen total del concreto y tienen un efecto sobre propiedades tales como resistencia, manejabilidad, densidad, entre otras.

Generalmente los agregados están conformados por arena (parte fina, con diámetros que oscilan entre 0,0074 mm - 5 mm) y grava o piedra triturada (parte gruesa, diámetros mayores a 5 mm), y habitualmente su origen es natural. Como estos favorecen la economía en cuanto a la producción de concreto con respecto a la utilización de pasta de cemento, su función principal es de relleno y de aporte de resistencia, sin embargo, las propiedades de estos actúan las características del concreto (en estado plástico y endurecido), en estado plástico, el agregado opera como lubricante de las trizas más gruesas para facilitar el proceso de mezclado, traslado y colocado¹⁵.

¹³DE CONCRETO, ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PRODUCTORES. ASOCRETO. Tecnología y Propiedades Colección básica del concreto, 2006, vol. 1, p. 20.

¹⁴KOSMATKA, Steven H.; PANARESE, William C.; BRINGAS, Manuel Santiago. Diseño y control de mezclas de concreto. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 1992.

¹⁵DE CONCRETO, ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PRODUCTORES. ASOCRETO. Tecnología y Propiedades Colección básica del concreto, 2006, vol. 1, p. 34.

Los agregados presentan diferentes clasificaciones (según su origen, tamaño, densidad, entre otras). Según el tamaño de sus partículas se presenta la clasificación en la siguiente tabla.

Cuadro 8. Clasificación agregados según su tamaño.

TAMANO (mm)	Mayor a 50	50 - 19	19- 4,75	4,75- 2,36	2,36- 0,42	0,42- 0,074	0,074- 0,002	Menor a 0,002
Denominación	Piedra	Grava	Gravilla	Arena gruesa	Arena media	Arena fina	Limo	Arcilla
Denominación	Agregado grueso			Agregado fino			Muy fino	
Recomendación	Apto para concreto			Apto para concreto			No recomendado.	

Fuente. DE CONCRETO, ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PRODUCTORES. ASOCRETO. Tecnología y Propiedades Colección básica del concreto, 2006, vol. 1.

Cuando se presentan tamaños de partículas que varían en un rango entre 50,8 a 150 mm es común denominarlo rajón, y un rango entre 150 a 300 mm se denomina media zonga estos agregados pueden ser empleados en concretos masivos. En la norma ASTM C33 se presentan los límites de granulometría (distribución del tamaño de partículas) para definir a un agregado como fino o grueso y normalmente los resultados que se obtienen de esta prueba se conocen como análisis granulométrico¹⁶, a continuación, se presenta una tabla para agregados con respecto al tamaño de la malla definida (de mayor a menor) por esta norma.

¹⁶DE CONCRETO, ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PRODUCTORES. ASOCRETO. Tecnología y Propiedades Colección básica del concreto, 2006, vol. 1, p. 37.

Cuadro 9. Tipo de agregado Vs. tamaño de malla.

TAMAÑO DEL AGREGADO	TAMAÑO DE MALLA.
Agregado grueso.	75 mm (3").
	50 mm (2").
	37,50 mm (1 ½").
	25 mm (1").
	19 mm (¾").
	12,50 mm (1/2").
	9,50 mm (3/8").
Agregado fino.	4,75 mm (No. 4).
	2,36 mm (No. 8).
	1,18 mm (No. 16).
	0,60 mm (No. 30).
	0,30 mm (No. 50).
	0,15 mm (No. 100).
	0,075 mm (No. 200).

Fuente. DE CONCRETO, ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PRODUCTORES. ASOCRETO. Tecnología y Propiedades Colección básica del concreto, 2006, vol. 1.

Otras especificaciones que se encuentran en la norma ASTM son: 1. Que el agregado fino no tenga más del 45% retenido entre dos mallas consecutivas. 2. Que el módulo de finura no sea inferior a 2.3 ni superior a 3.1, ni que varíe en más de 0.2 del valor típico de la fuente del abastecimiento del agregado. En el caso de que sobrepase este valor, el agregado fino se deberá rechazar a menos que se hagan los ajustes adecuados en las proporciones del agregado fino.¹⁷

Se debe tener en cuenta que se pueden presentar granulométricas continuas como discontinuas, el primer caso aplica cuando en la masa de agregado se presentan todos los tamaños de grano, y la discontinua, se refiere a la ausencia de ciertos tamaños de grano (intermedios), debido a esto se establecen límites (superior e inferior) para facilitar los valores de especificaciones granulométricas y así mismo entender que la granulometría que se encuentre dentro de estos límites es admisible para aplicar a la mezcla, a continuación se presentan dos tablas en donde se estipulan los rangos granulométricos para agregados finos, según la norma NTC 174¹⁸.

¹⁷RODRÍGUEZ, Abraham P. Manual de prácticas de laboratorio de concreto, universidad de Chihuahua.

¹⁸INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Concretos. Especificaciones de los agregados para concreto. NTC 174. Bogotá D.C.: El Instituto, 2000. P 3-7.

Cuadro 10. Límites granulométricos para agregado fino.

TAMIZ		% QUE PASA	
NTC 32	designación alterna	límite inferior	límite superior
9,5 mm	3/8	100	100
4,75 mm	N° 4	95	100
2,36 mm	N° 8	80	100
1,18 mm	N° 16	50	85
600 um	N° 30	25	60
300 um	N° 50	10	30
150 um	N° 100	2	10

Fuente. DE CONCRETO, ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PRODUCTORES. ASOCRETO. Tecnología y Propiedades Colección básica del concreto, 2006, vol. 1.

Según la norma ASTM C125 se obtiene el módulo de finura (identificado por las siglas FM), tanto de agregados finos como gruesos, realizando la suma de los porcentajes de peso retenidos en una sucesión de mallas y dividiendo el total en 100, este módulo nos indica datos de finura del agregado (a mayor módulo de finura mayor grosor de agregado) y sirve para determinar las cantidades de agregado a utilizar en la mezcla¹⁹. La NTC 174 designa que los valores adecuados de MF del agregado para la fabricación de concreto deben estar en un rango de valores que oscilan entre 2,3 hasta 3,1, (para morteros entre 1,8 y 2,2)²⁰.

Según su origen se pueden presentar dos clasificaciones: los que se obtienen de fuentes naturales gracias a la acción de arrastre de glaciares o aguas, las formas comunes de obtención de estos agregados son adquirirlo en lechos de ríos o depósitos aluviales (arena de río), u obtener el tamaño de partícula que se desea mediante procesos de triturado y tamizado de piedras que presenten un diámetro grande (agregados triturados). Y están los que se obtienen de forma artificial, para estos se realizan procesos industriales a partir de productos seleccionados, el uso de estos agregados se refleja en concretos especiales como los livianos con arcilla y poliestireno expandido, escorias de altos hornos, etc. y concretos pesados con limadura de hierro y acero.

Según su densidad se presenta la clasificación en la siguiente tabla.

¹⁹AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Concreto. Terminología estándar relacionada al concreto y agregados del concreto. C125

²⁰INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Concretos. Especificaciones de los agregados para concreto. NTC 174. Bogotá D.C.: El Instituto, 2000. P 3-7.

Cuadro 11. Clasificación según su densidad.

CLASIFICACIÓN DEL AGREGADO	DENSIDAD APROXIMADA (Kg/m ³)		Variedades más comunes de los agregados	Ejemplo de uso
	Del agregado	Del concreto		
Liviano	460-1300	1350-1000	Pizarras expandidas, esquistos, escoria, arcilla.	Concretos livianos, estructurales.
		500-1350	Piedra pómez, perlita, diatomita, icopor.	Concreto para aislamiento.
Normal	1300-2000	2000-2600	Arena, grava, piedra triturada, cinkler.	Estructuras de concreto en general.
Pesado	2000-5600	Mayor a 2600	Barita, hierro, limonita, magnetita.	Concretos para macizos de anclaje, para protección contra radiaciones.

Fuente. DE CONCRETO, ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PRODUCTORES. ASOCRETO. Tecnología y Propiedades Colección básica del concreto, 2006, vol. 1.

Debido a la densidad y al peso por unidad de volumen de agregados se alcanzan concretos con bajas o altas densidades, y como se observa en la tabla esta propiedad de la densidad en concretos es importante para casos como los que se utilizan para la protección contra radiaciones.

Entre las propiedades más importantes de los agregados se encuentran la granulometría, módulo de finura (MF), explicados anteriormente, el tamaño máximo (TM), el cual se define como el tamaño máximo de partícula que se encuentra en la masa de agregado, el tamaño máximo nominal (TMN), el cual constituye la media de las partículas más grandes, teniendo en cuenta que el TM puede estar hablando de una sola partícula retenida en el tamiz, es por esto que la mayoría de las descripciones granulométricas se dan en función del tamaño máximo nominal. Comúnmente se establece que el agregado grueso debe ser mayor a: 1/5 de la dimensión menor de la estructura, comprendida entre los lados de una formaleta, 1/3 del espesor de una losa, y 3/4 del espaciamiento libre máximo entre las barras de refuerzo.²¹

²¹DE CONCRETO, ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PRODUCTORES. ASOCRETO. Tecnología y Propiedades Colección básica del concreto, 2006, vol. 1, p. 38.

Otras propiedades a tener en cuenta a la hora de evaluar un agregado son la forma y textura superficial del mismo, por lo general el agregado que no ha pasado por procesos de triturado presenta forma redondeada (la más recomendada) y textura lisa, esto se debe al proceso de arrastre por agua por el que este puede pasar, la forma redondeada permite que las partículas se logren deslizar y acomodar con mayor facilidad, lo que repercute en una masa con mayor compactación y al brindar esta comodidad se permite la reducción de agua en la mezcla lo que mejorara la resistencia y manejabilidad, mientras que el agregado que atraviesa por procesos de triturado puede presentar formas cubicas, aplanadas (espesor/ancho $< 0,5$) o alargadas (longitud/ancho $> 1,5$), y al contrario del caso anterior, presentan una textura áspera. Es posible que se presenten partículas planas y largas, se denominan lascas, son débiles ante esfuerzos de tensión y algunas normas recomiendan hacer uso de estas únicamente hasta un 15% de su contenido²².

La porosidad es otra propiedad a tener en cuenta a la hora de evaluar un agregado, si el agregado presenta alta porosidad, tanto interna como externa, este será capaz de absorber más agua y así mismo disminuyen los valores de densidad, durabilidad y resistencia en cuanto a esfuerzos mecánicos, lo que afectara las propiedades finales del concreto. Esta propiedad se relaciona directamente con la absorción y humedad, ya que los poros presentes en la partícula pueden presentar un valor de humedad, esta humedad a su vez, depende de la permeabilidad, grado de absorción y volumen total de poros de la partícula, es así, como las partículas puede presentarse en cuatro formas distintas; totalmente seca (deshidratación al horno a 110°C), parcialmente húmeda (exposición al aire libre), saturado y superficialmente seco (los poros internos están llenos), y finalmente, húmeda y con agua libre (tanto interna como externamente llena de agua)²³.

La densidad se define como la relación que existe entre el peso y volumen (P/V) que ocupa la masa de agregado, se pueden presentar valores de densidad aparente, en donde además de la relación P/V también se incluyen los poros internos y externos, en general el valor de densidad para agregados que presenten un peso estándar oscila entre 2400 y 2800 kg/m^3 , y la densidad nominal en donde no se incluyen los poros internos y externos, este valor no es relevante para el campo de la tecnología del concreto²⁴.

El peso volumétrico o masa unitaria, se define como la relación entre un valor de peso de agregado conocido y el volumen ocupado por el agregado dentro de un

²² Ibid., p. 41.

²³ DE CONCRETO, ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PRODUCTORES. ASOCRETO. Tecnología y Propiedades Colección básica del concreto, 2006, vol. 1, p. 41.

²⁴ Ibid., p. 42.

recipiente (P/Vrecipiente), esta propiedad es importante ya que es capaz de reflejar el acomodamiento de las partículas de agregado en un recipiente, y se deduce que entre mejor sea este factor el total de espacios vacíos entre partículas disminuye lo que favorece en la mezcla.

El efecto de hinchamiento de la arena el cual depende de características propias de la arena tales como densidad, grado de humedad, finura, y se produce gracias a la presión que ejerce el agua sobre las partículas haciendo que estas se separen por lo que el volumen aparente puede llegar a un aumento hasta de 40%, este factor es de gran importancia en el momento en que se decide hacer una dosificación por volumen, ya que esta arena al presentar un valor de agua distinto al volumen total de agua que va a utilizar para la mezcla puede llegar a afectar propiedades finales del concreto como durabilidad y resistencia²⁵.

La resistencia a la compresión está presente en las partículas de agregado y esto se refleja en el concreto, si se desea un concreto de resistencia normal le resistencia de la pasta de cemento en estado endurecido será menor a la resistencia de las partículas del agregado, así cuando las partículas fallan (teniendo en cuenta que las fallas se deben a una estructura pobre) antes que la pasta, el valor de resistencia del agregado tiene gran importancia en estos concretos, sin embargo si se desea un concreto de resistencias altas, la pasta de cemento presenta un valor superior al de los agregados.

La resistencia al impacto se define como la capacidad del agregado de soportar golpes, lo que influye en el proceso de mezcla del concreto y en el manejo del propio agregado²⁶.

1.4 PROPIEDADES DEL CEMENTO

Cada tipo de cemento tiene una composición química diferente, la cual influye directamente en las propiedades físicas, químicas y mecánicas, haciendo una diferencia entre las aplicaciones que el cemento tiene. Estas propiedades son fundamentales para la industria, ya que deben seguir unas normas dadas por el instituto colombiano de normalización y certificación.

²⁵Ibid., p. 43.

²⁶DE CONCRETO, ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PRODUCTORES. ASOCRETO. Tecnología y Propiedades Colección básica del concreto, 2006, vol. 1, p. 44.

1.4.1 Superficie específica y finura. La finura del cemento es la propiedad física que se encarga de determinar el tamaño y distribución de partículas que este posee, la cual es determinada por el nivel de pulverización que se obtiene en el último proceso de fabricación, el cuál es la molienda del Clinker con adiciones de yeso y otros componentes, el tamaño que se desea obtener es de un orden de 45 micrómetros y se obtiene en casi el 95% del producto final, pero esto solo depende del tiempo de dure la molienda puesto que si se aumenta para lograr una gran finura, puede perjudicar la empresa cementera, ya que incurre en una alza en el costo de fabricación del cemento. Esta propiedad es muy relevante para factores como la velocidad de hidratación, la cantidad de calor de hidratación liberado, la resistencia, la retracción y la manejabilidad²⁷.

Si la finura del cemento es mayor, se tendrá mayor área superficial, por lo cual el proceso de hidratación será mucho más rápido ya que este empieza por la superficie exterior de los granos explicando el deterioro del cemento en su depósito, puesto que es más factible que ocurra la reacción química de hidratación con la temperatura ambiente e implícitamente llevara a un riego de contracción y un posterior fisuramiento. Cementos muy finos también afectan a la manejabilidad, puesto que tienen la característica de retener más agua, lo que hace de una mayor necesidad de agua en la relación A/C.

Pero si la finura es menor o tamaño de partícula es mucho mayor, las reacciones químicas de hidratación y tiempo de curado se vuelven muy lentas, lo que hace un cemento lento para su aplicación y tormentoso para quien trabaje con él. Con la mayor cantidad de partículas gruesas asegura un cemento sin capacidad de retención de agua, haciendo su hidratación más lenta, lo que quiere decir que la hidratación del cemento puede llegar a tomar años en terminar el proceso, con la posibilidad de no llegar a hidratar todo el núcleo haciendo que propiedades de desempeño como lo es la resistencia a la compresión se vea comprometida²⁸.

Como se mencionaba anteriormente es de gran importancia tener en rangos específicos la finura del cemento ya que puede ser vital para el desempeño en la industria, por tal razón se debe hacer un control de calidad regido por las normas proveídas por el instituto colombiano de normalización y certificación. Tales normas señalan métodos directos e indirectos, como se puede observar en la siguiente tabla, los métodos se expresan en cm^2/gr . Los métodos directos obedecen a un tamizado siguiendo la norma NTC 226 utilizando tamices #100 y #200 y determinar el porcentaje que pasa por cualquiera de estos tamices, sin embargo, no es un método tan exacto y por tanto el menos utilizado en Colombia.

²⁷KOSMATKA, Steven H.; PANARESE, William C.; BRINGAS, Manuel Santiago. Diseño y control de mezclas de concreto. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 1992.

²⁸DE GUZMÁN, Diego Sánchez. Tecnología del concreto y del mortero. Pontificia Universidad Javeriana, 2001.

Ahora los métodos indirectos para hallar la finura del cemento son mucho más efectivos debido a que el cemento tiene partículas mínimas y que por tamices no puede representar un porcentaje fiable de finura, esta es la principal razón de utilizar métodos indirectos, uno de estos es el método llamado permeabilidad de Blaine, el cual es uno de los más utilizados en Colombia que está regido por la norma NTC 33²⁹.

Estos controles de calidad deben realizarse de manera cuidadosa ya que les provee información para los fabricantes sobre su producto que está siendo entregado al mercado. Para esto la NTC 121 versión antigua especifica una finura de 2800 cm²/g³⁰.

Cuadro 12. Métodos para la medición de área específica del cemento.

NOMBRE DEL MÉTODO		NTC
Directos	Tamizado	226
	Tamizado	294
Indirectos	Turbidímetro de Wagner	597
	Permeabilidad de Blaine	33

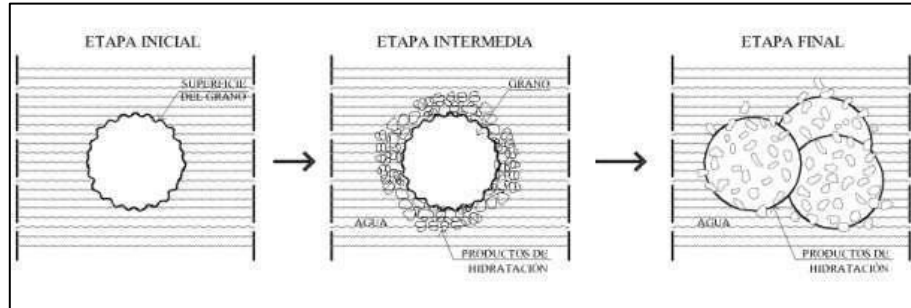
Fuente. MATALLANA, R. Fundamentos de concreto aplicados a la construcción. Medellín, Piloto SA, 2006.

1.4.2 Hidratación. El proceso de hidratación del cemento es una serie de reacciones químicas exotérmicas que suceden cuando el cemento entra en contacto con el agua, que a su vez reacciona con los compuestos químicos que tiene el cemento, los cuales son C₃S, C₂S, C₃A, C₄AF, formando así estructuras cristalinas para obtener un material aglutinante, cada uno de ellos pasan por unas etapas.

²⁹MATALLANA, R. Fundamentos de concreto aplicados a la construcción. Medellín, Piloto SA, 2006.

³⁰INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Ingeniería civil y arquitectura. Cemento Portland. Especificaciones químicas y mecánicas. NTC 121. Bogotá D.C.: El Instituto, 2000. P 6-10.

Imagen 2. Etapas de hidratación del cemento



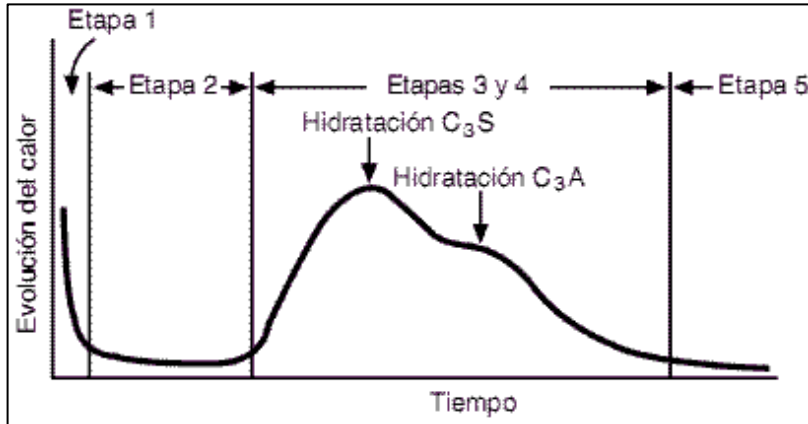
Fuente. ARAYA, Bornand; PHILLIPES, Jacques. Evaluación del desempeño de aditivos impermeabilizantes por cristalización como agentes promotores de la durabilidad del hormigón confeccionado con cementos Portland Puzolanicos. 2012. Tesis Doctoral. Universidad de Chile.

La primera etapa es la hidratación inicial o pre-inducción en donde el compuesto C_3S tiene su mayor participación reaccionando con el H_2O formando el compuesto $Ca(OH)_2$, como es intensa la reacción su velocidad es alta y dura alrededor de 20 minutos, que transcurrido el tiempo pasa a la siguiente etapa llamada “período de inducción”, en esta etapa la velocidad de desprendimiento de calor es más baja que la anterior etapa que sucede en un tiempo de 2-3 horas, tiempo en donde la pasta de cemento presenta una alta trabajabilidad, seguidamente empieza la etapa de hidratación media o aceleración, en donde se puede observar en la siguiente grafica un pico en la velocidad de calor de hidratación debido a un rompimiento en la capa superficial de productos que recubre el cemento haciendo una expansión en sus cristales, este comportamiento sucede a las 10 horas de estar hidratado el cemento, en donde la reacción química que sucede obtiene productos como el gel tobermorita, compuesto aglomerante importante ya que se encarga de ligar y aglutinar todos los componentes en la pasta de cemento, es derivado del contenido silicatos de calcio, componente químico del cemento que constituye un 75% por peso y productos como portlandita.

Finalmente, la etapa final o desaceleración de la hidratación se puede observar un descenso en la velocidad debido a que gobierna la difusión, sin embargo, en algunos casos puede haber un tercer pico que nos indica la reacción final entre C_3S y el yeso³¹.

³¹PUERTAS, F.; VÁZQUEZ, T. Hidratación inicial del cemento. Efecto de aditivos superplastificantes. 2001.

Grafica 2. Evolución de calor para las etapas de hidratación



Fuente. KOSMATKA, Steven H.; PANARESE, William C.; BRINGAS, Manuel Santiago. Diseño y control de mezclas de concreto. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 1992.

1.4.3 Calor de hidratación. Debido a que la reacción química anteriormente mencionada entre el agua y cemento es exotérmica hay un desprendimiento de calor que se denota más en las etapas de fraguado y de endurecimiento, el cual es llamado calor de hidratación, presentando el mayor pico de calor en la etapa de fraguado, calor que empieza a descender generando una contracción del material, por ende una tensión y es por esta razón que se genera agrietamientos en el concreto haciendo así una propiedad muy importante y relevante si se requiere estudiar la resistencia de un concreto.

El calor puede ser difícilmente disipado si se tiene concretos con alto grosor ya que solo se disiparía el calor en la parte superficial haciendo que la parte interna tenga diferente temperatura hasta llegar a un diferencial térmico de 20°C, razón por la cual se generan agrietamientos y fisuras que pueden afectar la integridad de la estructura de concreto. Por lo anterior, autores recomiendan tener cuidado con el grosor de los concretos ya que si se tiene un grosor mínimo la disipación de calor tanto en la parte externa e interna será más fácil una difusión a la temperatura ambiente. En la siguiente tabla se observa el porcentaje de calor generada según el tipo de cemento³².

³²MATALLANA, R. Fundamentos de concreto aplicados a la construcción. Medellín, Piloto SA, 2006.

Cuadro 13. Porcentajes de calor generado para los diferentes tipos de cemento.

TIPO DE CEMENTO	NOMBRE	DEFINICIÓN	% CALOR GENERADO
1	UG	Uso general	100
2	MRS	Moderada resistencia a los sulfatos	80-85
3	ART	Alta resistencia inicial	150
4	BCH	Bajo calor de hidratación	40-60
5	ARS	Alta resistencia a los sulfatos	60-75

Fuente. Elaboración propia con base a MATALLANA, R. Fundamentos de concreto aplicados a la construcción. Medellín, Piloto SA, 2006.

Los compuestos químicos más relevantes en esta propiedad son los silicatos de calcio (C_3S y C_2S) por tal razón el calor de hidratación depende del aporte de estos, ya que de los silicatos de calcio depende la evolución de calor que se da más que todo en edades tempranas, aunque sigue un desprendimiento de calor al pasar de los años poco notorio. Por ende, estos compuestos deben ser controlados y mantenerlos en bajos, ya que son tan nocivos para el desempeño del concreto, también se puede tener en cuenta una opción de tener dentro del contenido de cemento activos que tengan un bajo porcentaje de calor generado como lo es el material de escorias de alto horno y puzolanas. Materiales que siguen siendo estudiados por diferentes autores para lograr un buen desempeño sin afectar otra propiedad del cemento. Otra opción es mantener las temperaturas bajas de curado en edades tempranas con una alta hidratación del cemento. Además de estas opciones, hay factores que también juegan un papel en el calor de hidratación del cemento, los cuales son la relación A/C que se tenga en el proceso, finura del cemento que depende del último proceso de molienda del Clinker y temperatura de curado³³.

El calor de hidratación es medido bajo la norma NTC 117, la cual establece requisitos para los cementos tipo MCH y BCH, sin embargo, la norma ASTM C186 establece una tabla de calor de hidratación para los 5 tipos de cemento y el ensayo por el método de calorímetro de conducción.

³³KOSMATKA, Steven H.; PANARESE, William C.; BRINGAS, Manuel Santiago. Diseño y control de mezclas de concreto. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 1992.

Cuadro 14. Tabla de calor de hidratación según norma ASTM C186 E.E.U.U.

	Cemento tipo I		Cemento tipo II		Cemento tipo II – Moderado calor de hidratación	Cemento tipo III		Cemento tipo IV		Cemento tipo V
	7 días	28 días	7 días	28 días	7 días	7 días	28 días	7 días	28 días	7 días
No. de muestras	15	7	16	7	4	2	2	3	1	6
Promedio	349	400	344	398	263	370	406	233	274	310
Máximo	372	444	371	424	283	372	414	251	-	341
Mínimo	320	377	308	372	227	368	397	208	-	257
% del tipo I (7 días)	100		99		75	106		67		89

Fuente. KOSMATKA, Steven H.; PANARESE, William C.; BRINGAS, Manuel Santiago. Diseño y control de mezclas de concreto. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 1992.

1.4.4 Densidad del cemento. La densidad del cemento relaciona la masa de las partículas conteniendo el aire entre ellas sobre el volumen absoluto, puede tener variaciones muy mínimas que dependen únicamente de los aditivos que se le hagan al Clinker en la etapa de molienda. Para el caso del cemento hidráulico varía entre $3,1 \text{ g/m}^3$ hasta de $3,15 \text{ g/m}^3$, pero si se tiene adiciones las cuales son generalmente muy finas como las cenizas la densidad del cemento estaría entre $2,8 \text{ g/m}^3$ hasta de $3,1 \text{ g/m}^3$.³⁴

Esta propiedad del cemento es fundamental para el diseño y control de mezclas de concreto, pero no para determinar su calidad puesto que no influye sobre esta, lo único que nos puede determinar es si hay adiciones al cemento, que generalmente resulta en una disminución en su peso específico. Para su medición se hace bajo la norma colombiana NTC 221 fundamentada en la Ley de Chatelier, norma con antecedente en Estados Unidos por la norma ASTM C188.

³⁴MATALLANA, R. Fundamentos de concreto aplicados a la construcción. Medellín, Piloto SA, 2006.

1.4.5 Tiempo de fraguado. El tiempo de fraguado tiende a confundirse con el endurecimiento o la adquisición de resistencia por parte de la pasta de cemento, sin embargo, se refiere al tiempo que la pasta de cemento pasa de estado fluido a estado sólido rígido sin obtener una resistencia mecánica. El tiempo de fraguado de un cemento se ve afectado por factores como lo son la temperatura ambiente que entre mayor sea afectara de forma positiva las reacciones químicas, la finura de cemento puesto que si se tienen partículas finas la hidratación del cemento será más rápida y los tiempos de fraguados menores, la relación A/C, tipo de cemento refiriéndose directamente a la composición química que este contenga, que si se tiene un alto contenido de C_3A y C_2S tendera a ser más rápido el tiempo de fraguado, y los aditivos que hallan agregado durante el proceso de molienda, dependiendo de la relación entre los factores mencionados el tiempo de fraguado esta entre 1 y 4 horas.

Se mencionan dos tiempos de fraguados, el inicial y el final. El tiempo de fraguado inicial corresponde a el momento de inicio de hidratación del cemento hasta llegar al punto de perder parcialmente la plasticidad de la pasta sin poder ver un cambio en la evolución de calor, luego sigue el tiempo de fraguado final, en donde la pasta de cemento deja de ser plástico y deformable, este tiempo de fraguado final es la etapa 3 de la hidratación donde hay un pico de evolución de calor máximo y por esta razón este tiempo de fraguado final tiende a ser rápido y luego desciende con el transcurso del tiempo, lo que quiere decir que el cemento está en un punto de hidratación alta y que se seguirá hidratando ³⁵, adquiriendo así una consistencia rígida sin poder soportar grandes cargas mecánicas.

Es de suma importancia conocer el tiempo de fraguado para poder tener en cuenta los tiempos de proceso, debido a esto se le hacen ensayos siguiendo la normatividad colombiana NTC 118, por el método del aparato Vicat midiendo el momento inicial de tiempo de fraguado hasta la consistencia rígida de este.

1.4.5.1 Falso Fraguado. Este ocurre cuando una gran cantidad de silicatos y de yeso se deshidrata, los cuales están presentes en el cemento reaccionando al momento de formar la mezcla, presentando una rigidización prematura y hasta anormal en la pasta de cemento debido a la deshidratación del yeso que anteriormente se menciona es el componente retardador del fraguado. El falso fraguado aparece cuando el Clinker no ha sido debidamente enfriado y se mezcla de forma prematura con el yeso, por un enfriamiento repentino con agua en los molinos del Clinker o por una activación de C_3S en zonas de alta humedad³⁶.

³⁵MATALLANA, R. Fundamentos de concreto aplicados a la construcción. Medellín, Piloto SA, 2006.

³⁶Ibid., p. 21

1.4.5.2 Fraguado Relámpago. Este tipo de fraguado ocurre cuando los aluminatos reaccionan rápidamente con el agua, debido a que los otros componentes se encuentran en desventaja haciendo que los silicatos no reaccionen primeramente con el agua ni el componente retardante, el yeso pueda ayudar. Este tipo de fraguado se evidencia cuando hay una pérdida rápida de trabajabilidad a una edad temprana acompañado de una evolución rápida de calor a medida que sucede la reacción química³⁷.

Para no obtener estos tipos de fraguado es de suma importancia la dosificación de silicatos y aluminatos, así como las adiciones al Clinker y todos los factores anteriormente mencionados que en conjunto pueda que tenga un gran desempeño, pero si no se tienen en cuenta uno solo de los factores o de las propiedades afectara directamente el desempeño en la aplicación del material cementante.

1.4.6 Resistencia. Es una de las propiedades más importantes y que por parte de fabricantes deben tener un control de calidad muy meticuloso, ya que esta proporciona resistencia al concreto, sin embargo, no se puede ver como una propiedad que da un pronóstico muy acertado al concreto, ya que se debe tener en cuenta otros factores como lo son las características de los agregados, entre otros. La resistencia del cemento es medida por medio de unas probetas, que para la elaboración de estas deben seguir la normatividad colombiana como la NTC 220, la cual estima la proporción de estos morteros debe ser de 1:2,75, estos morteros con la dosificación óptima se ponen a prueba bajo la NTC 220.³⁸

1.5 ADITIVOS

El aditivo es aquella sustancia química, diferente de los agregados, cemento y agua, que se integra con anterioridad o mientras se realiza el proceso de mezcla para formar la pasta con la que se trabajará, logrando variaciones controladas en algunas de sus propiedades químicas o físicas (fluidez, tiempo de fraguado, resistencias finales y tempranas, manejabilidad, etc.), supliendo así las necesidades de quien requiera un concreto o un mortero con especificaciones; un aspecto a tener en cuenta a la hora de trabajar con aditivos es que estos se dosifican a la mezcla en un porcentaje menor al 5% de la masa total de cemento con la que se va a trabajar³⁹.

³⁷KOSMATKA, Steven H.; PANARESE, William C.; BRINGAS, Manuel Santiago. Diseño y control de mezclas de concreto. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 1992.

³⁸MATALLANA, R. Fundamentos de concreto aplicados a la construcción. Medellín, Piloto SA, 2006.

³⁹Ingeniero de caminos. Aditivos para el concreto. [En Línea] Disponible en <https://ingeniero-de-caminos.com/aditivos-para-concreto/>.

El uso de aditivos en la industria del cemento aumenta cada vez más debido a que estos cumplen funciones tales como mejorar las propiedades del producto final para lograr un aumento en la calidad del mismo, minimizar los costos de producción ya que al lograr una dosificación correcta del aditivo se tiene un mayor control en la cantidad mínima de cemento, agua y agregados que se deben utilizar y así mismo se presenta un ahorro de energía y tiempo, y finalmente haciendo uso de aditivos se logra cumplir con las especificaciones asignadas por quienes van a trabajar con el producto final⁴⁰.

1.5.1 Tipos de aditivos. Actualmente se encuentran muchas clasificaciones de aditivos, en Colombia la norma NTC 1299 es la encargada de clasificarlos y de establecer los requisitos que estos deben cumplir, sin embargo, una de las clasificaciones más comunes es la norma ASTM C 494, la cual presenta los aditivos en: tipo A – plastificantes o reductores de agua, tipo B: retardantes, tipo C: acelerantes, tipo D: reductores de agua y retardantes, tipo E: reductores de agua y acelerantes, tipo F: superfluidificantes o reductores de agua de alto rango, Tipo G: Reductores de agua de alto rango y retardantes o superfluidificantes y retardantes, Tipo S : Desempeño específico⁴¹.

1.5.1.1 Aditivos plastificantes. Tipo A: plastificantes o reductores de agua, son aquellos que permiten la reducción de agua y cemento, con el fin de obtener una consistencia final deseada, cumpliendo así con propiedades finales requeridas por quienes trabajaran con el producto.

Estos logran una disminución en la viscosidad de la pasta de cemento, el aditivo recubre las partículas de cemento y logra un efecto de dispersión entre estas, al ser menos viscosa la mezcla se logra un aumento en la fluidez lo que permite reducir la dosis de agua en la mezcla y así mismo aumentar la resistencia final⁴². Presentan beneficios tales como reducción de agua de 5 a 12%, optimizan el

⁴⁰ Aditivos para Concreto. Facultad de ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. [En Línea] México Disponible en http://www.ingenieria.unam.mx/~luiscr/licenciatura_ic/1444_pcee/1444_material/aditivospresen.pdf

⁴¹ Concreto. Brochure Aditivos para Concreto. Sika. [En Línea] Colombia. p.7 Disponible en [file:///C:/Users/GABRIELA/Downloads/BROCHURE%20ADITIVOS%20PARA%20CONCRETO%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/GABRIELA/Downloads/BROCHURE%20ADITIVOS%20PARA%20CONCRETO%20(1).pdf)

⁴² Concreto. Brochure Aditivos para Concreto. Sika. [En Línea] Colombia. p.7 Disponible en [file:///C:/Users/GABRIELA/Downloads/BROCHURE%20ADITIVOS%20PARA%20CONCRETO%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/GABRIELA/Downloads/BROCHURE%20ADITIVOS%20PARA%20CONCRETO%20(1).pdf)

diseño de la mezcla en términos económicos y facilitan labores de colocación del concreto, brindando un mejor acabado⁴³.

1.5.1.2 Aditivos acelerantes. Tipo C: acelerantes, son aquellos aditivos capaces de modificar la tasa de hidratación del cemento, lo que se refleja en un tiempo de fragüe menor (estado fresco) y un aumento en la resistencia inicial y final (estado endurecido), estos aditivos se presentan en estado líquido, con el fin de facilitar el proceso de manipulación y dosificación (usualmente 1,5 - 5% de la masa del cemento) del mismo.

Los acelerantes presentan ventajas tales como desarrollo de resistencia más rápidamente, mejora de las características del terminado, disminución de grietas, cumplimiento de función estructural más temprano, entre otras⁴⁴.

1.5.1.3 Aditivos reductores de agua y acelerantes. Tipo E: reductores de agua y acelerantes, son aquellos que ejecutan un doble papel: conseguir un aumento en la resistencia final e inicial y plastificar la mezcla con el fin de lograr incrementar la manejabilidad de la misma.

1.5.1.4 Otros aditivos

✓ **Tipo B:** retardantes, son aquellos que son capaces de aumentar el tiempo de fraguado, lo que permite una mezcla fluida, esto se hace necesario en ocasiones tales, como cuando se desea reducir el calor de hidratación del concreto, se cuenta con tiempos de transporte extensos, o si la mezcla se va a trabajar en ambientes de calor se agrega un retardante con el fin de disminuir el efecto acelerante en presencia de temperaturas altas, al hacer uso de estos aditivos por lo general se obtiene una disminución en la resistencia durante los primeros días⁴⁵.

✓ **Tipo D:** reductores de agua y retardantes, es aquel que permite la fusión de variación de propiedades tales como aumento en el tiempo de fragüe y reducción de agua y cemento, logrando un aprovechamiento de los dos.

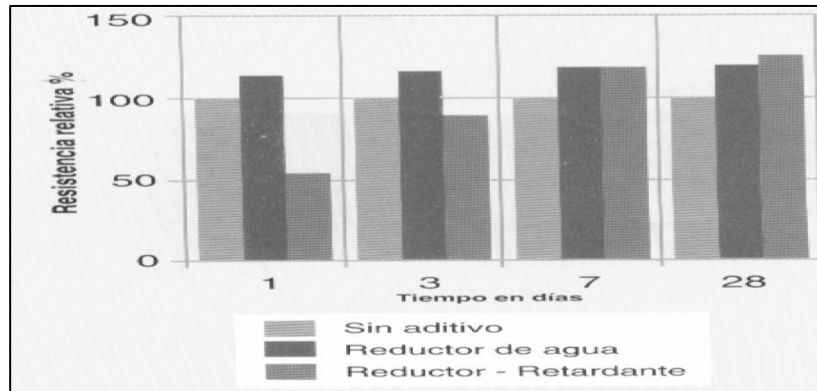
⁴³Aditivos. Cemex. [En Línea] Colombia Disponible en <https://www.cemexcolombia.com/productos/aditivos/plastificantes-isoplast>

⁴⁴RIVERA, Gerardo A. Aditivos para Mortero y Concreto, Universidad del Cauca. p. 236.

⁴⁵Concreto. Brochure Aditivos para Concreto. Sika. [En Línea] Colombia. p.8. Disponible en [file:///C:/Users/GABRIELA/Downloads/BROCHURE%20ADITIVOS%20PARA%20CONCRETO%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/GABRIELA/Downloads/BROCHURE%20ADITIVOS%20PARA%20CONCRETO%20(1).pdf)

Es común que durante los primeros días del concreto en estado endurecido se presente una reducción en la resistencia inicial en comparación con un concreto sin aditivo, sin embargo, la resistencia final aumenta con el paso de los días (28 días aproximadamente), obteniendo como resultado un concreto con aditivo de mayor resistencia final, a continuación, se presenta un gráfico donde se evidencia el comportamiento de las resistencias comparando un concreto sin aditivo, concreto con plastificante y concreto plastificante - retardante⁴⁶.

Gráfica 3. Desarrollo de resistencias.



Fuente. RIVERA, Gerardo. Agregados para mortero o concreto. Popayán: Universidad del Cauca, 2013.

✓ **Tipo F:** superfluidificantes o reductores de agua de alto rango, es aquel que permite una reducción de agua mayor (aproximadamente en un 15 a 25%) en comparación con un aditivo plastificante, se presenta en estado líquido, se sugiere hacer uso de este aditivo cuando el concreto requiere una resistencia y durabilidad alta, y un acabado superficial bueno. En la siguiente tabla se presenta una comparación entre el aditivo plastificante y el superfluidificante⁴⁷.

Cuadro 15. Aditivo plastificante Vs. superfluidificante.

Aditivo	Máxima reducción de agua posible %	Asentamiento (cm)	
		Antes de aditivo	Después de aditivo
Plastificante	12	7	15
Superfluidificante	30	7	25

Fuente. RIVERA, Gerardo. Agregados para mortero o concreto. Popayán: Universidad del Cauca, 2013.

⁴⁶RIVERA, Gerardo A. Aditivos para Mortero y Concreto, Universidad del Cauca. p. 241.

⁴⁷RIVERA, Gerardo A. Aditivos para Mortero y Concreto, Universidad del Cauca. p. 242-243.

Se pueden presentar otros tipos de aditivos tales como incorporadores o inclusores de aire, lo cuales se incorporan de manera controlada aire en el concreto disminuyendo la tensión superficial del agua, con el fin de obtener concretos ligeros, mejorando la fluidez, y aumentar la durabilidad del mismo cuando se encuentra expuesto a temperaturas bajas ($\leq 0^{\circ}\text{C}$, hielo), al no adicionar este aditivo a concretos que se saben estarán expuestos a estas temperaturas el contenido de agua en la mezcla puede aumentar hasta en un 9% de volumen, lo que terminará en una desintegración del concreto, su dosificación oscila en un rango entre 0,008 y 0,26 de la masa de cemento presente en la mezcla⁴⁸

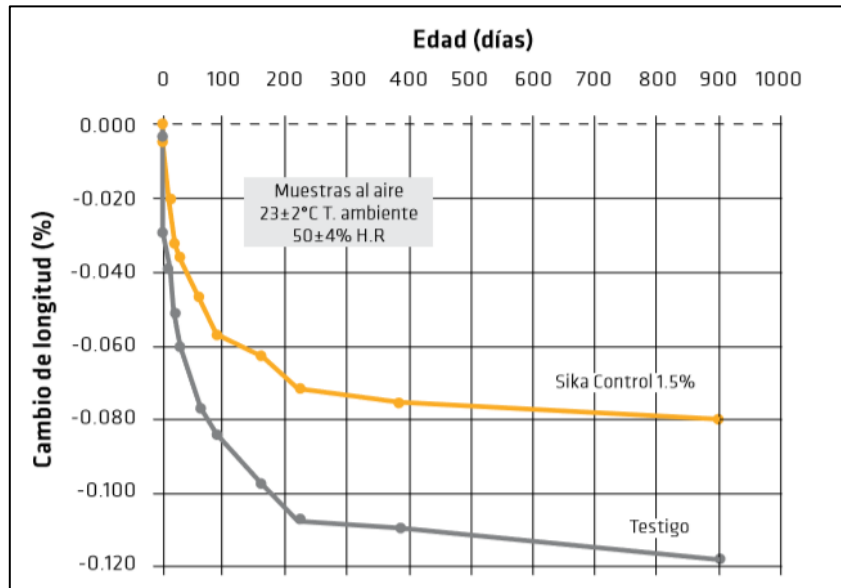
Los inhibidores de corrosión son aquellos aditivos capaces de aumentar el tiempo de vida útil de estructuras de concreto, debido a la acción retardante o de disminución que tienen sobre el efecto de corrosión en estas estructuras, lo que permite reducir costos en mantenimiento y reparación, es común la aparición de la corrosión en ambientes donde la estructura está expuesta a ambientes con altos contenidos de CO_2 o simplemente por la acción de sales minerales o del agua; se pueden encontrar aditivos inhibidores de corrosión catódicos y anódicos.

Los reductores de retracción se crean debido a las fisuras que se presentaban en las estructuras gracias a la retracción de los materiales al momento de hidratarlos, logrando una disminución en la tensión superficial y a su vez reducir el volumen original; el concreto puede presentar valores de retracción en estado endurecido en un rango de 0,02 mm/m – 1,5 mm/m lo que genera la presencia de grieta en el concreto y se recomienda hacer uso de este tipo de aditivo cuando el concreto a utilizar presenta altos porcentajes de cemento o donde no son admisibles fisuras⁴⁹; su efecto se ve reflejado en la duración de las estructuras y se puede observar en la siguiente gráfica.

⁴⁸Concreto. Brochure Aditivos para Concreto. Sika. [En Línea] Colombia. p.20. Disponible en [file:///C:/Users/GABRIELA/Downloads/BROCHURE%20ADITIVOS%20PARA%20CONCRETO%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/GABRIELA/Downloads/BROCHURE%20ADITIVOS%20PARA%20CONCRETO%20(1).pdf)

⁴⁹Concreto. Brochure Aditivos para Concreto. Sika. [En Línea] Colombia. p.22. Disponible en [file:///C:/Users/GABRIELA/Downloads/BROCHURE%20ADITIVOS%20PARA%20CONCRETO%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/GABRIELA/Downloads/BROCHURE%20ADITIVOS%20PARA%20CONCRETO%20(1).pdf)

Grafica 4. Retracción a largo plazo de un concreto con y sin controlador.



Fuente. Concreto. Brochare Aditivos para Concreto. Sika. [En Línea] Colombia. p.22. Disponible en [file:///C:/Users/GABRIELA/Downloads/BROCHURE%20ADITIVOS%20PARA%20CONCRETO%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/GABRIELA/Downloads/BROCHURE%20ADITIVOS%20PARA%20CONCRETO%20(1).pdf)

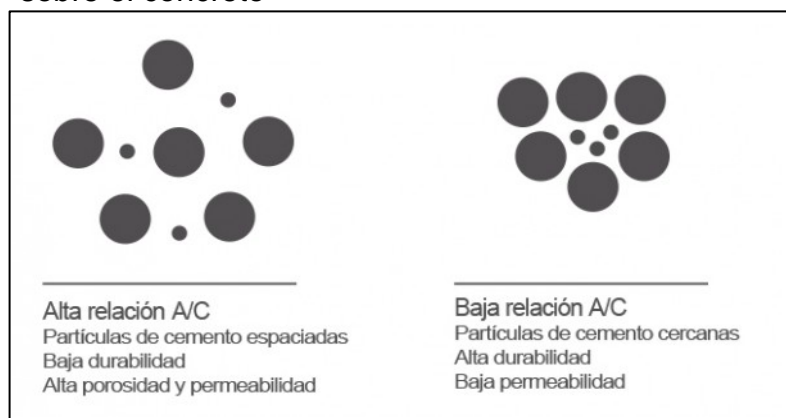
Otros aditivos que se pueden presentar en la industria son colorantes, impermeabilizantes, espumantes para aplicaciones especiales, anticongelantes y expansivos, los cuales no son de gran importancia para la elaboración de este documento, por lo tanto, solo serán mencionados.

1.6 RELACIÓN AGUA/CEMENTO

La relación que existe entre la cantidad de agua y la cantidad de cemento empleado en la mezcla para la elaboración de morteros es un factor preliminar para determinar el comportamiento de las propiedades en estado endurecido y estado fresco; diferentes autores establecen que entre más cantidad de agua haya sobre la cantidad de cemento y agregados afectará directamente la calidad de este, ya que se presenta una pérdida en la resistencia a la compresión, por ende, una pérdida en la durabilidad. Esto se debe al aumento de propiedades como lo son la porosidad y la permeabilidad, en donde hay una mayor número de espacios entre partículas que son creados por el agua libre⁵⁰, lo anterior se puede observar en la siguiente imagen.

⁵⁰GUEVARA FALLA, Génesis. et al. Efecto de la variación agua/cemento en el concreto. Costa Rica. Escuela de Ingeniería de los Materiales. 2011, p 81-85

Imagen 3. Permeabilidad en alta y baja relación A/C sobre el concreto



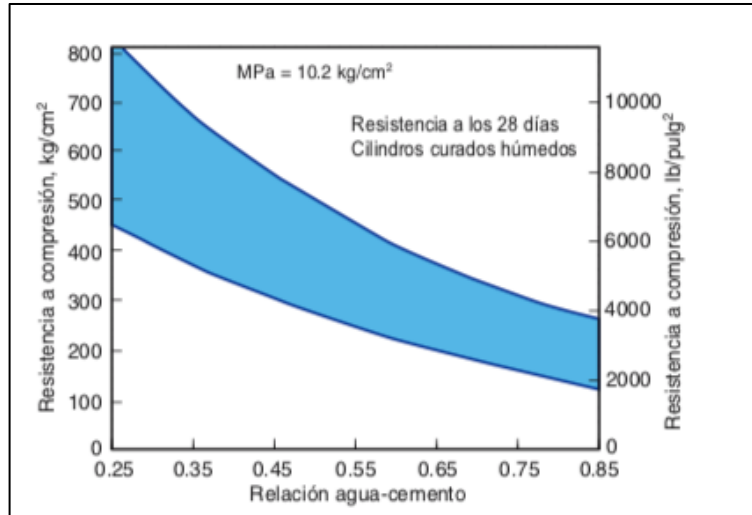
Fuente. PUTZMEISTER. La relación agua cemento. [En línea]. Disponible en <http://bestsupportunderground.com/relacion-agua-cemento/>

Estos espacios por donde migrará el agua ponen en desventaja la hermeticidad del mortero, propiedad que resiste a la penetración de agua y/u otras sustancias, por lo cual desencadena en el aumento de fisuración o agrietamiento. Con lo anterior se puede afirmar que la relación A/C tendrá una gran influencia en propiedades importantes para el mortero, por lo cual autores como Kosmatka et al.,(2004)⁵¹ y Mehta y Monteiro, (1998)⁵² aseguran que entre menor sea la proporción de agua aplicada a la mezcla del mortero el desempeño de este en cuanto a resistencia a la compresión y flexión (Gráfica 5), contracción y fisuración se observara un aumento, por lo cual habrá una disminución en los espacios huecos, es decir una disminución en la permeabilidad y la porosidad aumentando así la hermeticidad del mortero.

⁵¹KOSMATKA, Steven H.; PANARESE, William C.; BRINGAS, Manuel Santiago. Diseño y control de mezclas de concreto. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 1992.

⁵² MEHTA, P.K. Concreto: estructura, propiedades y materiales. México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 1998.

Grafica 5. Variación de resistencias típicas para relaciones agua-cemento de concreto de cemento portland basadas en más de 100 diferentes mezclas de concreto moldeadas

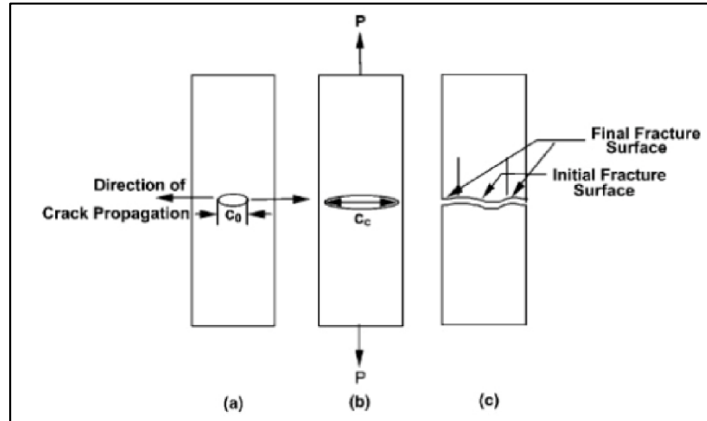


Fuente. KOSMATKA, Steven H.; PANARESE, William C.; BRINGAS, Manuel Santiago. Diseño y control de mezclas de concreto. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 1992.

1.7 FRACTURA

1.7.1 ¿Qué es una fractura? Se entiende por fractura como el desprendimiento de dos o más fragmentos provenientes de un mismo cuerpo, esto debido a efectos mecánicos (esfuerzos aplicados o residuales) o como consecuencia de una combinación de efectos del entorno y efectos mecánicos. Toda fractura abarca 2 fases; la primera se conoce como “iniciación de la grieta” y la segunda “propagación de la grieta”, (Imagen 4) teniendo en cuenta que la propagación de la grieta se rige bajo parámetros tales como: las condiciones de crecimiento de grieta, diferencial térmico, geometría del sólido y el entorno o ambiente de trabajo.

Imagen 4. Proceso ilustrado de fractura.



Fuente. TAWANCY, Hani M.; UL-HAMID, Anwar; ABBAS, Nureddin M. Practical engineering failure analysis. CRC Press, 2004.

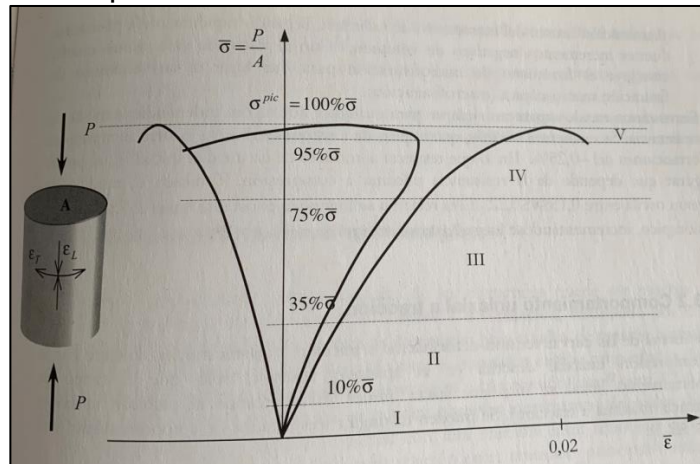
En esta imagen se presenta el proceso de propagación de una fractura, en la primera fase (a) se expone una fisura inicial con tamaño C_0 , en la siguiente fase (b) se observa el proceso de propagación de una grieta cuando se aplica una fuerza de tensión (P) al material, acá la grieta llega a un tamaño crítico (C_c) y finalmente (c) se presenta la separación del bloque (fractura). Se debe tener en cuenta que las características de la superficie de la fractura son necesarias para determinar el modo de propagación de la grieta⁵³.

1.7.2 Resistencia de materiales. La resistencia de materiales se basa en el estudio de las fuerzas exteriores que actúan sobre un cuerpo sólido produciendo efectos secundarios en su interior, su estado en equilibrio y acelerado abarcando campos de mecánica, estática y dinámica de materiales. Los materiales como el hormigón, el cual es una mezcla de cemento, agua y agregados tiene propiedades nominales de resistencia que debe seguir unas normas para su normal funcionamiento, estas propiedades son adquiridas a medida que pasa un tiempo determinado, este tiempo es el estado de fraguación y endurecimiento que se da a los 28 días.

⁵³TAWANCY, Hani M.; UL-HAMID, Anwar; ABBAS, Nureddin M. Practical engineering failure analysis. CRC Press, 2004.

1.7.2.1 Comportamiento de hormigón sometido a compresión. Durante el proceso de compresión sobre el hormigón se pueden presentar cinco fases de respuesta, las cuales se exponen en la siguiente imagen. En la fase I los poros son propensos a cerrarse, se presenta un descenso en la deformación volumétrica y se preserva de manera constante la rigidez, en el periodo II se observa un comportamiento “elástico lineal” y se sigue conservando el valor de la rigidez constante, la fase III se comporta de manera “elástico no-lineal” es decir se pueden presentar alteraciones recuperables y el valor de la rigidez empieza a disminuir, en la fase IV el número de deformaciones aumenta, en este momento se presentan micro- fisuras en la pasta de cemento, y la rigidez sigue disminuyendo, este periodo se puede considerar como plástico, y finalmente en la fase V se presenta el proceso de propagación de fisuras y se dan inicio a fisuras macroscópicas (grietas)⁵⁴.

Grafica 6. Gráfico respuesta del hormigón sometido a cargas de compresión.



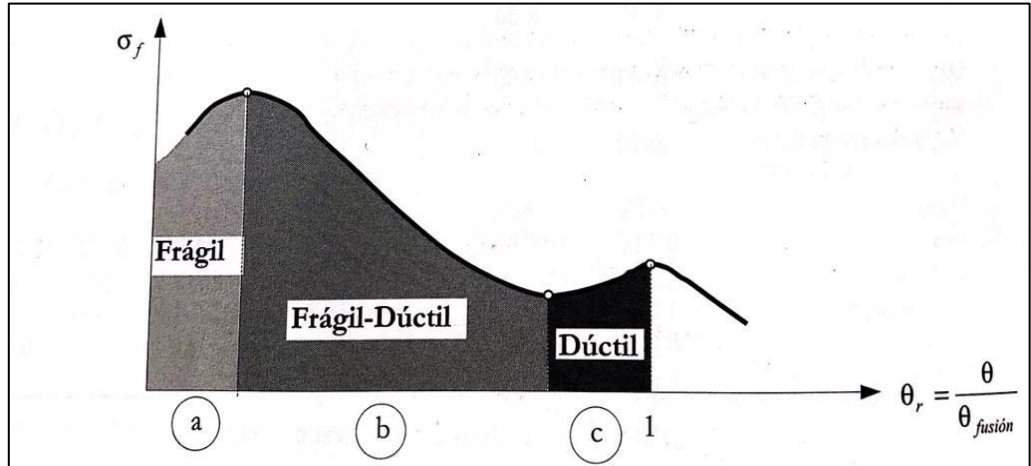
Fuente. OLLER, Sergio. Fractura mecánica: un enfoque global. Barcelona: Cimne, 2001.

1.7.3 Efecto de la temperatura. Los materiales se ven afectados por la temperatura, puesto que su influencia afecta el comportamiento de estos; desde la mecánica de fractura la temperatura afecta a la resistencia y evolución de energía de fractura. Para esto, se puede observar en la siguiente gráfica, las tres etapas por las que pasa un material antes de llegar al punto final, variando la resistencia a la fractura en función de la temperatura⁵⁵.

⁵⁴ OLLER, Sergio. Fractura mecánica: un enfoque global. Barcelona: Cimne, 2001.

⁵⁵ OLLER, Sergio. Fractura mecánica: un enfoque global. Barcelona: Cimne, 2001.

Grafica 7. Etapas de un material.



Fuente. OLLER, Sergio. Fractura mecánica: un enfoque global. Barcelona: Cimne, 2001.

La primera etapa es la frágil, en donde las micro fisuras preexistentes crecen hasta llegar a una grieta y de igual manera la tensión necesaria para propagar grietas crece dependiendo del aumento de la temperatura haciendo crecer el trabajo plástico y decreciendo sutilmente el módulo de Young.

La segunda fase es frágil-dúctil en donde el crecimiento de la grieta se da por causas del proceso de deformación inelástica.

La última fase conocida como dúctil, en donde las fisuras crecen su tamaño a nivel macroscópico llegando a ser fractura (mayor a 2mm) debido al fenómeno inelástico y el deslizamiento que se da entre granos.

La temperatura es una característica que afecta directamente al desempeño de los morteros utilizados como protección, ya que en diferentes investigaciones se muestra como una variable a estudiar, puesto que influye en propiedades del mortero como lo son la resistencia a la compresión, el diferencial térmico y el tiempo de curado; el autor García Toledano hace un estudio del efecto de la temperatura sobre la resistencia a la compresión en 4 empresas de España, teniendo en cuenta la temperatura del curado y la temperatura ambiente, concluyendo por medio de gráficos una serie de datos que a mayor temperatura que se encuentre el hormigón, menor será su resistencia a la compresión en la edad de 28 días en un 6%⁵⁶; Ahora por parte de la temperatura de curado, el autor recalca que esta temperatura es un factor importante para obtener una resistencia mayor y concluye mantener la temperatura de curado en 20°C. En este caso se

⁵⁶GARCÍA TOLEDANO, M^a. Estudio experimental sobre la influencia de la temperatura durante el periodo estival en la resistencia a compresión de probetas de hormigón. 2011. Tesis Doctoral. Arquitectura_Tecnica.

hace relación al hormigón y al mortero ya que presentan características iguales en la propiedad de resistencia a la compresión vista en la gráfica 6.

1.7.4 Modulo Young. Se denomina módulo de Young a la relación esfuerzo – deformación, que ocurre en un cuerpo al aplicar una fuerza sobre este (entendiendo esfuerzo como una medida de fuerza por unidad de área que produce una alteración en un cuerpo), para el desarrollo de este documento se trabaja con esfuerzos longitudinales de compresión sobre probetas de morteros de cemento, se sabe que al aplicar una fuerza sobre un cuerpo este puede ser capaz de regresar a su estado original (cuerpo elástico), sin embargo, todos los materiales cuentan con un tope elástico, es decir, que al momento de seguir aplicando fuerza sobre el mismo cuerpo y sobrepasar este límite elástico el cuerpo ya no es capaz de regresar a su estado original (cuerpo inelástico), y si se continua aplicando fuerza sobre este cuerpo el cuerpo puede fracturarse o quebrarse, a esta fuerza se le denomina “esfuerzo de ruptura”. El valor del módulo de elasticidad es constante para cada material, en nuestro caso se debe tener en cuenta el valor de módulo de elasticidad tanto del acero como del concreto, este módulo se expresa en unidades de fuerza por área N/m^2 o Pascales, din/cm^2 Kp/m^2 , kp/cm^2 , atm, Bar y se puede calcular a partir de la siguiente ecuación⁵⁷.

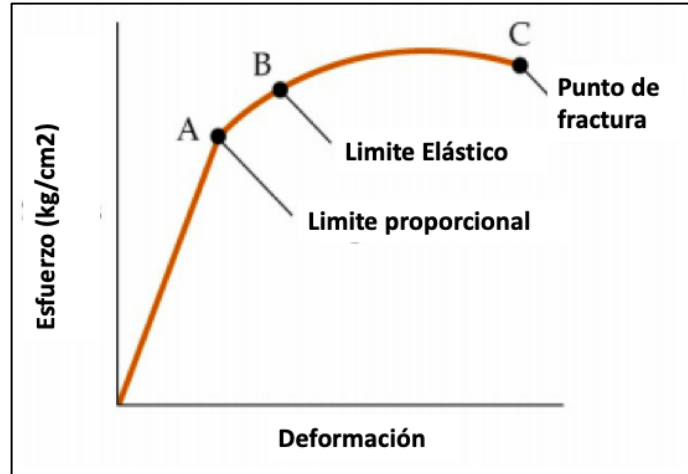
Ecuación 1. Ecuación módulo de Young o elasticidad.

$$y = \frac{\frac{F \text{ (fuerza)}}{A \text{ (área)}}}{\frac{\Delta L \text{ (cambio longitudinal)}}{L_0 \text{ (longitud inicial)}}}$$

Todos los cuerpos presentan un comportamiento similar en cuanto a su elasticidad y se puede representar en la siguiente grafica esfuerzo-deformación:

⁵⁷DURAZO, Reginaldo. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. [En Línea] Disponible en <http://rdurazo.ens.uabc.mx/educacion/labfis/sesion6.pdf>

Grafica 8. Grafica esfuerzo-deformación.



Fuente. Elasticidad. Universidad de Almería. [En línea]. España disponible en <https://w3.ual.es/~mnavarro/Tema%206%20%200Elasticidad.pdf>

A continuación, se presenta una tabla con los valores comunes de módulo de Young o elasticidad del acero y el concreto y una gráfica en donde se puede observar el comportamiento esfuerzo- deformación del concreto y del acero⁵⁸.

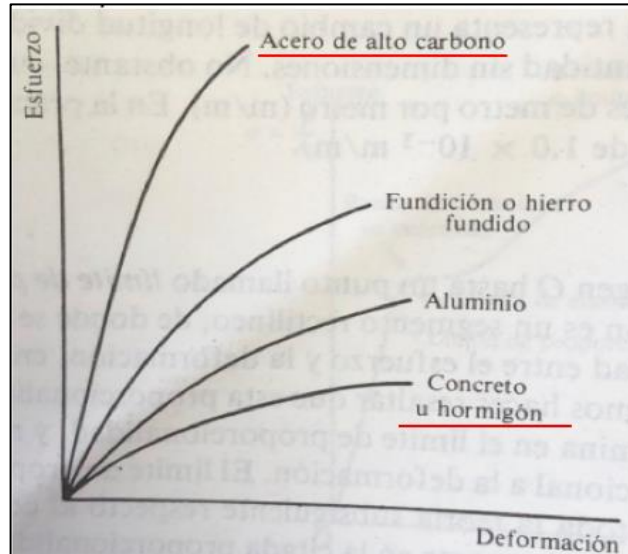
Cuadro 16. Valores comunes de módulo de elasticidad para concreto y acero.

<i>MATERIAL</i>	<i>MODULO DE YOUNG (N/m²)</i>
Acero	20 x 10 ¹⁰
Concreto	2,1 x 10 ¹⁰

Fuente. OLLER, Sergio. Fractura mecánica: un enfoque global. Barcelona: Cimne, 2001.

⁵⁸OLLER, Sergio. Fractura mecánica: un enfoque global. Barcelona: Cimne, 2001.

Gráfica 9. Comparación curva esfuerzo-deformación de materiales



Fuente. OLLER, Sergio. Fractura mecánica: un enfoque global. Barcelona: Cimne, 2001.

Al estudiar estos datos del acero y del concreto, se observa que el módulo de elasticidad del acero contra el valor de módulo de elasticidad del concreto es mayor (esto también se ve reflejado en la curva esfuerzo-deformación (Gráfica 9), lo que repercute en una dilatación del acero más rápida con respecto a la del concreto (al momento de haber cambios en la temperatura de estos materiales), es por esto que al trabajar con tuberías de acero que cuentan con recubrimientos de morteros de cemento se pueden presentar fracturas.

2. DIAGNOSTICO

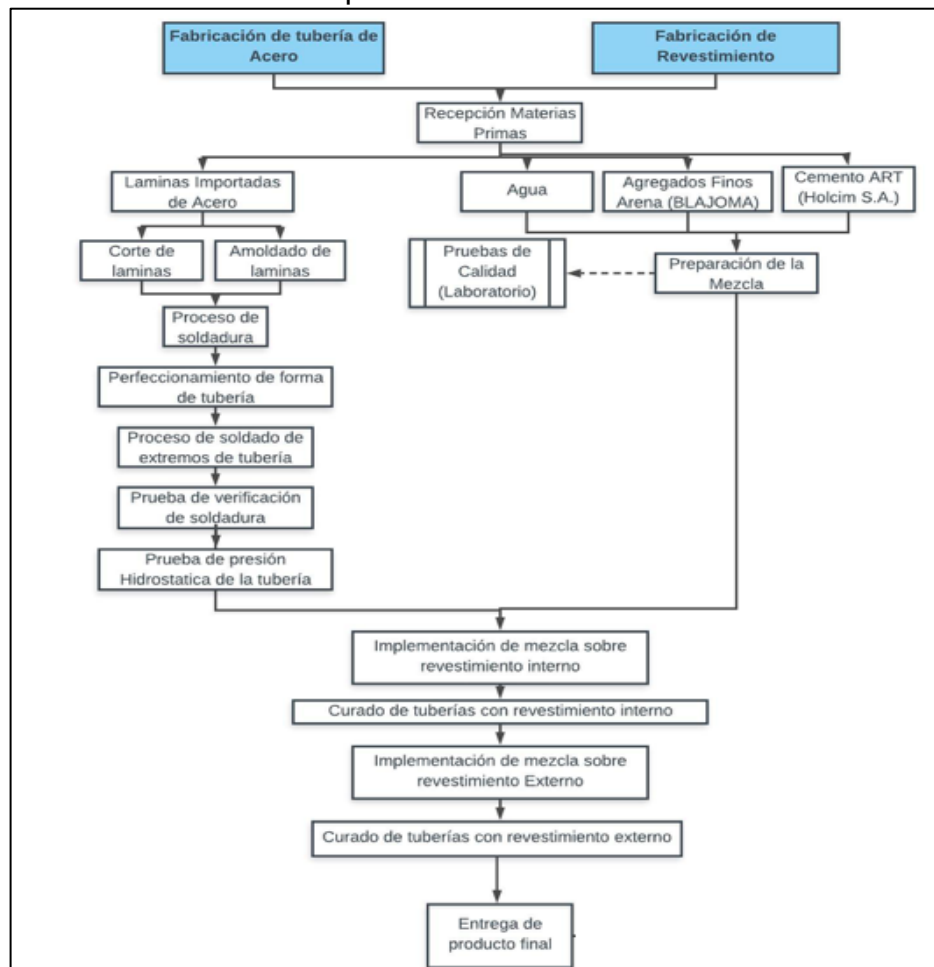
En este capítulo se presenta una introducción al proceso de producción de la empresa SDI (soluciones en diseño de ingeniería S.A.S) mediante un diagrama de bloques, así mismo, se presentan los resultados y el análisis de la encuesta de satisfacción realizada a los clientes de SDI, con el fin de llegar a un diagnostico final.

2.1 PROCESO DE PRODUCCIÓN

A continuación, se presenta un diagrama de bloques en donde se exponen los principales pasos en el proceso de producción de tuberías de acero con recubrimiento de morteros de cemento y se explica el diagrama.

2.1.1 Diagrama de bloques.

Grafica 10. Proceso de producción SDI



Fuente elaboración propia

2.1.2 Descripción del proceso. Para la descripción del proceso se debe tener en cuenta que el diseño de máquinas mencionadas a continuación, es realizado por parte de los fundadores de la empresa SDI, los cuales debido a su trayectoria y experiencia adquirida a lo largo de los años trabajando en la empresa American Pipe, han logrado determinar y adaptar los equipos necesarios para el desarrollo de la tubería con recubrimiento de mortero de cemento, basados en un diseño preliminar que American Pipe brindo para la realización de sus proyectos.

Como primer paso en el proceso de producción de la empresa SDI, se presenta la recepción de materias primas, acá se encargan de recibir las materias primas necesarias como lo son el cemento, el cual es suministrado por Holcim Colombia S.A. y se hace un uso aproximado de 20,7 toneladas por mes, la arena de río proveniente del municipio Carmen de Carupa (suministrada por Blajoma) la cual presenta un uso aproximado de 855 m³ por mes, las láminas de acero, las cuales son importadas desde Italia y se consumen aproximadamente 200 toneladas por mes, y finalmente el agua, la cual es de origen natural (aguas lluvia) y se consume una cantidad aproximada de 7950 litros por mes, seguido a esto se inicia con el proceso automático de corte de láminas con ayuda de una tortuga (máquina que realiza los cortes a la lámina de acero), una vez se tienen las láminas cortadas, se soldán estos cortes de láminas con el fin de obtener el diámetro de tubería que se desea (Imagen 5).

Seguido a esto inicia el proceso de amoldado de la lámina y para esto se lleva la lámina a la Rolling machine, la cual ayuda a dar forma cilíndrica a la lámina. Se realiza la soldadura necesaria para unir el acero y obtener un tubo, y se perfecciona la forma del tubo con ayuda de martillos de forma manual.

Imagen 5. Láminas soldadas y proceso de obtención de forma (Rolling machine).



Fuente Elaboración propia.

Como siguiente paso se procede con el soldado de extremos de tuberías, acá se ubican y soldán las juntas en los extremos de la tubería (se ubica una junta macho

en un extremo y una junta hembra en el otro), luego se verifica que las soldaduras realizadas no presenten huecos, para esto se realiza una prueba de ensayos no destructivos, sobre las juntas recién soldadas con un agente de control de calidad en aerosol, llamado “líquido penetrante” de alta capilaridad de color rojo, como se muestra en la imagen 6 (derecha), el cual está basado en un solvente SKL-WP2 de Magnaflux. Un limpiador con solvente SKC-S en aerosol de Magnaflux, el cual limpia el exceso del líquido penetrante que se encuentra en la superficie del tubo y finalmente, un agente de inspección económico, llamado “líquido revelador”, que contiene un solvente SKD-S2 de Magnaflux, el cual en caso de que se presenten espacios pequeños sin soldar, generará un punto blanco sobre estos espacios para poder visualizarlos y así corregir la soldadura en ese punto, los líquidos utilizados en esta prueba se muestran en la imagen 6 (izquierda).

Imagen 6. Pruebas de verificación de soldaduras con sus respectivos líquidos.



Fuente Elaboración propia.

A continuación, se ubican a lo largo del tubo unos anillos diseñados por SDI (Imagen 7), con el fin de mantener rígido el tubo durante su traslado a los pasos siguientes del proceso de producción.

Imagen 7. Tubos con anillos.



Fuente Elaboración propia.

Seguido a esto se realizan las pruebas de presión hidrostática sobre el tubo de acero (Imagen 8), con el fin de verificar si las juntas están en estado óptimo y conocer valores de presión que la tubería será capaz de soportar.

Imagen 8. Máquina para prueba de presión hidrostática.



Fuente Elaboración propia.

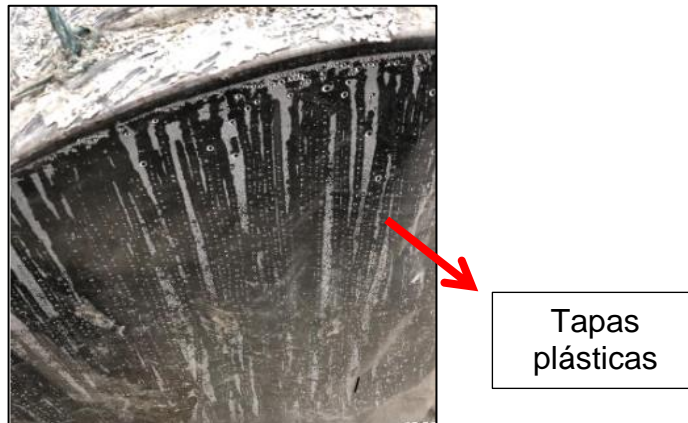
En el siguiente paso se prepara la mezcla de los morteros con las dosificaciones de materiales (cemento, agua y agregados) establecidas por SDI (anexo 1 y 2), y se procede a realizar el recubrimiento interno con la mezcla de mortero obtenida anteriormente con ayuda de una maquina diseñada por SDI (maquina revestidora) Imagen 9 (izquierda), la cual por medio de bandas y curvas de revoluciones que cambian de acuerdo al diámetro del tubo con que se esté trabajando y que se monitorean mediante una pantalla digital, presentada en la Imagen 9 (derecha), se realiza el recubrimiento interno con la mezcla de mortero, una vez se realiza el recubrimiento interno se ubican unas tapas plásticas, como se observa en la imagen 10, para contener la humedad del mortero y ayudar al proceso de curado del mismo.

Imagen 9. Máquina de revestimiento interno.



Fuente Elaboración propia.

Imagen 10. Proceso de curado revestimiento interno.



Fuente Elaboración propia.

Luego se procede a realizar el revestimiento externo de la tubería con la mezcla de morteros, este paso se realiza de forma manual, primero se hace uso de una malla de acero la cual rodeará todo el tubo y ayudará al proceso de adherencia de la mezcla de morteros en el revestimiento externo (Imagen 11).

Imagen 11. Proceso de revestimiento externo.



Fuente Elaboración propia.

Seguido a esto se deja secar por completo la mezcla de mortero y se empaqa el producto final en plásticos con el fin de mantener la humedad del mismo y evitar la aparición de fisuras o grietas en el producto final (Imagen 12), para finalmente entregar el producto al cliente por medio de empresas contratistas, debido a que la empresa SDI actúa como una empresa terciaria.

Imagen 12. Producto final convencional y línea especial.



Fuente Elaboración propia.

2.2 DIAGNOSTICO

Para el desarrollo del diagnóstico se tienen en cuenta dos aspectos: la base bibliográfica consultada anteriormente sobre las causas de fracturas en morteros de cemento y una encuesta de satisfacción que se realiza a los clientes de SDI con el fin de lograr un diagnóstico final, a continuación, se presentan los resultados de la encuesta y el diagnóstico final de causas de fractura en los morteros de cemento.

2.2.1 Encuesta. Con el fin de llegar a un diagnóstico final se realiza una encuesta de satisfacción a los clientes con mayor relevancia de la empresa SDI, y de esta manera lograr un análisis de resultados de la encuesta, así mismo, llegar a una conclusión con respecto a la calidad del producto final que reciben los clientes, enfatizando información sobre fracturas o grietas que se pueden presentar en el producto final, para esto se realizó una encuesta, que cuenta con siete preguntas en las que el encuestado responde en la escala de Likert, en el rango del 1 al 5, siendo 1 un valor equivalente a pésimo o nunca, 2= regular o raras veces, 3= aceptable o a veces, 4= bueno o siempre y 5= excelente o frecuentemente, el total de la población de la encuesta es de 10 personas, donde 9 de ellas desarrollan proyectos en la ciudad de Bogotá y una en la ciudad de Pitalito, Huila.

La encuesta va dirigida a una población de solo 10 personas debido a que la empresa SDI es un tipo de empresa terciaria, la cual tiene contrataciones vigentes con empresas de servicios públicos a través de una empresa contratista, debido a esta razón, no son clientes directos, lo que hace obtener una encuesta reducida

en el número de la población, además cabe mencionar que las empresas de servicios públicos son Acueducto y alcantarillado de Bogotá (EAAB), acueducto de Medellín (EPM), agua de Cartagena (ACUACAR), proactiva aguas de Tunja S.A. E.S.P. y aguas de Girardot, Ricaurte la Región (ACUAGYR), CONTELAC Ltda. En Pitalito, Huila, empresas que tienen a su disposición el producto final, y como se realiza una encuesta de modo presencial, se encuentran limitaciones por movilización a otras ciudades durante la ejecución del trabajo de grado.

2.2.1.1 Formato de encuesta. Ver Anexo J y K.

2.2.1.2 Clientes encuestados.

Cuadro 17. Clientes encuesta de satisfacción

EMPRESA	OBRA	NOMBRE	CARGO
Acueducto de Bogotá.	Reemplazo de tubos antiguos, calle 170 (Bogotá).	Horacio Camargo.	Jefe operarios de tuberías.
Acueducto de Bogotá.	Reemplazo de tubos antiguos, calle 170 (Bogotá).	Michael Chaparro.	Director general de la obra.
Acueducto de Bogotá.	Reemplazo de tubos antiguos, calle 170 (Bogotá).	Enrique Larrota.	Operario de tuberías.
Acueducto de Bogotá.	Reemplazo de tubos antiguos, calle 170 (Bogotá).	Juan Manuel Ortiz.	Operario de tuberías.
Acueducto de Bogotá.	Reemplazo de tubos antiguos, calle 170 (Bogotá).	José Néstor Agudelo.	Operario de tuberías.
Acueducto de Bogotá.	Reemplazo de tubos antiguos, calle 170 (Bogotá).	Julio Rocha.	Operario de tuberías.
Acueducto de Bogotá.	Reemplazo de tubos antiguos, calle 170 (Bogotá).	Carlos Mantilla.	Operario de tuberías.
Acueducto de Bogotá.	Reemplazo de tubos antiguos, calle 170 (Bogotá).	Camilo Cifuentes.	Operario de tuberías.
Contelac	Manejo de tuberías (Pitalito)	Jorge Ardila.	Jefe de obra.
Constructora Apiros.	Obras en Bogotá.	Carlos Garzón.	Jefe de obra.

Fuente Elaboración propia.

2.2.1.3 Preguntas encuesta.

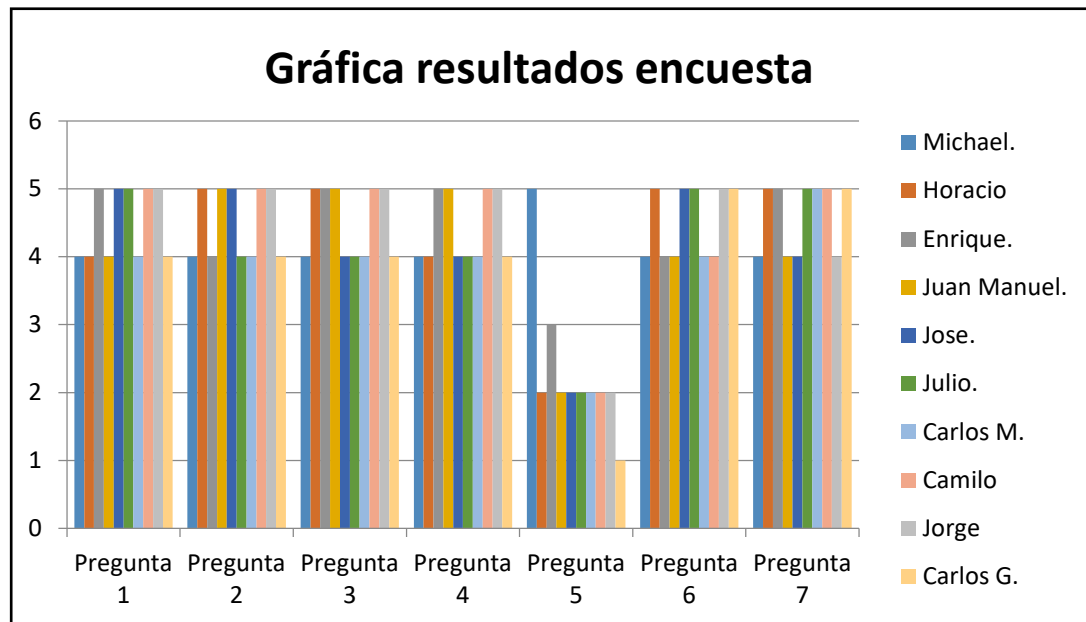
Cuadro 18. Preguntas encuesta

PREGUNTA	NÚMERO DE PREGUNTA
¿En qué nivel es importante para este proyecto la implementación de aditivos que incrementen la resistencia del mortero y por ende la disminución de fracturas?	1
¿En qué nivel se tiene en cuenta las recomendaciones dadas por parte de la empresa para mantener la integridad de la tubería y su protección mortero de cemento?	2
¿Considera usted que la resistencia del mortero es la suficiente para soportar las cargas que se le aplican en este proyecto?	3
¿En qué nivel se tiene en cuenta el plástico que mantiene la humedad del mortero?	4
¿En qué nivel es común la aparición de fracturas en los morteros de la empresa SDI?	5
En el momento en que se presenta una fractura al mortero utilizado como protección ¿En qué nivel se hace el debido mantenimiento correctivo?	6
¿En qué nivel de satisfacción se siente con respecto al tipo de protección que se le da a la tubería que es utilizada en el proyecto?	7

Fuente Elaboración propia.

2.2.1.4 Gráfico de resultados de la encuesta.

Grafica 11. Resultados encuesta.



Fuente Elaboración propia

2.2.1.5 Conclusión Encuesta. Al evaluar los resultados de la encuesta se observa que los clientes se sienten satisfechos con el producto que reciben y con las indicaciones que la empresa SDI brinda a sus clientes en cuanto al tema de manipulación del producto final, sin embargo, se observa que los clientes están de acuerdo con la implementación de aditivos en la mezcla del mortero para recibir un producto que presente una mayor resistencia, ya que si bien, se recibe por parte del cliente un producto que no presenta fracturas, si es común que esté presenten fisuras y en algunos casos grietas a lo largo del mortero. Las fisuras normalmente se cierran al momento de instalar la tubería en los suelos gracias a la humedad que el suelo presenta, sin embargo, cuando se observa un tamaño de fisura mayor a 1,5 mm entonces se clasifica como una grieta y en estos casos se prepara una lechada que se encargará de cerrar la grieta, ya que esta si podría generar problemas mayores y llegar a un estado de fractura en el mortero de cemento, al implementar aditivos se espera una disminución de fisuras, grietas o en el peor de los casos fracturas.

La principal finalidad de la encuesta es la medición cuantitativa de los cuidados que se tienen con el producto final por parte de las empresas prestadoras de servicios públicos, puesto que se identificó anteriormente que una principal causa de la aparición de pequeñas fisuras (Baja resistencia mecánica) en el producto final era el mal cuidado en su disposición final, debido a esto es importante hacer el estudio de la implementación de un aditivo que pueda ayudar a disminuir dichas fisuras, y que el cliente final tenga una mayor seguridad sobre el desempeño que el mortero tendrá como protección a la tubería de acero, de esta manera se hace

una optimización de tiempos muertos para su debida adecuación o mantenimiento correctivo.

También, se determina que los cuidados sugeridos por la empresa son de vital ayuda para la conservación de la integridad del mortero de cemento ART, sin embargo, el uso de un aditivo en la mezcla convencional puede ayudar sustancialmente a mantener la humedad del mortero sin ayuda de agentes externos como lo son las tapas plásticas, debido a que en el estudio bibliográfico encontrado en el capítulo 1, se evidencia que las propiedades de cada una de las materias primas juegan un papel importante en el aumento de la resistencia mecánica, el cual es el objetivo principal en el proyecto de grado.

2.2.2 Diagnostico final. Al estudiar el concepto de fractura en materiales, el comportamiento de natural de los materiales y las posibles causas de fractura en materiales, y así mismo, evaluar la conclusión final de la encuesta de satisfacción, se llega a la conclusión de que la principal causa de fractura en los morteros de cemento, con los que se desarrolla este proyecto, se debe al mal trato o mala manipulación que se le da al producto a lo largo de su proceso de producción y disposición final, la empresa Soluciones en diseño e ingeniería S.A.S brinda al cliente una serie de recomendaciones a seguir para evitar la presencia de fracturas en el mortero como lo son: el arrume de tuberías deber ser máximo de 3 unidades, se debe tener especial cuidado en mantener la tubería tapada con plásticos para evitar que el mortero pierda su humedad (proceso de curado del cemento) y así mismo evitar la presencia de fisuras o grietas en el mortero, se debe tener cuidado con los extremos del mortero, evitar el contacto del mortero con suelos ácidos, puesto que, puede ayudar al proceso de corrosión en la tubería, tener especial cuidado en el transporte del producto final y finalmente se recomienda proteger el mortero de golpes que puedan generar daños sobre este. Así mismo, se identificó que las propiedades mecánicas en los materiales como el módulo de elasticidad y el efecto de la temperatura sobre los materiales tienen influencia sobre la posible formación de estas fisuras, grietas o fracturas, debido a que, se presenta una diferencia entre el módulo de elasticidad del acero y del concreto (siendo mayor el valor de módulo de elasticidad del acero), por lo que al momento de presentarse un diferencial térmico sobre estos materiales, el acero presentará una dilatación de manera más rápida con respecto al cemento, generando esfuerzos de tensión sobre la tubería y el mortero lo que conlleva a la aparición de posibles fisuras, grietas o fracturas, razón por la cual, es un importante parámetro a tener en cuenta para el diseño de la mezcla de concreto.

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

En el siguiente capítulo se hace una breve descripción de los materiales utilizados y se describen las pruebas realizadas a nivel laboratorio como lo son: propiedades de desempeño, caracterización de materias primas, dosificación de aditivos, esto con el fin de realizar el análisis de resultados obtenidos y llegar a una conclusión final.

3.1 MATERIALES EMPLEADOS

3.1.1 Cemento. El cemento que se utiliza es de tipo ART (alta resistencia a la tensión), lo provee Holcim Colombia S.A, y sobre este se realizan pruebas regidas por la NTC como lo son: NTC 33: Método para determinar la finura del cemento hidráulico por medio del aparato Blaine, NTC 221: Método para determinar la densidad del cemento hidráulico, NTC 294: Método de ensayo para determinar la finura del cemento hidráulico utilizando tamiz 45 μ m, NTC 118: Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante aguja de Vicat, NTC 220: Determinación de la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico, NTC 184: Métodos de análisis químico de los cementos hidráulicos, NTC 110: Método para determinar la consistencia normal del cemento hidráulico.

3.1.2 Agregados. Los agregados utilizados en la mezcla de cemento en la empresa son de carácter fino, provienen del municipio Carmen de Carupa (Cundinamarca) y son suministrados por Blajoma, para caracterizarlos se realizan pruebas de densidad, granulometría y absorción.

3.1.3 Agua. El agua que se utiliza para la producción de morteros en la empresa es de carácter natural (aguas lluvia almacenada en tanques subterráneos), por lo que se hace necesario la realización de un análisis químico del agua, con el fin de obtener datos confiables en cuanto a estudios físicos, químicos y propiedades organolépticas.

3.1.4 Aditivos. Los aditivos utilizados en las pruebas son de tipo plastificante de referencia SikaPlast MO, acelerante de referencia SikaSet NC y plastificante-acelerante de referencia Sika ViscoCrete 10 HE, sobre estos se realizan pruebas de caracterización de materias primas (densidad, color, viscosidad y porcentaje de sólidos); para la selección de las referencias de aditivos se tuvieron en cuenta parámetros necesarios para la elaboración del proyecto tales como: presenten propiedades que aumenten la resistencia del cemento y que NO cuenten con la presencia de cloruros ya que afectarían en el proceso de corrosión de las tuberías que se están recubriendo.

3.1.4.1 Aditivo plastificante SikaPlast MO. Aditivo líquido, libre de cloruros que presenta ventajas tales como: brindar mayor fluidez a la pasta de cemento, aumentar las resistencias del concreto, ayudar a densificar el concreto y mejorar su adherencia al acero. La dosificación de este aditivo se realiza dentro de un rango del 0,5 al 2% del peso del cemento que se utiliza en la mezcla.

3.1.4.2 Aditivos acelerante SikaSet NC. Aditivo líquido, libre de cloruros que presenta ventajas tales como: reducir tiempos de fraguado lo que permite reducir costos en procesos productivos, y aumentar resistencias iniciales y finales del concreto. La dosificación de este aditivo se realiza dentro de un rango del 1% al 4% del peso del cemento que se utiliza en la mezcla.

3.1.4.3 Aditivo plastificante-acelerante Sika ViscoCrete 10 HE. Aditivo líquido. Libre de cloruros que presenta ventajas tales como: conseguir una muy buena consistencia plástica, reducir el agua de mezcla lo que permite reducir costos de producción, y aumentar resistencias iniciales y finales. La dosificación de este aditivo se realiza dentro de un rango del 0,3 al 1,5% del peso del cemento que se utiliza en la mezcla.

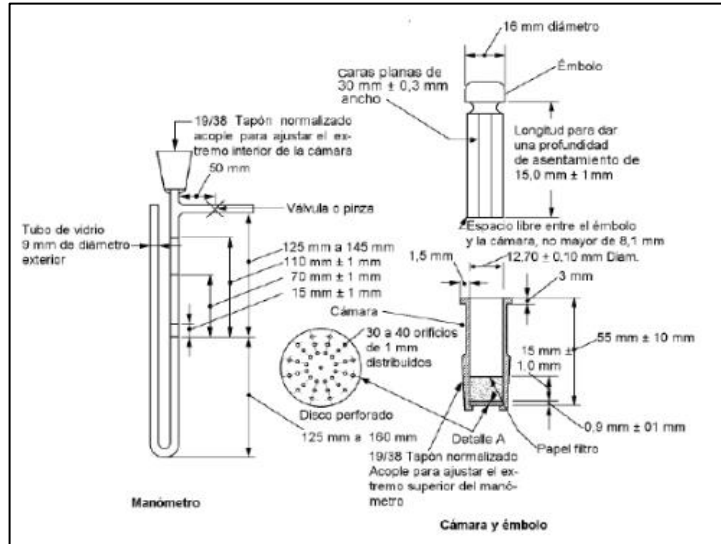
3.2 CARACTERIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS

A continuación, se describen las pruebas realizadas para la caracterización de materias primas utilizadas en el desarrollo del proyecto.

3.2.1 Cemento. Se determina la finura del cemento hidráulico por medio del aparato Blaine y tamiz 45 μ m, la densidad del cemento hidráulico, el tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante aguja de Vicat, contenido de mortero de cemento hidráulico, resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico, la consistencia normal del cemento hidráulico y composición química del cemento.

3.2.1.1 Finura del cemento. Se realizan dos pruebas regidas por la NTC, las cuales son: NTC 33: Método para determinar la finura del cemento hidráulico por medio del aparato Blaine y NTC tamiz 45 μ m. El método regido por la NTC 33 determina el grosor o finura del cemento a trabajar, esto se logra pasando una cantidad de aire a través de una capa de cemento (que presenta una porosidad conocida) con el fin de obtener datos de velocidad de flujo del aire, tamaño y número de poros en la capa de prueba y superficie específica, esto se logra con ayuda del aparato Blaine de permeabilidad.

Imagen 13 . Aparato Blaine



Fuente. NORMA, N. T. C. 33, Finura del cemento, Bogotá DC. Colombia): Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2014.

En la NTC 294 se deben situar aproximadamente 1000 g de cemento a analizar en un tamiz de 45 μm o No.325. Seguido a esto se limpia la muestra con agua con ayuda de la boquilla rociadora, una vez limpia la muestra se aparta el tamiz de la boquilla y se debe ajustar su presión entre un rango aproximado de 65 a 73 Kpa para ubicar de nuevo el tamiz bajo la boquilla y limpiar la muestra durante 1 minuto más realizando movimientos circulares con el tamiz. Pasado el minuto se retira el tamiz de la boquilla y se lava la muestra con una cantidad aproximada de $5 \times 10^5 \text{ m}^3$ de agua desionizada teniendo cuidado de evitar un escape de residuo. El producto resultante (tamiz y residuo) se secan en un horno, una vez seco se toma el residuo y se pesa con balanza analítica. Los cálculos de finura del cemento regidos por esta norma se realizan con las siguientes ecuaciones:

Ecuación 2. Finura del cemento

$$F = 100 - Rc$$

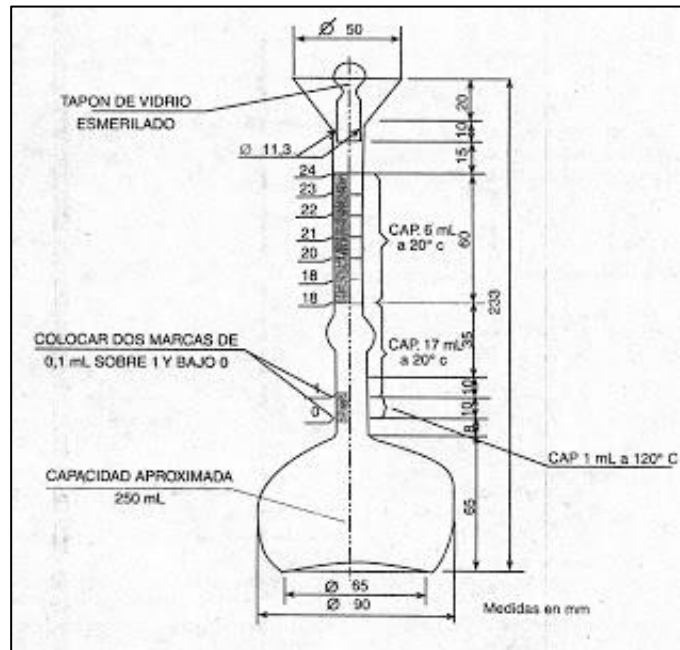
Ecuación 3. Residuo corregido

$$Rc = Rs * (100 + C)$$

Donde F se define como la finura del cemento, Rc como el residuo corregido expresado en porcentaje, Rs residuo de muestra retenido en el tamiz y C como el factor de corrección del tamiz.

3.2.1.2 Densidad. Para la determinación de la densidad se realiza el procedimiento estipulado en la norma NTC 221, en donde se especifica el uso de un frasco de le chartelier (Imagen 14) que se llena hasta un punto x ubicado entre las marcas 0 y 1 ml con kerosene o nafta (densidad mayor a 0,73 g/ml) y se introduce el frasco en un baño de agua que mantenga una temperatura constante a lo largo de la prueba, esto se realiza con el fin de prevenir cambios de temperatura mayores a 0,2 °C en las lecturas de la prueba, se introduce al frasco una cantidad aproximada de 64 g de cemento (en forma gradual) evitando que el cemento se adhiera a las paredes del frasco, se tapa el frasco y se deben realizar movimientos circulares con el frasco para retirar el aire que hay dentro de este, cuando se dejan de observar burbujas en el interior del frasco, se introduce de nuevo al baño de agua (12-15 minutos aproximadamente) y se realiza la lectura del volumen final, para el cálculo de la densidad se hace uso de la ecuación 4.

Imagen 14. Frasco de le Chartelier para prueba de densidad.



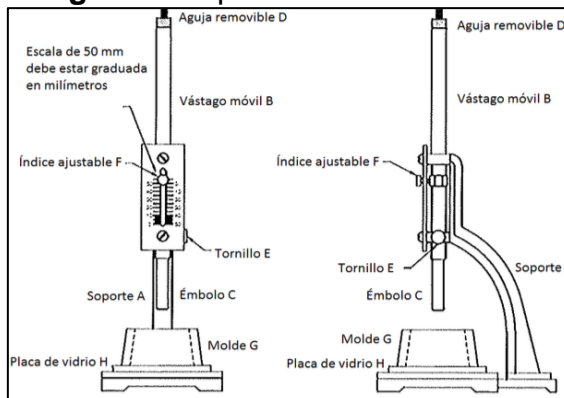
Fuente. NORMA, N. T. C. 221, Densidad del cemento, Bogotá DC. Colombia): Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2014.

Ecuación 4. Densidad del cemento.

$$\rho = \frac{\text{masa del cemento}}{\text{volumen desplazado}} = \frac{\text{masa del cemento}}{(\text{volumen final} - \text{volumen inicial})} = \frac{g}{\text{cm}^3} \text{ o } \frac{mg}{\text{m}^3}$$

3.2.1.3 Tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante aguja de Vicat. Para la realización de esta prueba se siguen los pasos estipulados en la NTC 118 y se deben mezclar aproximadamente 650 g de cemento con agua hasta conseguir la consistencia deseada, esta pasta obtenida debe adquirir forma esférica con ayuda de las manos, en seguida se lleva la esfera a un molde cónico de dimensiones 40 mm de alto y diámetro de 60 mm, se llena por la base de mayor diámetro, en seguida se ubica el molde sobre una placa base y se retira el exceso de pasta con ayuda de un palustre después se lleva el molde al cuarto húmedo por un tiempo aproximado de 30 minutos, se retira el molde del cuarto húmedo y se lleva a realizar la prueba con el aparato Vicat (Imagen 15), la aguja de este debe penetrar en el molde cada 15 minutos hasta alcanzar una penetración de 25 mm o menos, cuando se alcanza este valor y se han registrado los datos anteriores se realiza una interpolación de datos con el fin de encontrar el valor del tiempo correspondiente a una penetración de 25 mm (fraguado inicial) y se obtiene el tiempo de fraguado final cuando la aguja Vicat no penetra visiblemente en la pasta.

Imagen 15. Aparato Vicat



Fuente. NORMA, N. T. C. 118, Tiempo de fraguado, Bogotá DC. Colombia): Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2014.

3.2.1.4 Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico. Este proceso se rige por la norma NTC 220, norma que describe el ensayo de resistencia a la compresión, el cual es necesario para determinar las especificaciones y límites que deben tener los morteros con respecto a esta propiedad. Para la realización de este ensayo se requiere hacer uso de moldes fabricados de metal duro que no sea afectado por la mezcla de cemento, el molde puede tener variaciones según la norma, pero no puede sobrepasar los límites.

Los materiales utilizados en la prueba de ensayo de compresión son el molde, la materia prima para la mezcla (Cemento, arena normalizada y agua) una mezcladora mecánica según la norma, compactador ,palustre y espátula; para

comenzar se utiliza la mezcladora mecánica con el fin de realizar la mezcla que luego depositara en el molde por capas que son aprisionadas por el compactador por medio de 32 golpes logrando una buena compactación, para finalizar esta parte se alisa la superficie con ayuda del palustre, esto con el fin de obtener unos moldes en perfecto estado y simétricos.

Posteriormente el molde que contiene la probeta se lleva a unas cámaras húmedas en donde se hace el proceso de curado entre 20 horas a 24 horas antes de ser desmoldada la probeta, cuando son retirados del molde, las probetas se depositan en tanques de almacenamiento (agua y cal) hasta el momento del ensayo de compresión, la pruebas normalmente se realizan a los días 3, 4, 5, 6, 7, 14 y 28 días, prueba que es realizada en una maquina universal de ensayo a la compresión digital, la cual aplica cargas (PSI) sobre la probeta a una velocidad promedio hasta que el cilindro falle, tomando así los datos obtenidos y siendo directamente registrados en una base de datos. La resistencia puede ser calculada mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 5. Cálculo para la resistencia a la compresión

$$f_m = \frac{P}{A}$$

Donde F_m se define como la resistencia a la compresión que se da en Mpa, P la máxima carga dada en N y A como el área de la superficie cargada, dada en mm^2 .

3.2.1.5 Análisis químico de los cementos hidráulicos. Para realizar el análisis de los componentes del cemento se presenta una prueba específica para cada componente las cuales se describen a continuación.

✓ **Análisis dióxido de silicio.** Para realizar este análisis es necesario tener en cuenta el residuo insoluble ya que si es menor al 1% se hace por un método y si es mayor al 1% se hace por otro método. Para el primer método que contiene residuos insolubles menores al 1% se hace por determinación gravimétrica, en donde se utiliza como reactivo Cloruro de amonio (NH_4Cl), debido a que si se aplica como reactivo el ácido clorhídrico (HCl) habrá una descomposición del cemento hidráulico en su totalidad y si contiene alto material insoluble en ácido se necesitara un pre tratamiento. Para el primer método se necesita 0,5 gramos de la muestra de cemento y 0,5 gramos del reactivo antes mencionado en un vaso precipitado añadiendo cuidadosamente 5 ml de HCl tapando el vaso con un vidrio reloj, posteriormente de que haya tomado lugar la reacción química se agrega dos gotas de HNO_3 , y se tapa nuevamente para ser llevado a un baño maría por 30 minutos, se le llama el tiempo de digestión, en donde ocasionalmente se agita la mezcla para tratar de mantener controlados los grumos que se formen de la descomposición de la mezcla, transcurrido el tiempo determinado se pasa la mezcla por medio de un embudo que contiene un papel filtro, en donde se lavara dos a tres veces con HCl caliente retirando los residuos de manera eficiente para finalmente mantener el filtrado y en el enjuague, con el cual se determinara el grupo de hidróxido de amoniaco. Posteriormente se transfiere el filtrado a un crisol ya tarado donde se quema suavemente manteniendo el calor por 1h a temperatura específica, se enfría en desecador y se repite el mismo procedimiento hasta lograr un peso constante, así se obtiene el SiO_2 , sin embargo, contiene en cantidades bajas impurezas que son tratadas con 1 o 2ml de agua, dos gotas de H_2SO_4 y 10 ml de HF , finalmente el residuo obtenido es calentado a 100°C durante 5 minutos, se enfría en desecador y se determina la masa.

El cálculo mencionados en la norma NTC 184 es: calcular el porcentaje de SiO_2 con aproximación a 0,1%, multiplicando la masa en gramos de SiO_2 por 200 (100 dividido por el peso de la muestra utilizada (0,5 g))⁵⁹.

Para el segundo método utilizado en cementos con residuos insolubles mayores al 1%, se realiza de manera parecida el cambio que ocurre es la fusión de Na_2CO_3 , en donde primero es calcinada la muestra para mezclarla con 4g a 6g de Na_2CO_3 y una capa de NaCO_3 en un crisol tapado para llevarlo a contacto con una llama media que va creciendo gradualmente hasta los 100°C , luego se deja en reposo por 45 minutos. Para poder obtener una mezcla sin impurezas se hace un enjuague de 300 ml agua con una debida agitación para ser calentado, luego se hace un segundo enjuague con HCl concentrado para finalmente agregar 20 ml de HCl cuidadosamente y se lleva a proceso de evaporación en baño maría, se repite le proceso de agregar HCl en proporciones de 10 ml y se vuelve a llevar a baño de maría por 10 minutos; finalmente se diluye la solución con agua caliente

⁵⁹NORMA, N. T. C. 184, Métodos de Análisis químico de los cementos hidráulicos, Bogotá DC. Colombia): Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2014.

para ser llevada a papel filtro, separando el SiO_2 por medio de lavados con HCl caliente y agua caliente. El filtrado será llevado a un horno por una 1 hora (105°C - 11°C), se deja enfriar en baño maría adicionándole 10 a 15 ml de HCl. Para lograr determinar la cantidad de SiO_2 se pasa por un filtro lavando muy bien el residuo y se repite el último paso del método anterior.

✓ **Análisis del dióxido de calcio y óxido de Magnesio.** Partiendo ensayo de análisis anterior se obtuvo el grupo de hidróxido de amonio en el filtrado, el cual se neutraliza con HCl, para luego seguir con la separación del manganeso en donde la solución anteriormente neutralizada se evapora hasta 100 ml, inmediatamente se agrega agua de bromo saturada y 10 ml NH_4OH logrando una solución alcalina, cuando la solución llegue a lo punto deseado sin precipitados, es llevada a calor durante 5 minutos, posteriormente se deja enfriar y sedimentar el precipitado para filtrar con papel filtro lavando con agua caliente, el filtrado se acidifica con 5 ml de HCl y en conjunto con calor se libera Bromo. Paso siguiente se añaden 30 ml de oxalato de amonio caliente, en conjunto con calor (70 - 80°C) y gota a gota de NH_4OH se llega a un color amarillo, luego se deja en reposo con agitaciones en pocas ocasiones y se pasa por papel filtro con lavados de agua caliente, cuando ya se haya terminado el lavado, se acidifica con HCl el filtrado el cual se guardará para la determinación de MgO (Ecuación 6).

Ahora como paso final el precipitado final se le hace un lavado con 10 gotas de H_2SO_4 y con agua caliente, para luego diluir la mezcla hasta 200 ml y se agregar 10 ml de H_2SO_4 , se calienta la mezcla hasta llegar al punto de ebullición y finalmente se titula con 0,18N KMnO_4 hasta que se torne color rosado y con la siguiente formula se hacen los cálculos.

Ecuación 6. Porcentaje de MgO en la muestra

$$MgO (\%) = w \times 72,4$$

Donde w se define como la masa de pirofosfato de magnesio ($\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$), expresada en gramos y la constante 72,4 como la relación del peso molecular de 2MgO y el pirofosfato de magnesio ($\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$) (0,362) dividida entre la masa de la muestra usada (0,5 g) y multiplicada por 100.

Ecuación 7. Porcentaje de CaO_2 en la muestra

$$CaO (\%) = E \times (V - B)$$

Donde E se define como Cao equivalente de la solución de KMnO_4 en porcentaje de CaO/ml que está basado en una muestra de 0,5 g, V son los mililitros requeridos de la solución de KMnO_4 por la muestra y B son los mililitros requeridos de la solución de KMnO_4 por el blanco.

✓ **Análisis del Óxido Férrico (Fe₂O₃).** El porcentaje de óxido férrico en la muestra se determina reduciendo el hierro a estado ferroso por medio de la solución normalizada de cloruro de estaño (SnCl₂), para luego ser titulada con dicromato de potasio K₂Cr₂O₇. El procedimiento se divide en dos ya que se debe tener en cuenta el porcentaje de residuo insoluble. Para cementos con residuo insoluble menor o igual al 1% se debe anteriormente adicionar a 1 gramo de muestra las cantidades de 40 ml de agua fría y 10 ml de HC, hasta llegar a la descomposición total del cemento, si esto no ocurre es necesario de agregar calor hasta que la muestra este lista, al contrario, los cementos que presenten residuos insolubles en mayor porcentaje al 1% se pesa 0,5 g de la muestra de cemento y se mezcla con 1 gramo de LiBO₂ y se deposita en un crisol de grafito previamente quemado con 0,1 g de LiBO₂ que luego será introducido sin tapanlo en un horno a 100 °C, pasado 15 minutos se retira del horno y se verifica si haya fundido totalmente (la capa de la mezcla forma una bola pequeña), cuando se hace la revisión se agita para formar bolas que son levadas a un vaso con 10 ml de HCl concentrado y 50 ml de agua, por medio de agitación se disuelve en un tiempo considerado de 10 minutos o menos. Con los debidos pre-tratamientos para cada tipo de muestra se procede con los siguientes pasos para los dos.

La solución para los dos casos de muestra se calienta tratándolo con SnCl₂, que es aplicado gota a gota mientras se llega al punto de ebullición, se deja enfriar la solución hasta Ta, como paso anterior a la titulación, se prepara la mezcla adicionándole 10 ml de cloruro de mercurio (HgCl₂), solución debidamente saturada y fría, 10 ml de H₃PO₄ y 2 gotas de indicador difenilamina sulfonato de bario, mezcla que se lleva a cabo bajo 1 minuto de agitación vigorosa. Finalmente, la titulación se lleva a cabo con la solución estandarizada de K₂Cr₂O₇ hasta obtener un color purpura intenso; con la siguiente ecuación se determina el porcentaje de óxido férrico.

Ecuación 8. Obtención de óxido férrico

$$\text{Fe}_2\text{O}_3(\%) = \frac{E \times (V - B) \times 100}{W}$$

Donde W se define como la masa de la muestra, E como Fe₂O₃ equivalente de la solución de K₂Cr₂O₇ en gramos por mililitro, V son los mililitros requeridos de la solución de K₂Cr₂O₇ para la determinación de la muestra y B son los mililitros requeridos de la solución de K₂Cr₂O₇ para la determinación del blanco.

✓ **Análisis del Óxido de Aluminio (Al₂O₃).** Para la determinación del porcentaje de óxido de Aluminio se calcula con base al grupo de hidróxido de amonio por medio de una diferencia entre los siguientes componentes Fe₂O₃, TiO₂ y P₂O₅.

✓ **Análisis del Dióxido de Titanio (TiO₂).** La determinación del porcentaje de dióxido de titanio es determinada de manera colorimétrica usando como reactivo Tirón, sin embargo, depende del porcentaje de Fe₂O₃ que la muestra de cemento puede tener variando en un 0,01% por cada 1% de este compuesto. Por medio del espectrofotómetro y a solución debidamente preparada se mide la absorbancia de esta tomando como blanco referencia el agua a 410 nm, para finalmente calcular por medio de la siguiente ecuación el porcentaje de TiO₂.

Ecuación 9. Porcentaje de TiO₂ en la muestra de cemento

$$\text{TiO}_2 \text{ verdadero} = \% \text{ TiO}_2 \text{ medido} - (0,01 \times \% \text{ Fe}_2\text{O}_3)$$

✓ **Análisis del Pentóxido de Fósforo (P₂O₅).** La determinación del porcentaje de pentóxido de fósforo se hace por medio de un ensayo colorimétrico, parecido al anterior análisis sin embargo ningún compuesto de la muestra de cemento influye sobre el resultado. Para utilizar el espectrofotómetro se prepara una serie de soluciones de fosfato combinado con una solución B estándar anteriormente preparada en el laboratorio para medir la absorbancia tomando como blanco referencia el agua a 725,0 nm y se registra el porcentaje de P₂O₅ con una aproximación del 0,01%.

Cuadro 19. Máximas variaciones permisibles de la composición química del cemento

(1) COMPONENTE	(2) Máxima diferencia entre duplicado ^D %	(3) Máxima diferencia del promedio de los duplicados con respecto de los valores certificados SRM ^{B, C, D} %
SiO ₂ (dióxido de silicio)	0,16	± 0,2
Al ₂ O ₃ (óxido de aluminio)	0,20	± 0,2
Fe ₂ O ₃ (óxido de hierro)	0,10	± 0,10
CaO (óxido de calcio)	0,20	± 0,3
MgO (óxido de magnesio)	0,16	± 0,2
SO ₃ (tríóxido de azufre)	0,10	± 0,1
P.C (pérdidas por calcinación)	0,10	± 0,10
Na ₂ O (óxido de sodio)	0,03	± 0,05
K ₂ O (óxido de potasio)	0,03	± 0,05
TiO ₂ (dióxido de titanio)	0,02	± 0,03
P ₂ O ₅ (pentóxido de fósforo)	0,03	± 0,03
ZnO (óxido de zinc)	0,03	± 0,03
Mn ₂ O ₃ (óxido mangánico)	0,03	± 0,03
S (azufre como sulfuro)	0,01	F
Cl (cloruro)	0,02	F
R.I. (residuo insoluble)	0,10	F
Cx (cal libre)	0,20	F
Alcalis soluble (alcalis solubles en agua)(E)	0,75/w	F
S.S. Clo. (sustancias orgánicas solubles en cloroformo)	0,004	F

NORMA, N. T. C. 184, Métodos de Análisis químico de los cementos hidráulicos, Bogotá DC. Colombia): Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2014.

3.2.1.6 Consistencia normal del cemento hidráulico. Esta prueba de laboratorio se rige la norma NTC 110 que tiene por objetivo determinar la consistencia del cemento hidráulico por medio del aparato de aguja Vicat. Para realizar el ensayo se debe preparar la muestra con 650 g de cemento y la determinada cantidad de agua que este especificada en la R a/c siguiendo la norma NTC 112, luego de formar la mezcla manualmente por 2 minutos se moldea rápidamente asimilándose a una esfera o forma de bola y por medio de 6 golpes de mano a mano se hace el proceso de compactación de la mezcla, paso siguiente es depositada la bola de muestra en el molde (anillo de pasta) y con el palustre se remueve el exceso de la superficie para que el molde con la muestra quede asentado, luego se posiciona debajo de la aguja del aparato Vicat, aparato previamente normalizado en 0, y se baja embolo C de la aguja, el cual queda fijo durante la prueba, sobre la muestra de mezcla por 30 segundos.

Según la norma, esta considera que la consistencia de un cemento normal esta en $10\text{mm} \pm 1\text{mm}$; este ensayo previamente descrito se debe repetir cambiando la relación A/C.

3.2.2 Agregados. Los agregados utilizados en la mezcla de cemento en la empresa son de carácter fino, provienen del municipio Carmen de Carupa (Cundinamarca) y son suministrados por Blajoma, para caracterizarlos se realizan pruebas de densidad, granulometría y absorción.

3.2.2.1 Densidad y absorción. Este procedimiento se rige por lo estipulado en la NTC 237, en donde se determinarán la densidad nominal y aparente de los agregados finos utilizados. Para esto se toma como base aproximada 1 kg de agregado fino y se seca hasta obtener una muestra con una temperatura aproximada de $110\text{ }^{\circ}\text{C}$, seguido a esto se deja enfriar la muestra y se sumerge en agua por un tiempo aproximado de 24 a 28 horas, como próximo paso se debe decantar el exceso de agua sin perder agregados y se verifica constantemente la condición éste hasta que se obtenga un agregado saturado y superficialmente seco. Cuando se obtiene el agregado con las condiciones necesarias se lleva una cantidad aproximada de este agregado de 500 g a un picnómetro y se llena con agua hasta completar la capacidad del picnómetro para registrar datos finales. Como siguiente paso se debe extraer la muestra de agregado del picnómetro y se seca hasta obtener una temperatura de 110°c aproximadamente, se enfría esta muestra y se registra el dato de la masa nuevamente, finalmente se llena el picnómetro con agua y se registra el dato del peso del picnómetro. Para determinar las densidades aparente y nominal se hace uso de las siguientes ecuaciones:

Ecuación 10. Densidad aparente

$$D_{s\text{ aparente}} = 0,9975 * A / (B + S - C)$$

Ecuación 11. Densidad nominal

$$D_{s \text{ nominal}} = 0,9975 * A / (B + A - C)$$

Donde A se define como la masa en el aire de la muestra secada al horno, B la masa del picnómetro lleno con agua, S la masa de la muestra saturada y superficialmente seca y C la masa del picnómetro con la muestra y agua.

3.2.2.2 Granulometría. Esta prueba se realiza tomando una cantidad aproximada de 916g de agregado, la cual se hace pasar por la serie de tamices que se observan en la imagen 16, en donde encontramos el tamiz 3/8", 1/4", No. 4 (serie 62842), No. 8 (serie 62758), No. 16 (serie 63033), No. 30 (serie 62956), No. 50 (serie 62425), No. 100 (serie 62284) y No. 200 (serie 62718), los cuales son de tipo Mesh, se pesa la masa retenida en cada tamiz y se registran los datos, para realizar la curva granulométrica, con el fin de determinar el tipo de agregado (fino, medio, grueso).

Imagen 16. Serie de tamices



Fuente Elaboración propia

3.2.3 Agua. En la producción de morteros se utiliza agua de carácter natural (aguas lluvia), es por esto que se realiza un análisis fisicoquímico a una muestra, en el estudio físico se realizan pruebas regidas por los métodos estandarizados de examinación del agua y del agua residual tales como S.M. 4500 -H+B: pH, S.M. 2550 B: temperatura, S.M 2540 C: sólidos disueltos totales, S.M 2540 B: sólidos totales, en el estudio químico se realizan pruebas tales como S.M. 2320 B: alcalinidad, S.M. 4500 Cl- B: cloruros, S.M. 2340 C: dureza total, S.M. 4500 NO3 B: nitratos, S.M. 4500 SO4 E: sulfatos y se obtienen características organolépticas tales como S.M. 2120 B: color, NTC 4770: olor y sustancias flotantes.

3.2.3.1 Características organolépticas. En esta sección se describen las pruebas realizadas de color, olor y sustancias flotantes para obtener las características organolépticas del agua:

✓ **Color.** Esta prueba se rige por la S.M. 2120 B, para esto se debe recolectar la muestra y se aconseja enfriarla a una temperatura de 4°C, este método se realiza mediante una comparación visual de la muestra con un blanco (platino-cobalto), para la preparación del blanco se necesita diluir 1.24 g de cloroplatinato de potasio, 1 g de cloruro de cobalto cristalizado, 100 ml de ácido clorhídrico concentrado hasta llevar la mezcla a 1000 ml con agua destilada, este blanco tendrá un color de 500 unidades (espectrofotometría), una vez se tiene el blanco listo, se traslada la muestra a un tubo Nessler y se obtiene el resultado mediante comparación visual.

✓ **Olor.** Esta prueba se rige por los parámetros estipulados en la NTC 4770, la cual la basa en el método de umbral de olor y se consigue al diluir una muestra con agua libre de olor (agua destilada a través de carbón activado) en la muestra de agua a estudiar, hasta lograr un olor poco perceptible, también se trabaja con un grupo de personas seleccionado, estos serán los receptores finales del olor que presenta el agua a estudiar; se recomienda que la muestra a estudiar presente una temperatura aproximada de 60°C, esto con el fin de facilitar el proceso de recepción de olor, las personas seleccionadas para realizar el ensayo de determinación de olor son instruidas para describir los olores presentes y se realiza un consenso con cada dato obtenido por el grupo de personas para lograr la medición del umbral de olor el cual se da en TON y se representa en la siguiente ecuación:

Ecuación 12. Medición del umbral

$$TON = A + B/A$$

Donde A representa los ml de muestra y B los ml de agua libre de olor.

✓ **Sustancias flotantes.** Esta prueba se realiza mediante observación y en general los resultados de la muestra no presenta sustancias flotantes.

3.2.3.2 Estudio físico. En esta sección se realizan pruebas de pH, temperatura, sólidos disueltos totales, y sólidos totales, todas estas pruebas regidas por las SM (métodos estándar).

- ✓ **pH.** Para realizar esta prueba se sigue el procedimiento estipulado en la SM 4500 –H+B, en donde es necesario el uso de un potenciómetro y en primer lugar este equipo debe ser calibrado según especificaciones del fabricante, después se debe introducir la sonda de lectura del potenciómetro en la muestra y se debe registrar el dato final de pH, esta muestra debe estar a una temperatura ambiente.
- ✓ **Temperatura.** Para realizar esta prueba regida por la SM 2550 B, se hace uso de un termómetro que posea una resolución mínima de 0,1 °C, se introduce la sonda de este equipo en la muestra y se registra el dato final.
- ✓ **Sólidos disueltos totales.** Esta prueba se rige por el método SM 2540 C y se utiliza un filtro de fibra de vidrio estándar (Imagen 22) por donde se hace pasar una muestra, el filtrado ubica en un vidrio de reloj seco y pesado anteriormente, y se seca a una temperatura constante de aproximadamente 180 °C en un horno de secado, al registrar el nuevo peso del vidrio de reloj se obtiene un incremento de su valor inicial, este incremento representa el valor de los sólidos totales disueltos

Imagen 17. Filtro de fibra de vidrio estándar



Fuente. Compañía Hach

- ✓ **Sólidos totales.** Esta prueba sigue el método estipulado en la SM 2540 B, inicialmente se evapora una muestra en un vidrio de reloj pesado anteriormente, se seca la muestra en un horno en un intervalo de temperatura de 103 a 105°C, se retira el vidrio reloj del horno y se pesa nuevamente, el incremento en el valor del peso de este representa el valor de los sólidos totales.

3.2.3.3 Estudio químico. A continuación, se describen las pruebas realizadas para el estudio químico del agua en donde se obtienen datos de alcalinidad, cloruros, nitratos, sulfatos y dureza total, todas las pruebas regidas por los métodos estandarizados de examinación del agua y aguas residuales (SM).

✓ **Alcalinidad.** Esta prueba se rige por el método SM 2320 B de la asociación americana de la salud pública, que determina la capacidad del agua para la neutralización de los ácidos, la alcalinidad se halla sumando las bases que son tratadas en la prueba, esta es importante debido a que es función directa a los contenidos de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos.

Para la prueba se especifican dos métodos de obtención de alcalinidad, el método potenciométrico y el método volumétrico o de cambio de color. El primer método se realiza utilizando un pH-metro el cual debe ser calibrado, después de hacer la preparación de la muestra de agua en donde se agregan 50 ml a un beaker y se introduce el electrodo en el recipiente teniendo en cuenta de no tocar paredes, una vez obtenido el valor de pH si es menor a 8,3 se registra como 0 ml de titulación al contrario si el pH presentado es mayor a 8,3 se hace una titulación con la solución titulante H_2SO_4 0,02 N sobre el beaker que contenga la muestra con los 50 ml y un indicador mixto verde de bromocresol, se hace la respectiva titulación y se registra los ml utilizados en la titulación cuando la solución torne a un color amarillo para poder utilizar la siguiente ecuación.

Ecuación 13. Alcalinidad total con ácido titulante

$$\text{Alcalinidad total, } mg \text{ CaCO}_3 / L = \frac{A * N * 50000}{mL \text{ muestra}}$$

Donde A representa los ml de ácido estándar utilizados y N la normalidad del ácido estándar.

El segundo método por cambio de color se hace en un beaker con 50 ml de la muestra de agua, a la cual se agregan 5 gotas de indicador fenolftaleína y se hace el mismo procedimiento de titulación con el ácido escogido hasta que el color cambie de rosado a incoloro. Al finalizar la titulación se toma un registro del volumen de ácido utilizado para luego obtener la alcalinidad total por medio de la ecuación anterior.

Cuadro 20. Punto final pH a tener en cuenta en la prueba.

Condición del análisis	Punto final Alcalinidad total
Alcalinidad	
mg CaCO ₃ /L	
30	4,9
150	4,6
500	4,3
Silicatos, Fosfatos conocidos o sospecha.	4,5
Análisis de rutina o automatizados	4,5
Residuos industriales o sistema complejo	4,5

Fuente. MUÑOZ, Natalia Bautista. Implementación y estandarización del método 2320B SM Ed. 22/2012 para la determinación de alcalinidad total en agua en el laboratorio de control de calidad del agua de la empresa de acueducto y alcantarillado de Pereira SA ESP. Tesis Doctoral. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías. Química Industrial

✓ **Cloruros.** Esta prueba se rige por el método S.M. 4500 Cl- B en donde los cloruros tienden a liberar iones libres de yodo de la molécula (KI) para soluciones con un pH de 8 o menos, se hace una titulación con solución estándar de tiosulfato de sodio Na₂S₂O₃ junto con almidón como indicador.

Para el procedimiento de esta prueba, se inicia con la preparación de la muestra y reactivos de la siguiente manera, el volumen de la muestra a utilizar es de 500 ml, 20 ml de 0,01 N Na₂S₂O₃ y un poco menos de 0,2 ml de almidón, paso siguiente previo a la titulación la muestra debe ser tratada con 5 ml de ácido acético con el fin de reducir el pH a 3-4 y adicionando 1 g de KI a la mezcla.

Al momento de titular se adiciona 1 ml de almidón y se tiene en cuenta el volumen de la sustancia tituladora utilizado para pasar de color amarillo liberado por los iones yodo a color azul. Se recomienda en la norma hacer un blanco con el fin de corregir los resultados obtenidos en la anterior titulación, para este caso es de

gran importancia utilizar agua destilada. Para obtener los mg de cloro presentes en el agua se tiene en cuenta la siguiente ecuación.

Ecuación 14. Cálculo en ml y Litros de Cloro

$$mg\ Cl\ en\ \frac{Cl_2}{mL} = \frac{(A \pm B) \times N \times 35,45}{mL\ (de\ la\ muestra)}$$

Donde A se define como los mililitros de titulación para la muestra, B como los ml de titulación para el blanco y N como la normalidad de $Na_2S_2O_3$.

✓ **Dureza total.** Esta prueba se realiza bajo los parámetros estipulados en la norma S.M. 2340 C, llamado el método titrimétrico EDTA, aquí, el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) combinado con soluciones de ciertos cationes metálicos forman un complejo de quelato soluble, en donde sí se añade EDTA como solución titulante a una muestra de agua que contiene calcio o magnesio pasara de color rojo vino a un color azul marcando de esta manera el punto final de titulación.

Para el procedimiento de la prueba se toman 15 ml de EDTA solución titulante, 25 ml de muestra del agua que debe ser diluida hasta 50 ml con agua destilada y 1 a 2 ml de solución amortiguadora para lograr un pH de 10. Luego con lo necesario se prepara la mezcla diluida y se agrega 1 o 2 gotas de indicador para proceder a titular lentamente hasta que el tinte rojizo desaparezca, y así, llegar al punto final de la titulación en donde aparece un tinte azul en la muestra, se debe tener en cuenta el volumen de EDTA utilizado en la titulación, ya que con este dato se puede utilizar la siguiente ecuación y encontrar la dureza como mg de $CaCO_3$.

Ecuación 15. Dureza en mg/L de $CaCO_3$

$$Dureza\ total\ (EDTA)\ en\ mg\ \frac{CaCO_3}{L} = \frac{A \times B \times 100}{mL\ de\ la\ muestra}$$

Donde A se define como los mililitros de la muestra y B como los mg de $CaCO_3$ equivalentes a 1.00 ml de la solución tituladora EDTA.

✓ **Nitratos.** Esta prueba se hace por el método especificado en la norma S.M. 4500 NO₃ B, llamado el método de espectrofotometría ultravioleta que usa como principio muestras de selección que contengan un bajo nivel de material orgánico para poder utilizar la curva de calibración de NO₃ siguiendo la ley de Beer, puesto que al medir la absorción UV a 220 nm se puede determinar la concentración de nitratos presentes en una muestra de agua. Para realizar la prueba de ensayo se necesita en un espectrofotómetro que tenga un rango de 220 nm a 275 nm el cual debe estar debidamente calibrado, paso siguiente se debe preparar previamente la muestra de agua, en donde se utilizará 50 ml de muestra de agua adicionando 1 ml de HCl, finalmente se hace la lectura en el espectrofotómetro de un blanco con agua destilada y usando la longitud de onda recomendada de 220 nm se hace lectura de la muestra en diferentes diluciones. De tal manera de poder obtener una curva estándar.

✓ **Sulfatos.** Esta prueba se hace por el método especificado en la norma S.M. 4500 SO₄, llamado el método turbidimétrico, el cual está bajo el principio de que los iones de sulfato son precipitados en presencia de cloruro de bario (BaCl₂) para formar en suspensión BaSO₄, la cual es medida por un fotómetro y el precipitado de SO₄²⁻ es medido por medio de una comparación en la curva estándar. Para realizar la prueba se debe preparar los 100 ml muestra de agua adicionándoles 20 ml solución buffer o amortiguadora y una cucharada de cristales de BaCl₂ manteniendo una agitación constante por 1 minuto, luego se introduce la célula de absorción del fotómetro en la muestra ya agitada para así medir la turbidez por 30 segundos. Finalmente, la curva estándar se realiza teniendo en cuenta un blanco de corrección de turbidez y se hallan los mg de sulfatos presentes en el agua con la siguiente ecuación.

Ecuación 16. Sulfatos en mg/L

$$mg\ SO_4^{2-} / L = \frac{mg\ SO_4^{2-} * 1000}{mL\ blanco}$$

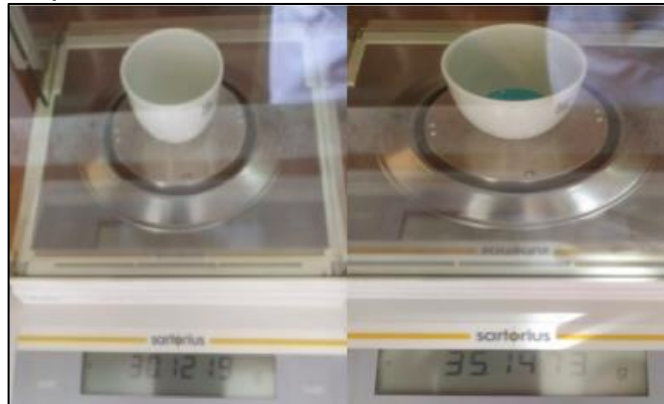
3.2.4 Aditivos. A continuación, se describen las pruebas realizadas sobre los aditivos, tales como: porcentaje de sólidos, viscosidad, densidad y color, con la finalidad de establecer las características de los aditivos a utilizar.

También se anexan las hojas técnicas de cada aditivo (anexos del 3-10), en donde se describen los usos, las ventajas, el modo de empleo, entre otros, los cuales serán datos de importancia para el desarrollo del presente proyecto.

3.2.4.1 Porcentaje de sólidos totales. Para determinar el porcentaje de sólidos de cada una de las muestras de aditivos se toma una cápsula de porcelana y se lleva al horno por un tiempo aproximado de una hora y media, a una temperatura de 550°C, para tener una cápsula completamente seca y vacía, una vez se extrae la cápsula del horno se lleva a un desecador para dejarla enfriar y se procede a pesarla con ayuda de una balanza analítica para registrar datos iniciales (Imagen 18).

Seguido a esto se agrega una cantidad aproximada de 25 ml de muestra a la cápsula y se vuelve a pesar para registrar nuevos datos, como se muestra en la siguiente imagen.

Imagen 18. Peso cápsula vacía y peso cápsula con muestra.



Fuente elaboración propia.

Posteriormente se lleva la cápsula con muestra al horno y se deja evaporar la muestra hasta casi sequedad a una temperatura aproximada de 300°C, a continuación, se muestran las cápsulas en imagen 19 (izquierda).

Imagen 19. Cápsulas con muestra en horno.



Fuente elaboración propia.

Una vez que se tienen las capsulas con las muestras evaporadas o secas, se extraen del horno y se trasladan al desecador donde se enfriará la cápsula evitando la rehidratación de la muestra, imagen 24 (derecha). Finalmente se lleva la cápsula fría a la balanza analítica para registrar los datos finales, este peso final corresponde al peso de la cápsula más el peso de los sólidos contenidos en la muestra y se determina el porcentaje de sólidos totales con la ecuación 17.

Ecuación 17. Determinación porcentaje de sólidos.

$$STT = \left(\frac{W_2 - W_1}{Vol.} \right) * 100\%$$

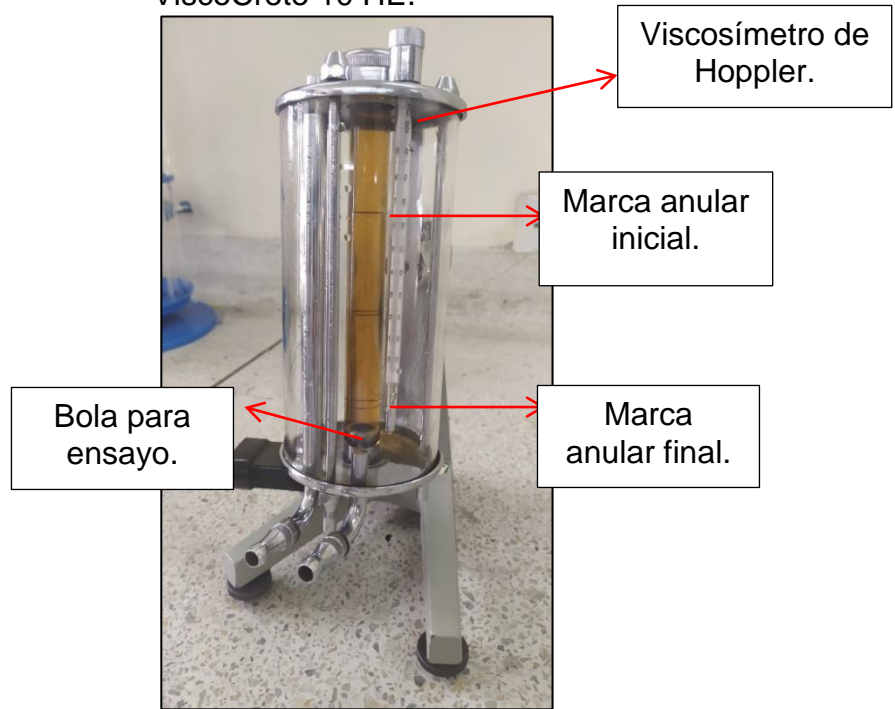
Donde W2 representa el peso final de la cápsula con muestra evaporada, W1 el peso de la cápsula vacía y Vol. El volumen de muestra utilizado en el procedimiento.

3.2.4.2 Viscosidad. Para la determinación de la viscosidad de los aditivos se hizo uso del viscosímetro de Hoppler o de caída de bola, el cual cuenta con dos tubos concéntricos uno de mayor diámetro que el otro, el tubo que presenta menor diámetro cuenta con dos marcas anulares, la de inicio y fin de la prueba, además, contendrá la muestra y por este pasará la bola o esfera que nos ayudará a registrar datos de tiempo. El tubo de mayor diámetro contendrá agua para brindar estabilidad térmica al sistema. Como primer paso se deposita la muestra a analizar en el tubo de menor diámetro, teniendo la precaución de que no se formen burbujas de aire dentro de este, seguido a esto se inserta la bola o esfera en el tubo y se cierra la tapa del viscosímetro, una vez cerrada la tapa, se gira el viscosímetro y se registra el dato del tiempo en que la bola demora en pasar por la marca anular inicial y final, y finalmente se hace uso de la ecuación 18 y 19 basados en la ley de Stokes para determinar los valores de viscosidad de las muestras.

Ecuación 18. Determinación viscosidad

$$\mu = \frac{g}{18} * \frac{D^2}{v} (\rho_s - \rho)$$

Imagen 20. Viscosidad Sika ViscoCrete 10 HE.



Fuente elaboración propia.

Ecuación 19. Determinación velocidad de caída.

$$v = \frac{x}{t}$$

Donde μ se define como la viscosidad, g como la gravedad, D el diámetro de la esfera, v la velocidad de caída de la esfera (ecuación 18), ρ_s es la densidad de la esfera, ρ_f la densidad del fluido, x la distancia recorrida y t el tiempo en que la esfera demora en pasar por las dos marcas anulares.

3.2.4.3 Densidad. Para la determinación de las densidades de las muestras de los aditivos se realiza el método del picnómetro, como primer paso se toma el picnómetro vacío y seco y se pesa en una balanza analítica con el fin de registrar datos iniciales.

Seguido a esto se llena el picnómetro con la solución estándar de referencia (solución glicerol – agua 50:50), (Imagen 21), y se registra el dato del peso del picnómetro lleno.

Imagen 21. Picnómetro vacío y con solución estándar de referencia.



Fuente elaboración propia.

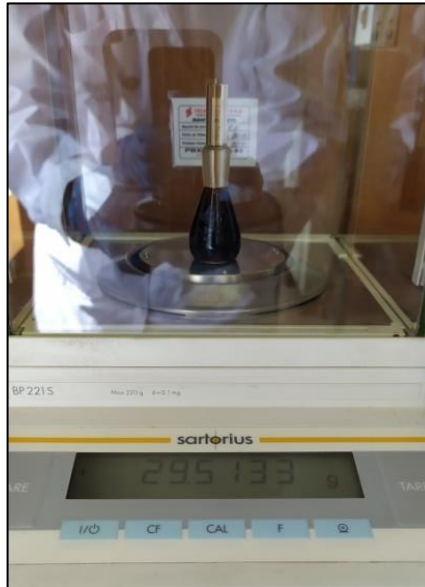
Posteriormente se llena el picnómetro con la muestra a analizar (Imagen 22), evitando que queden burbujas en su interior, y se vuelve a determinar el peso para registrar datos finales (imagen 23).

Imagen 22. Picnómetro con muestra (Sika ViscoCrete 10 HE-Sikaplast MO-SikaSet NC).



Fuente elaboración propia.

Imagen 23. Peso picnómetro con muestra.



Fuente elaboración propia.

Finalmente, una vez se tiene registro de todos los datos necesarios, se hace uso de las ecuaciones 20 y 21, con el fin de obtener valor de densidad de las muestras a analizar.

Ecuación 20. Determinación densidad.

$$\rho = \frac{MASA_{muestra}}{Volumen\ picnómetro} = \frac{MASA_{picnómetro+muestra} - MASA_{picnómetro\ vacío}}{Volumen\ picnómetro}$$

Ecuación 21. Determinación volumen picnómetro.

$$V = \frac{MASA_{sln.\ estándar\ de\ referencia}}{\rho_{sln.\ estándar\ de\ referencia}} = \frac{MASA_{picnómetro+sln.estándar} - MASA_{picnómetro\ vacío}}{\rho_{sln.\ estándar\ de\ referencia}}$$

Donde P es la densidad de la muestra y Psln. Estándar de referenciar es la densidad de la solución de referencia.

3.3 PRUEBAS DE DESEMPEÑO AL MORTERO

Las pruebas que se realizan a los morteros son pruebas de resistencia a la compresión y absorción de la mezcla las cuales se realizan en el laboratorio provisto por la empresa donde se desarrolla el proyecto, calorimetría, esta prueba

se realiza para morteros con la mezcla convencional, morteros que en su mezcla presenten un aditivo plastificante, morteros que presenten un aditivo acelerante y morteros que presenten la mezcla de estos dos aditivos, llevada a cabo en un laboratorio externo.

3.3.1 Resistencia a la compresión. Esta prueba se realiza en el laboratorio de la empresa, aquí se hace uso de la maquina universal y de probetas de morteros que se tenían previamente preparadas en moldes de dimensiones de 3 cm de diámetro por 6 cm de altura, inicialmente se calibra la maquina universal (imagen 36) con los datos necesarios para ejercer la prueba, se toma la probeta que se debe encontrar sumergida en agua y cal para favorecer su proceso de curado y se ubica en el molde de la maquina universal, se tiene especial cuidado en la velocidad con que se está trabajando para realizar esta prueba y se ejecuta hasta que la probeta presente una falla, en ese momento se registran los datos de presión en PSI y se observa el tipo de fractura que obtuvo la probeta para realizar el registro de datos.

Teniendo en cuenta que la empresa SDI no cuenta con un volumen alto de moldes disponibles para realizar pruebas de resistencia la compresión y ensayo de absorción (en total 6 moldes), en conjunto con la alta gerencia se definió que los moldes a utilizar serían destinados a evaluar resultados únicamente a los 14 y 28 días; ya que en general estas pruebas evalúan resultados a los 3, 7, 14 y 28 días.

Esta disponibilidad de 6 moldes únicamente se debe a que SDI realiza de forma diaria sus pruebas de control de calidad sobre las probetas de cemento, lo cual hace necesario el uso de la mayoría de moldes disponibles para realizar estas pruebas, dejando a disposición del desarrollo de este proyecto de grado 6 moldes los cuales se distribuirán de forma que 3 moldes cuenten con 3 testigos para tener confiabilidad en datos.

Se realiza esta prueba para probetas de morteros con la mezcla convencional, mezcla con aditivo plastificante, mezcla con aditivo acelerante y mezcla con aditivo plastificante y acelerante, sin embargo, se debe tener en cuenta que al momento de realizar las pruebas de resistencia a la compresión en probetas con presencia de aditivos se decide realizar el ensayo con tres dosificaciones generales de cada aditivo (1 %, 1,25% y 1,5% de aditivo con respecto al peso del cemento en la mezcla), con el fin de lograr una comparación de resultados de resistencia a la compresión entre las tres dosificaciones aplicadas a cada aditivo para establecer el mejor valor de dosificación utilizado, todo esto debido a que en las especificaciones plasmadas en las fichas técnicas de los aditivos (anexos 3 a 9) con respecto a datos de dosificación se estipula que en el caso del aditivo de referencia SikaPlast MO (plastificante) se debe agregar el aditivo en un rango del 0,5 – 2% del peso del cemento, para el caso del Sika ViscoCrete 10 HE (plastificante-acelerante) se debe agregar en un rango del 0,3 – 1,5% del peso del

cemento y finalmente para el caso del SikaSet NC (acelerante) se debe agregar en un rango del 1 – 4% del peso del cemento, es por esto que se toman los tres valores de dosificación (1%, 1,25% y 1,5%) teniendo en cuenta que estos valores se encuentren dentro de los rangos permitidos de los aditivos. A continuación, se presenta la tabla donde se resume lo explicado anteriormente (% de aditivo y tiempo) y otra tabla de la cantidad de cada componente de la mezcla y la cantidad necesaria de aditivo para la realización de esta prueba en probetas con presencia de aditivo.

Cuadro 21. % de aditivo
Vs. días de toma de datos.

% Aditivo	Días
1%	14
	28
1,25%	14
	28
1,5%	14
	28

Fuente elaboración propia.

Cuadro 22. Datos mezcla para la elaboración de probetas con aditivo.

Mezcla elaboración probetas con aditivo				
cemento (kg)	Agua (ml)	Arena (kg)	% aditivo	Cantidad aditivo (ml)
3	840	6,8	1	30
			1,25	37,5
			1,5	45

Fuente elaboración propia.

Imagen 24. Maquina universal.



Fuente elaboración propia.

3.3.2 Ensayo de absorción de la mezcla. Esta prueba se realiza diariamente a un tubo seleccionado al azar que posea el revestimiento exterior de mortero de cemento, la finalidad de esta prueba es determinar la cantidad de agua que posee la mezcla del mortero y así mismo determinar la cantidad de agua que absorbe, una vez seleccionado el tubo, se da inicio al primer paso de la prueba. Para la realización de la prueba se recolecta la muestra en unos moldes de dimensiones de 6cm x 6 cm (en total 6 panelas), estas panelas se dejan secar hasta el momento en que se dejen extraer del molde con facilidad y pasan a ser sumergidas en agua hasta el día de la realización de la prueba (7, 14 y 28 días según criterio de SDI), al pasar de los días se sacan dos panelas para cada día de realización de la prueba y se pasan al horno por un tiempo de 24 horas, al finalizar este tiempo, las panelas se extraen del horno y se pesan con ayuda de una báscula, este valor obtenido se conoce como peso no saturado, luego se llevan las panelas recién pesadas a una olla metálica en donde serán sumergidas nuevamente en agua, aquí se inicia con un proceso de calentamiento del agua hasta llegar a su punto de ebullición, en esta estación las panelas duraran un tiempo aproximado de cinco horas, pasado el tiempo se inicia con el proceso de tiempo de reposo y enfriamiento, luego se extraerán las panelas, se secaran con ayuda de una toalla absorbente y se registrara su nuevo peso, el cual se define como peso saturado, y teniendo estos dos valores (peso no saturado y peso saturado) se realiza el cálculo de porcentaje de absorción mediante la diferencia de estos dos pesos.

Imagen 25. Ensayo de Absorción en panelas SDI



Fuente elaboración propia.

Ecuación 22. Formula de Absorción de agua del concreto

$$\%Absorción = \frac{Masa_{Húmeda} - Masa_{seca}}{Masa_{seca}} \times 100$$

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En esta sección se presentan los resultados de las pruebas realizadas para la elaboración del este proyecto y se elabora un análisis de cada uno de los resultados de las pruebas descritas anteriormente.

4.1 CEMENTO

Las pruebas realizadas para caracterización del cemento son realizadas por el proveedor Holcim Colombia S.A, los ensayos de laboratorio se rigen por las NTC descritas anteriormente y se realizan las pruebas al cemento tipo ART cada 3, 7 y 28 días, así mismo, estos informes se envían a la empresa donde se desarrolla el proyecto, con el fin de brindar información completa sobre el material de trabajo, de igual forma Holcim Colombia S.A brinda información con respecto a la composición química del cemento con que se trabaja. A continuación, se muestran los resultados de las pruebas realizadas a los 3, 7 y 28 días y la composición química del cemento tipo ART.

Tabla 1.. Informe de resultados de pruebas al cemento a los 3 días.

Ensayos Fisicos			
Ensayo	Unidad	Resultado	Especificación NTC 121_2014
Blaine	m ² /kg	500	N.A.
Densidad	g/cm ³	3.10	N.A.
Finura 45 µm	%	1.4	N.A.
Fraguado inicial - Vicat	minutos	130	45 - 420
Fraguado final - Vicat	minutos	205	N.A.
Consistencia Normal	%	25.0	N.A.
Resistencia 1 día	MPa	12.9	≥ 11
Resistencia 3 días	MPa	29.1	≥ 22
Resistencia 7 días	MPa	N/D	N.A.
Resistencia 28 días	MPa	N/D	N.A.
A/C	% masa cemento	49.3	N.A.
Contenido de aire	%	N/D	≤ 12
Expansión Autoclave	%	N/D	≤ 0.80
Expansión barras mortero	%	N/D	≤ 0.020

Fuente Holcim Colombia S.A.

Tabla 2.. Informe de resultados de pruebas al cemento a los 7 días.

Ensayos Fisicos			
Ensayo	Unidad	Resultado	Especificación NTC 121_2014
Blaine	m ² /kg	530	N.A.
Densidad	g/cm ³	3.04	N.A.
Finura 45 µm	%	1.5	N.A.
Fraguado inicial - Vicat	minutos	115	45 - 420
Fraguado final - Vicat	minutos	190	N.A.
Consistencia Normal	%	26.0	N.A.
Resistencia 1 día	MPa	12.7	≥ 11
Resistencia 3 días	MPa	27.7	≥ 22
Resistencia 7 días	MPa	34.8	N.A.
Resistencia 28 días	MPa	N/D	N.A.
A/C	% masa cemento	50.0	N.A.
Contenido de aire	%	N/D	≤ 12
Expansión Autoclave	%	N/D	≤ 0.80
Expansión barras mortero	%	N/D	≤ 0.020

Fuente Holcim Colombia S.A.

Tabla 3. Informe de resultados de pruebas al cemento a los 28 días.

Ensayos Fisicos			
Ensayo	Unidad	Resultado	Especificación NTC 121_2014
Blaine	m ² /kg	530	N.A.
Densidad	g/cm ³	3.04	N.A.
Finura 45 µm	%	1.5	N.A.
Fraguado inicial - Vicat	minutos	115	45 - 420
Fraguado final - Vicat	minutos	190	N.A.
Consistencia Normal	%	26.0	N.A.
Resistencia 1 día	MPa	12.7	≥ 11
Resistencia 3 días	MPa	27.7	≥ 22
Resistencia 7 días	MPa	36.0	N.A.
Resistencia 28 días	MPa	44.4	N.A.
A/C	% masa cemento	50.0	N.A.
Contenido de aire	%	2.0	≤ 12
Expansión Autoclave	%	-0.23	≤ 0.80
Expansión barras mortero	%	N/D	≤ 0.020

Fuente. Holcim Colombia S.A.

Tabla 4. Composición química del cemento tipo ART

Composición química	
Oxido	%
SiO ₂ (%)	23.5
Al ₂ O ₃ (%)	5.0
Fe ₂ O ₃ (%)	3.28
CaO (%)	60.0
MgO (%)	0.8
SO ₃ (%)	2.32
P.I. (%)	3.7
Na ₂ O (%)	0.09
K ₂ O (%)	0.82
TiO ₂ (%)	0.29
P ₂ O ₅ (%)	0.35
Mn ₂ O ₃ (%)	0.06
Cl (%)	0.000
Suma	100.2

Fuente. Holcim Colombia S.A.

4.1.1 Finura del cemento (Blaine y 45 μm). Al determinar la finura mediante el aparato de Blaine el resultado obtenido se da en términos de área específica (m^2/kg), lo que nos indica la porción de superficie que un kilogramo de partículas de cemento puede cubrir, por tanto, entre mayor sea el valor obtenido mayor será la finura del cemento.

Este valor de finura se ve directamente relacionado con propiedades del cemento tales como la velocidad de hidratación y el desarrollo de la resistencia a la compresión, es decir, entre mayor sea el valor de finura obtenido en el cemento, éste presentara una velocidad de hidratación temprana y un aumento en el porcentaje del desarrollo a la resistencia que en general se refleja durante los primeros siete días.

Al observar los datos obtenidos de la finura mediante el método Blaine de las pruebas realizadas a los 3, 7 y 28 días, se observa que a partir de la prueba realizada al día 7 y en adelante el valor de finura se mantiene constante y se observa un aumento progresivo al paso de estos días en la resistencia a la compresión por lo que se concluye que la finura del cemento con que se trabaja es alta, lo cual es conveniente para el desarrollo de este proyecto.

Así mismo mediante bibliografía se sabe que la mayoría de las partículas del cemento presentan un valor menor a 45 micras (aproximadamente el 85 al 95%), y al observar los resultados obtenidos de finura mediante el ensayo donde se utiliza el tamiz 45 μm se observa un valor constante a partir de la prueba realizada el día

7 (1.5%) y no se observa gran diferencia entre las pruebas del día 3 al día 7 por lo que se rectifica que la finura del cemento es alta⁶⁰.

4.1.2 Densidad. Mediante bibliografía se conoce que el valor de la densidad del cemento se aproxima a un rango entre 3,11 a 3,15 g/cm³, observando los resultados obtenidos de las pruebas, se observa que el valor más cercano al teórico es el obtenido en la prueba realizada el día 3 (3,1 g/cm³), sin embargo se observa que al paso de los días la densidad del cemento disminuye a un valor de 3,04 g/cm³ y se mantiene constante a partir del día 7, un valor bajo de densidad puede indicar: la presencia de adiciones en el cemento la cual no aplica porque al realizar estas pruebas al cemento aún no se le han agregado aditivos y en general la presencia de aditivos reduce el valor de densidad a aproximadamente 2,9 g/cm³ o sirve como indicador entre la relación volumen – masa del material, es decir, este valor bajo de densidad muestra que el volumen del cemento es mayor a una masa determinada⁶¹ y que al aumentar el volumen se mejoran propiedades tales como desarrollo de la resistencia y fluidez del cemento.

4.1.3 Tiempo de fraguado. Esta prueba hace referencia al cambio de estado del material, es decir, que tanto demora la pasta de cemento en pasar de un estado fresco a uno endurecido, en esta prueba se presentan dos resultados: fraguado inicial y fraguado final, se entiende por fraguado inicial como el lapso de tiempo desde que se agrega agua a la pasta de cemento por lo que esta reducirá gradualmente su fluidez, por ende pierde su viscosidad y al mismo tiempo se presenta un aumento en su temperatura; el fraguado final es el lapso de tiempo que transcurre hasta el momento en que la pasta no se permite deformar por otras cargas (en general cargas pequeñas), aquí la pasta llega a una temperatura máxima, presenta un estado endurecido y se inicia con el proceso de adquisición de resistencia. Al observar los resultados obtenidos se observa que el cemento presenta unos tiempos de fragüe iniciales y finales mayores durante los primeros 3 días (130 a 205 minutos) y a partir del día 7 los tiempos de fragüe disminuyen y permanecen constantes (115 a 190 minutos), es decir, los tiempos de fragüe inicial no deben ser rápidos⁶², al tener estos datos se logra saber con qué tiempo se cuenta para realizar operaciones de mezcla, transporte, vibración, entre otras, en obra.

⁶⁰Propiedades y Ensayos del Cemento. [En línea]. Disponible en <http://descom.jmc.utfsm.cl/proi/materiales/CEMENTO/CEMENTO.htm>

⁶¹EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL EFECTO DE ADITIVOS REDUCTORES, MANEJADORES Y SU MEZCLA EN MORTEROS (2018), Ana María Moreno Pachón, Universidad América.

⁶²Propiedades y Ensayos del Cemento. [En línea]. Disponible en <http://descom.jmc.utfsm.cl/proi/materiales/CEMENTO/CEMENTO.htm>

4.1.4 Expansión autoclave. El propósito de realizar esta prueba es la obtención de un dato confiable en el que se refleje que el cemento no será capaz de mostrar una expansión por la presencia en exceso de compuestos como magnesio, azufre o cal, ya que esto puede traer consecuencias tales como la desintegración o ruptura del concreto que se obtiene a partir de ese cemento. La presencia y formación de estos compuestos se debe al proceso de hidratación de compuestos como la cal libre (CaO) y la magnesia (MgO), al ser poco solubles se establecen en el interior del concreto lo que da paso a la formación de cristales y seguido a esto posibles rupturas⁶³, al realizar esta prueba se aumenta la acción de la cal libre presente en el cemento, y al observar un resultado igual a -%0,23, el cual se desarrolla únicamente a los 28 días, se concluye que el cemento con que se trabaja se encuentra bien calcinado y tiene un riesgo bajo de presentar cal libre, lo cual favorece al desarrollo del proyecto.

4.1.5 Consistencia Normal. La consistencia normal del cemento se realiza como una prueba de referencia para la realización de otras pruebas que son vitales del control de calidad del cemento por parte de la empresa HOLCIM COLOMBIA S.A. Pruebas como la resistencia a la tensión, tiempos de fraguado, entre otras.

Esta prueba tiene como propósito determinar la cantidad de agua necesaria para que una cierta masa de cemento obtenga una consistencia normal, prueba que es realizada según la normatividad colombiana NTC 121, bajo parámetros de la norma ASTM C187, en donde no se establece un rango mínimo ni máximo de consistencia, sin embargo, el cemento utilizado en la mezcla de concreto se encuentra con una consistencia por debajo de los cementos de empresas como Argos, Boyacá, Cemex, Tequendama, según estudios realizados en la universidad militar nueva granada⁶⁴. Lo que favorece el cemento de HOLCIM COLOMBIA S.A. debido a que se necesita menos cantidad de agua en el amasado manual para llegar a una manejabilidad deseada disminuyendo así la relación de A/C en comparación con otros cementos provenientes de diferentes empresas.

⁶³Determinación de la expansión en autoclave del cemento Portland. Universidad Centro Americana “José Simeón Cañas”. UCA. [En línea]. Disponible en <http://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoCemento/Determinacion%20de%20la%20expansion%20en%20autoclave%20del%20cemento.pdf>

⁶⁴CORTES GÓMEZ, Edwin Alberto, et al. Estudio comparativo de las características físico mecánicas de cuatro cementos comerciales portland tipo I. 2014.

4.1.6 Resistencia. En la tabla 5 se encuentran los resultados obtenidos en el informe entregado por parte de la empresa HOLCIM COLOMBIA S.A.; junto a ellos se encuentran los datos aportados por la normatividad colombiana NTC 121, la cual establece los límites mínimos de resistencia promedio del cemento a los días 3,7 y 28, observando así que el cemento Holcim cumple a cabalidad dicha normatividad. Además, es importante resaltar el desempeño de otros tipos de cementos con respecto al cemento a trabajar en este proyecto, ya que si se hace una comparación entre la graficas 12 y 13, se puede concluir que el cemento Holcim presenta un mejor comportamiento a edades tempranas, superando así el desempeño de los 4 tipos de cementos estudiados en bibliografía⁶⁵.

Tabla 5. Resultados resistencia promedio de cemento Holcim y NTC 121

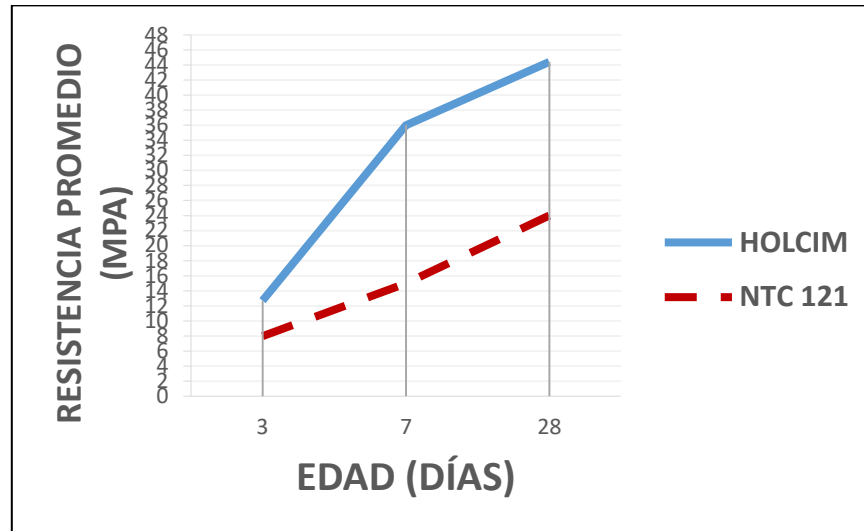
Edades	Resistencia Promedio (Mpa)	
días	Holcim	NTC 121
3	12,7	8
7	36	15
28	44,4	24

Fuente elaboración propia.

La alta resistencia que se desarrolla en edades tempranas por parte del cemento tipo Holcim está ligada directamente al alto grado de finura que este presenta, haciendo así un cemento con mejores propiedades de desempeño, lo cual será un beneficio extra para el desarrollo de este proyecto.

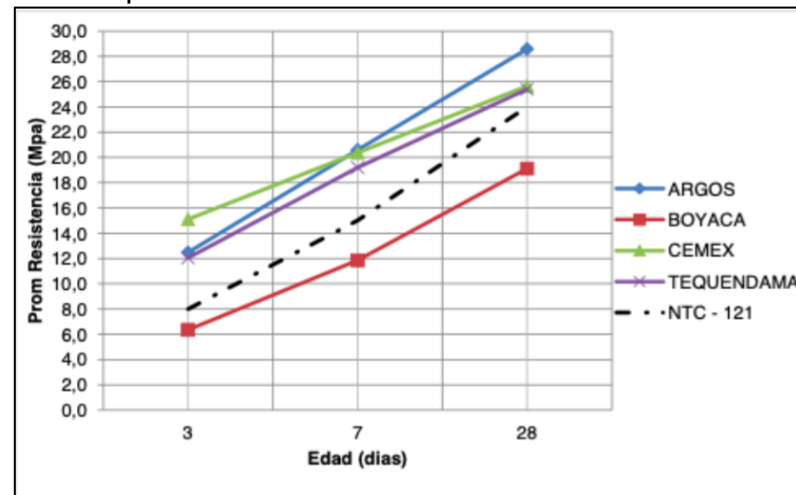
⁶⁵CORTES GÓMEZ, Edwin Alberto, et al. Estudio comparativo de las características físico mecánicas de cuatro cementos comerciales portland tipo I. 2014.

Grafica 12. Resistencia promedio de cemento Holcim y NTC 121



Fuente elaboración propia.

Grafica 13. Comparación de resistencias promedio de cuatro tipos de cemento



Fuente CORTES GÓMEZ, Edwin Alberto, et al. Estudio comparativo de las características físico mecánicas de cuatro cementos comerciales portland tipo I. 2014.

4.2 AGREGADOS

Los agregados utilizados en la mezcla de cemento en la empresa son de carácter fino, provienen del municipio Carmen de Carupa (Cundinamarca) y son suministrados por Blajoma, para caracterizarlos se realizan pruebas de densidad y absorción, y granulometría. Esta última se realiza en el laboratorio provisto por la empresa donde se desarrolla el proyecto.

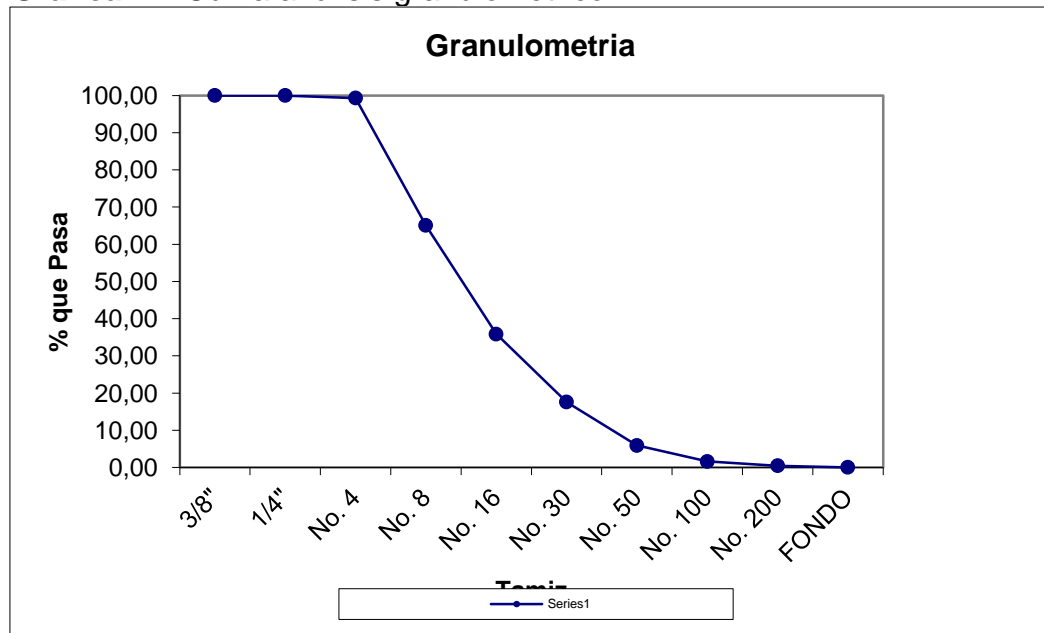
4.2.1 Granulometría. Se obtienen los siguientes datos y la curva del análisis granulométrico.

Tabla 6. Análisis granulométrico de agregados

Tamiz	Peso Ret. (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que Pasa	Especificaciones (%)
3/8"	0,0	0,00	0,00	100,00	100
1/4"	0,0	0,00	0,00	100,00	100
No. 4	3,0	0,68	0,68	99,32	95 a 100
No. 8	150,0	34,25	34,93	65,07	80 a 100
No. 16	128,0	29,22	64,16	35,84	50 a 85
No. 30	80,0	18,26	82,42	17,58	25 a 60
No. 50	51,0	11,64	94,06	5,94	10 a 30
No. 100	19,0	4,34	98,40	1,60	2 a 10
No. 200	5,0	1,14	99,54	0,46	0 a 5
FONDO	2,0	0,46	100,00	0,00	0 a 5
Total:	438,0	100,0	Materia Orgánica (0 - 3) :		3
Módulo de Finura:	3,75	En 500 de Arena 50 de Arcilla			

Fuente Soluciones en Diseño e Ingeniería S.A.S

Grafica 14. Curva análisis granulométrico



Fuente Soluciones en Diseño e Ingeniería S.A.S

Ecuación 23. Módulo de finura

$$MF = \frac{\Sigma \%retenido\ acumulado}{100}$$

Al estudiar los resultados obtenidos en el análisis granulométrico se observa que se obtiene un módulo de finura de 3,75, este valor se obtiene con ayuda de la ecuación 23, y por parámetros estipulados por la empresa se trabaja con un módulo de finura igual o cercano a 3,5; por bibliografía se sabe que un agregado fino es aquel capaz de pasar por el tamiz No. 4⁶⁶ y los inferiores a él, es decir, al estudiar los resultados del análisis granulométrico se observa que a partir del tamiz No. 4 se empiezan a obtener valores de peso retenido lo que nos indica que el agregado con que se está trabajando es capaz de pasar por este y los tamices inferiores y nos lleva a concluir que el agregado con que se trabaja es de tipo fino, lo cual favorece al desarrollo de la resistencia en los morteros. Al momento de observar la curva del análisis granulométrico se observa que la serie 1 (curva azul) es el resultado del ensayo realizado, y se rectifica lo anteriormente descrito.

4.2.2 Densidad y absorción. La absorción de un agregado se define como la cantidad de agua que ingresa en los capilares o poros del agregado, que ha estado sometido a un tiempo aproximado de 24 horas de remojo, el efecto de la distribución del agua sobre una partícula de agregado se aprecia en la imagen 33.

La absorción se calcula en base a la masa del agregado que se seca en horno, con la siguiente ecuación:

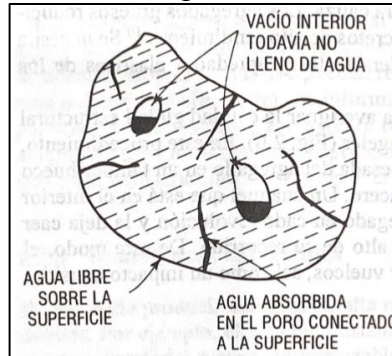
Ecuación 24. Porcentaje de absorción

$$Absorción \% = \frac{B - A}{A} * 100$$

Donde A se define como el peso en gramos de la muestra secada al horno y B como el peso en gramos de la muestra saturada-seca en la superficie.

⁶⁶DE CONCRETO, ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PRODUCTORES. ASOCRETO. Tecnología y Propiedades Colección básica del concreto, 2006, vol. 1. p. 37.

Imagen 26. Partícula de agregado húmedo con distribución externa e interna del agua.



Fuente. WADDELL, Joseph J.; DOBROWOLSKI, Joseph A. Manual de la Construcción con Concreto, Vol. 1, parte I.

La densidad de un material se define, como la masa por unidad de volumen de un material, expresada en kg/m^3 (lb/pe^3)⁶⁷. Al estudiar la densidad de los agregados se debe tener en cuenta que depende del estado (condición) en que la masa de muestra se encuentra, es así, como se obtienen dos condiciones de muestra principalmente: agregados saturados superficialmente secos (SSS), los cuales se definen como aquellos que presentan sus poros o capilares internos llenos de agua (debido a un proceso de remojo por un tiempo prolongado), pero sin presencia de agua en la superficie de las partículas y los agregados secados al horno (SH), en esta condición la muestra es llevada a un proceso de secado en horno (115°C) por tiempo prolongado hasta lograr un valor de masa constante en la muestra.

La norma NTC 237 permite la determinación de la densidad aparente (g/cm^3), densidad sss (g/cm^3) y densidad nominal (g/cm^3) las cuales se definen como:

- Densidad aparente: relación entre masa de la muestra por la unidad de volumen, acá se incluyen los poros saturables y no saturables.
- Densidad sss: relación entre la masa de agregado saturado superficialmente seco por unidad de volumen de las partículas de agregado, incluyendo el

⁶⁷DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO. Universidad Centroamericana “José Simeón cañas”, UCA. p. 4.

volumen de vacíos impermeables y poros llenos de agua dentro de las partículas, pero no incluye los poros entre las partículas⁶⁸.

- Densidad nominal: La densidad nominal se define como la relación que existe entre el peso de la masa del material y el volumen que ocupan las partículas de ese material incluidos los poros no saturables⁶⁹.

Al realizar la prueba de determinación de % absorción, densidad aparente, densidad sss y densidad nominal del agregado fino utilizado en la mezcla se presentan los resultados en la siguiente tabla:

Tabla 7. Resultados % absorción y densidad del agregado fino.

Parámetro	Resultado
Absorción %	4,6
Densidad aparente (g/cm3)	2,29
Densidad sss (g/cm3)	2,39
Densidad nominal (g/cm3)	2,56

Fuente Laboratorios CONCRELAB

Al analizar los resultados y observar que el agregado fino utilizado en la mezcla presenta valores de densidad relativamente bajos y un porcentaje de absorción alto, se concluye que la mezcla implica un gasto de agua alto, esto con el fin de lograr una manejabilidad adecuada y por ende una mayor fluidez en la mezcla, este aspecto no afecta en cuanto aumento de costos en el proceso de producción de morteros de la empresa ya que el agua que se utiliza es de origen natural (aguas lluvia), sin embargo, si afecta el proceso de resistencia final del concreto, ya que se presenta una mayor hidratación del cemento; Al lograr un gasto menor en la cantidad de agua se obtendrá una disminución de conductos capilares y por ende un aumento en la resistencia a la compresión, es por esto que se hace necesario evaluar el uso de aditivos en la mezcla que favorezcan el desarrollo de la resistencia final del concreto.

4.3 AGUA

En la producción de morteros se utiliza agua de carácter natural (aguas lluvia), es por esto que se realiza un análisis fisicoquímico a una muestra, en donde se presentan resultados de un estudio físico, químico y características organolépticas

⁶⁸Ibid., pg.5.

⁶⁹Determinación de la densidad nominal y la densidad aparente para agregados. [En línea]. Disponible en <http://ingevil.blogspot.com/2008/10/determinacin-de-la-densidad-nominal-y.html>

de la muestra. Esta muestra es enviada a los laboratorios CONTECON URBAR, en donde se realiza el análisis con las pruebas ya descritas anteriormente y se envía el informe de resultados a la empresa donde se desarrolla el proyecto.

Tabla 8. Resultado análisis fisicoquímico del agua

Parámetro	Técnica	Metodología	Límite de detección	Resultado	
CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS					
Color	Comparación visual	S.M. 2120 B	.	2 UPC	
Olor	Organoléptico	NTC 4770	.	Aceptable	
Sustancias flotantes	Observación		.	Ausentes	
ESTUDIO FÍSICO					
pH	Potenciometría	S.M. 4500	1	5,25	
Temperatura	Termometría	S.M. 2550 B	.	20,60	°C
Sólidos disueltos totales	Gravimetría	S.M. 2540 C	.	100,00	mg/L
Sólidos totales	Gravimetría	S.M. 2540 B	.	33,00	mg/L
ESTUDIO QUÍMICO					
Alcalinidad	Volumetría	S.M. 2320 B	0,9	12,00	mg CaCO ₃ /L
Cloruros	Argentometría	S.M. 4500 Cl B	0,2	5,33	mg Cl/L
Dureza total	Volumetría	S.M. 2340 C	1	0,00	mg/L
Nitratos	Espectrofotometría	S.M. 4500 NO ₃ B	0,13	1,80	mg NO ₃ /L
Sulfatos	Espectrofotometría	S.M. 4500 SO ₄ B	4,9	0,06	mg SO ₄ /L

Fuente Laboratorios CONTECON URBAR

4.3.1 Características organolépticas. En esta sección se presentan resultados de las características organolépticas del agua tales como color, olor y sustancias flotantes.

4.3.1.1 Color. Comúnmente las aguas de tipo natural presentan color por la posible presencia de sustancias orgánicas o minerales. Es por esto que primero se realiza una filtración de la muestra a estudiar, y el resultado, como ya se explicó anteriormente, se obtiene por comparación visual entre la muestra y un blanco (cloruro de platino y cloruro de cobalto), en nuestro caso se obtiene un valor de 2 UPC (unidades de platino cobalto), este dato nos indica un valor bajo entre la suma de materia suspendida y disuelta en el agua, sabiendo que se establecen valores límites permisibles de color para el agua con un valor aproximado a 20 UPC.

4.3.1.2 Olor. Generalmente la presencia de olor en las aguas puede ser por consecuencia de la presencia de microorganismos, contaminantes, compuestos formados en procesos de tratamientos de aguas y descomposición de restos vegetales; por bibliografía se sabe que para que un agua presente un olor de estado aceptable u óptimo, esta debe presentar un rango de olor de 2 a 10 unidades⁷⁰, el cual se clasifica dentro del agua con que se está trabajando para el desarrollo de este proyecto ya que se presenta en la tabla de resultados un valor aceptable.

4.3.1.3 Sustancias flotantes. Al obtener un resultado de sustancias flotantes ausentes, este dato se vuelve irrelevante para el desarrollo del proyecto.

4.3.2 Estudio físico. A continuación, se presenta el análisis del estudio físico realizado a la muestra de agua, se brinda información de factores como pH, temperatura, sólidos disueltos totales y sólidos totales.

4.3.2.1 pH. Mediante bibliografía se conoce que el valor de pH adecuado para aguas se debe ubicar entre un rango de 6,5 a 8,5 (de neutra a un poco alcalina)⁷¹, sin embargo el resultado obtenido en el análisis físico-químico con ayuda de un potenciómetro muestra un valor de pH igual a 5,25, lo cual lleva a concluir que se está trabajando con un agua de tipo corrosivo y que esta será capaz de disolver iones metálicos (Fe, Mg, Cu, etc.). Este dato de pH bajo no es favorable para el desarrollo del presente proyecto ya que al trabajar en la mezcla de los morteros (que recubren las tuberías de acero) con un agua de tipo corrosivo se podrían generar problemas a la tubería.

⁷⁰Análisis físico- químico y bacteriológico de aguas. [En línea]. Disponible en <http://www.microinmuno.qb.fcen.uba.ar/SeminarioAguas.htm>

⁷¹Análisis físico- químico y bacteriológico de aguas. [En línea]. Disponible en <http://www.microinmuno.qb.fcen.uba.ar/SeminarioAguas.htm>

4.3.2.2 Temperatura. La temperatura del agua se ve afectada por la radiación solar, en este caso al utilizar un agua de origen natural (aguas lluvia) proveniente de una zona templada (El Rosal, Cundinamarca), se presentan variaciones constantes en la temperatura del ambiente (entre 11° a 22°), este factor afecta directamente la solubilidad del oxígeno en el agua, ya que a menor temperatura las moléculas del agua son capaces de unirse más y logran retener un porcentaje de oxígeno mayor. Al observar el resultado se presenta un valor igual a 20,6 °, lo cual se considera como un dato irrelevante para el desarrollo del proyecto, ya que no se está trabajando en un proceso de producción de concreto con temperatura controlada, si este fuera el caso se debería tener en cuenta factores como enfriar el agua y los agregados, controlar la humedad, entre otros.

4.3.2.3 Sólidos disueltos totales. La concentración de sólidos disueltos totales presentes en el agua son impurezas inorgánicas, las cuales son medidas según la normatividad americana ASTM D-1888⁷², presentando un rango de límite realmente alto, sin embargo, deben mantenerse en bajo niveles de mg/L debido a que pueden ocasionar un deterioro gradual al concreto, haciendo reducir su durabilidad. Por lo general, se encuentra en bibliografía que este parámetro no puede superar los 2000 ppm y de ser superado este límite se debe vigilar el posible efecto que tendrá sobre el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto⁷³.

4.3.2.4 Sólidos totales. La concentración de sólidos totales presentes en agua utilizada para la mezcla de concreto no debe exceder los 0,05 kg/L⁷⁴, límite establecido por la norma técnica colombiana para el agua de mezcla de concreto.

Este dato del límite de sólidos totales en el agua es comparado con la tabla 30 de resultados del análisis fisicoquímico, en donde se evidencia un resultado en mg/L el cual está muy por debajo del límite reglamentario según la NTC 3459.

4.3.3 Estudio químico. A continuación, se presenta el análisis del estudio químico realizado a la muestra de agua, se brinda información de factores como alcalinidad, cloruros, dureza total, nitratos y sulfatos.

⁷²VÉLEZ, Ligia M. Permeabilidad y porosidad en concreto. TecnoLógicas, 2010, p. 169-187.

⁷³RIVERA, Gerardo. Concreto simple. Universidad del Cauca-2013, 2013. P.78.

⁷⁴Norma Técnica Colombiana, NTC 3459.

4.3.3.1 Alcalinidad. La presencia de carbonatos de sodio y bicarbonatos de sodio en el agua es inminente debido a que se acumula agua lluvia, la cual en el proceso de transporte reacciona con piedras calizas. Esta presencia de carbonatos y bicarbonatos es de suma importancia y debe ser analizada ya que afectará directamente el tiempo de fraguado causando fraguados muy rápidos, además, la resistencia del concreto disminuirá si se tiene un alto contenido de estos componentes químicos en el agua⁷⁵.

Según la NTC 3459 determina que la suma de estos dos componentes químicos no debe exceder el límite de 1g/L, dato que se compara con la tabla 30, encontrándose por debajo del límite, sin embargo, cabe aclarar que en el estudio químico solo se considera un componente químico, el carbonato de calcio CaCO_3 .

4.3.3.2 Cloruros. La presencia de cloruros en el agua es un parámetro fundamental a determinar en este proyecto, debido a que se trabaja con tubería de acero recubierta de concreto que está expuesto a contaminación, por ende, es posible la presencia de un proceso de corrosión sobre las tuberías de acero lo cual representa problemas potenciales para el desarrollo del proyecto.

La cantidad de cloruros permitida y limitada en el concreto esta estandarizada por las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo resistentes (NSR-98)⁷⁶, estableciendo que no se debe exceder de 500 mg/L, dato que se compara con el resultado del análisis químico del agua en la tabla 30, encontrándose así muy por debajo del límite.

4.3.3.3 Dureza total. La dureza total del agua se considera como la suma de la presencia de los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} , la cual se debe tener en niveles extremadamente mínimos debido a que presenta depósitos sólidos en tuberías cuando esta agua se evapora, por ende, es de gran importancia no tener este tipo de característica en la mezcla de concreto. Observando la tabla 30 en el análisis químico no hay dureza total que reportar lo cual lo hace un agua adecuada para este propósito.

⁷⁵DÍAZ, González, et al. Programa para diseño de mezclas de concreto normal DM 1.0. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Departamento de Materiales, 2004.

⁷⁶Norma Técnica Colombiana, NTC 3459

4.3.3.4 Nitratos. La presencia de nitratos normalmente son los niveles de nitrógeno presentes en el agua. Como se sabe entre más sea potable el agua a utilizar en la mezcla de concreto tendrá mejor desempeño, por lo cual se evalúa con respecto a los límites establecidos del agua potable, los cuales determinan que no se debe exceder de 10 mg/L, dato que se compara con la tabla 30 de resultados del análisis fisicoquímico, encontrándose así un nivel muy bajo de nitratos en el agua haciendo que este en adecuadas condiciones para el uso en la mezcla de concreto.

4.3.3.5 Sulfatos. La presencia de sulfatos es normal en casi todas las aguas naturales debido a que el sulfato es uno de los principales componentes de la lluvia, en este caso el agua a analizar y a utilizar en la mezcla de concreto es agua recogida de tanques subterráneos que almacena agua lluvia, con el fin de minimizar costos por parte de la empresa SDI.

La NTC 3459 presenta un límite a no exceder de 1 gramo de SO_4/L , dato que se compara con la tabla 30, encontrándose por debajo del límite a no sobrepasar de sulfatos, sin embargo, se ha utilizado aguas que están arriba del límite sugerido sin tener alguna consecuencia, no obstante, es de suma importancia tener en cuenta la cantidad total de sulfatos que se encuentren en los agregados y en el cemento ya que este si puede ser un factor de importancia en el desempeño del concreto⁷⁷.

4.4 ADITIVOS

Para los aditivos utilizados en el desarrollo de este proyecto se realiza una caracterización en donde se incluyen pruebas como densidad, viscosidad, porcentaje de sólidos y color, esto, debido a que interfieren directamente sobre las propiedades en cada una de las fases por las que pasa el concreto, las cantidades se rigen según hojas técnicas que cada aditivo posee, las cuales son provistas por la empresa que distribuye los aditivos utilizados, en este caso SIKA COLOMBIA S.A.S.

Las referencias de aditivos utilizados en el proyecto deben ser previamente escogidas teniendo en cuenta la función que tiene el mortero como protección de tubería de acero, por lo cual es de gran importancia trabajar con aditivos libres de cloruros, sin embargo, la composición química de cada uno de los aditivos utilizados en el presente proyecto no es un tema a abarcar.

⁷⁷RIVERA, Gerardo. Concreto simple. Universidad del Cauca-2013, 2013. P.78

Tabla 9. Resultado de caracterización de los aditivos químicos para el concreto

	Sólidos totales	Viscosidad	Densidad
Muestra Aditivo	(% w/w)	(cP a 20°C)	(g/ml a 20°C)
Sika ViscoCrete 10 HE	51,8	326,7	1,126
SikaSet NC	53,1	10,8	1,501
SikaPlast MO	20,2	9,4	1,07

Fuente Laboratorios de ensayo, departamento de química, UNIVERSIDAD PEDAGOGIA NACIONAL.

4.4.1 Porcentaje de sólidos totales. Se puede observar en la tabla el porcentaje de sólidos presentes en cada uno de los aditivos resultantes posterior al proceso de desecación. Así mismo, se debe tener en cuenta que cada diseño del producto elaborado en la empresa SIKA COLOMBIA S.A.S. influirá directamente en el resultado de los porcentajes de sólidos encontrados, en donde el menor porcentaje de sólidos totales es para el aditivo SikaPlast MO con 20,2% el cual tiene una humedad alta con respecto a los otros dos aditivos y necesitará menor cantidad de agua en la mezcla, sin embargo, si se tiene un porcentaje alto de sólidos totales se tendrá un desempeño mucho mejor, por lo cual se tendría en cuenta los aditivos Sika ViscoCrete y SikaSet SE.

4.4.2 Viscosidad. La viscosidad es una propiedad que la empresa SIKA COLOMBIA S.A.S. determinada según el diseño del producto de cada tipo de aditivo, en este caso se analizan tres tipos de aditivos y se obtienen valores de viscosidad muy diferentes. Con los rangos anteriormente mencionados y haciendo una rápida comparación con los valores en la tabla 31 de los resultados de caracterización de los aditivos, los aditivos están dentro de los rangos establecidos por la empresa SIKA COLOMBIA S.A.S.

Además de cumplir con los parámetros establecidos por la empresa internamente, los aditivos que presenten mayor viscosidad, en este caso en aditivo tipo E sikavicoCrete-10-HE, tenderá a aumentar la estabilidad del concreto fluido, lo cual puede reducir defectos que se puedan presentar en el concreto al aumentar la porosidad, y conseguir una mejora de la resistencia a la tensión del concreto; También, ayuda a incrementar la capacidad de la pasta de suspender partículas sólidas evitando así la sedimentación⁷⁸.

⁷⁸KHAYAT, Kamal Henri; GUIZANI, Zubeir. Use of viscosity-modifying admixture to enhance stability of fluid concrete. Materials Journal, 1997, vol. 94, no 4, p. 332-340.

4.4.3 Densidad. La densidad es una propiedad de carácter intensiva que se define como la relación entre la masa del líquido y su volumen, propiedad que se debe tener en cuenta ya que afecta directamente la durabilidad del concreto, entre mayor se tenga una densidad de la mezcla de concreto la porosidad es menor haciendo que sea alta la durabilidad⁷⁹.

La empresa SIKA COLOMBIA S.A.S. tiene como parámetro interno de calidad mantener la densidad de los aditivos químicos líquidos en el rango de 1g/mL-2 g/ml, lo cual se puede observar en la tabla 31 de los resultados de la caracterización de aditivos químicos para el concreto, valores que están dentro del rango establecido por la empresa y son aprobados para su normal control de calidad del diseño del producto, también las hojas técnicas poseen esta información verificando una vez más la calidad de estos.

Los tres aditivos a utilizar en este proyecto se encuentran dentro de los parámetros esperados de densidad el cual influirá directamente en la durabilidad de la mezcla de concreto.

4.4.4 Color. El análisis del color, el cual es característico para cada uno de los tres aditivos utilizados en el proyecto se determinó a partir de la escala de Gardner de patrones líquidos de color, el cual es un método de comparación visual. La escala de colores Gardner está regida por la norma ASTM D1544, en la cual se especifica para cada color un número en específico, a continuación, se mostrará en la tabla 32 los colores con sus respectivos números según esta escala.

El color dependerá de la materia prima con la que se diseñó cada aditivo de la empresa SIKA COLOMBIA S.A.S. y así mismo se verifica con el color especificado en la ficha técnica, haciendo así un control de impurezas que pueda tener el aditivo.

⁷⁹MAROLIYA, M. K. Influence of chemical admixtures on density and slump loss of concrete. International Journal of Modern Engineering Research (IJMER), 2012, vol. 2, no 6, p. 4077-4079.

Imagen 27. Color aditivos



Fuente elaboración propia.

Tabla 10. Resultados de color según escala Gardner

Nombre de la muestra	Color de la muestra	Escala Gardner	Lista de la Escala Gardner
SikaPlast MO		18	Se encuentra dentro de la Escala Gardner
SikaSet SE		Azul Cian	No se encuentra dentro de la Escala Gardner
Sika ViscoCrete 10 HE		17	Se encuentra dentro de la Escala Gardner

Fuente elaboración propia.

4.5 PRUEBAS DE DESEMPEÑO AL MORTERO

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de las pruebas ya antes descritas realizadas a los morteros de cemento.

4.5.1 Resistencia a la compresión. Se realiza esta prueba a los morteros con mezcla convencional, morteros con aditivo plastificante, morteros con aditivo acelerante y morteros con mezcla de aditivos, la recolección de datos se realiza a los 14 y 28 días; los resultados se presentan a continuación.

4.5.1.1 Morteros con mezcla convencional. En las siguientes tablas se presentan los datos obtenidos al realizar la prueba de resistencia a la compresión a los morteros con la mezcla convencional a los 14 y 28 días.

Tabla 11 Resistencia a la compresión a los 14 días mezcla convencional

CILINDRO	14 días				
	Cil. 1 (PSI)	Cil. 2 (PSI)	Promedio (PSI)	Tipo de falla Cil. 1	Tipo de falla Cil. 2
M 315	4979	5137	5058	Tipo 5	Tipo 4
M 316	5112	5068	5090	Tipo 3	Tipo 4
M 317	4753	4797	4775	Tipo 5	Tipo 3
M 318	4959	4869	4914	Tipo 4	Tipo 5
M 319	3479	4882	4181	Tipo 5	Tipo 5

Fuente Soluciones en Diseño e Ingeniería S.A.S

Tabla 12. Resistencia a la compresión a los 28 días mezcla convencional

CILINDRO	28 días				
	Cil. 1 (PSI)	Cil. 2 (PSI)	Promedio (PSI)	Tipo de falla Cil. 1	Tipo de falla Cil. 2
M 315	5542	3778	4660	Tipo 4	Tipo 4
M 316	4274	4848	4561	Tipo 5	Tipo 5
M 317	5364	5205	5285	Tipo 5	Tipo 5
M 318	5063	5026	5045	Tipo 4	Tipo 5
M 319	5065	5518	5292	Tipo 5	Tipo 5

Fuente Soluciones en Diseño e Ingeniería S.A.S

4.5.1.2 Morteros con aditivo plastificante. En las siguientes tablas se presentan los datos obtenidos al realizar la prueba de resistencia a la compresión a los morteros con aditivo plastificante de referencia SikaPlast MO a los 14 y 28 días.

Tabla 13. Resistencia a la compresión a los 14 días con plastificante

14 días – 1%				
Cil. 1 (PSI)	Cil. 2 (PSI)	Promedio (PSI)	Tipo de falla Cil. 1	Tipo de falla Cil. 2
5248	1374	3311	Tipo 5	Tipo 4
4959	3983	4471	Tipo 5	Tipo 5
14 días – 1,25%				
Cil. 1 (PSI)	Cil. 2 (PSI)	Promedio (PSI)	Tipo de falla Cil. 1	Tipo de falla Cil. 2
4968	5555	5261,5	Tipo 5	Tipo 5
14 días – 1,5%				
Cil. 1 (PSI)	Cil. 2 (PSI)	Promedio (PSI)	Tipo de falla Cil. 1	Tipo de falla Cil. 2
4869	3906	4387,5	Tipo 5	Tipo 5
5485	5434	5459,5	Tipo 5	Tipo 5

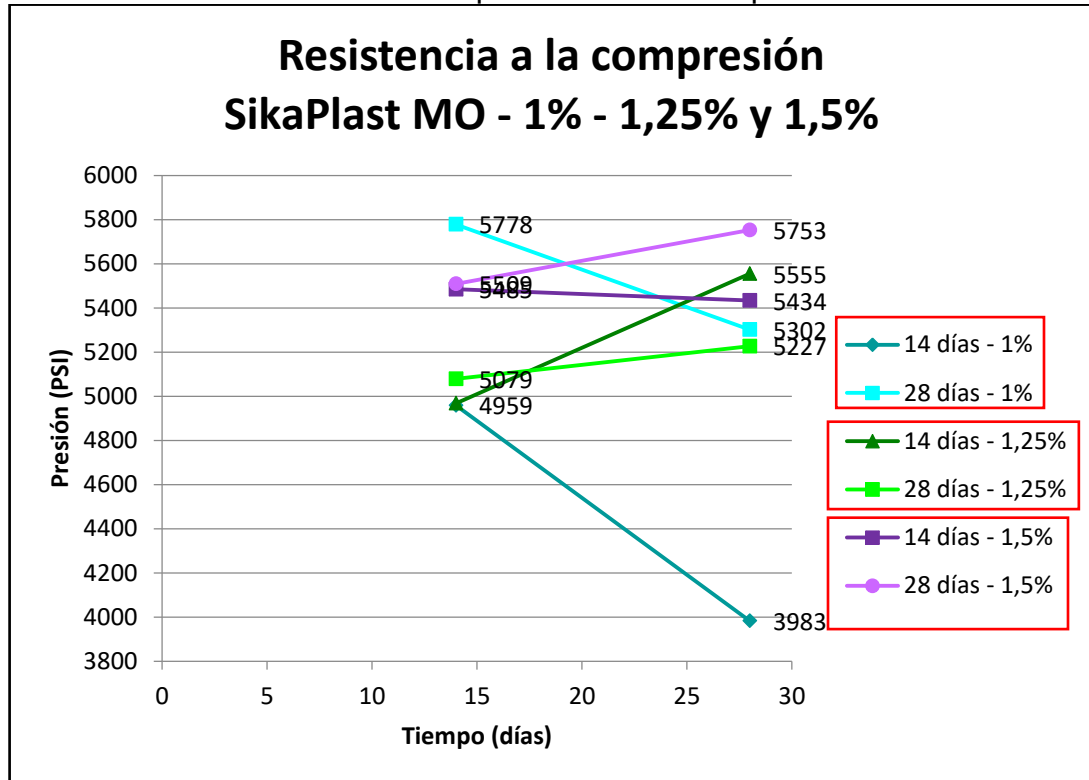
Fuente Elaboración propia.

Tabla 14. Resistencia a la compresión a los 28 días con plastificante

28 días – 1%				
Cil. 1 (PSI)	Cil. 2 (PSI)	Promedio (PSI)	Tipo de falla Cil. 1	Tipo de falla Cil. 2
5778	5302	5540	Tipo 5	Tipo 3
5007	4692	4849,5	Tipo 5	Tipo 5
28 días – 1,25%				
Cil. 1 (PSI)	Cil. 2 (PSI)	Promedio (PSI)	Tipo de falla Cil. 1	Tipo de falla Cil. 2
5079	5227	5153	Tipo 5	Tipo 5
28 días – 1,5%				
Cil. 1 (PSI)	Cil. 2 (PSI)	Promedio (PSI)	Tipo de falla Cil. 1	Tipo de falla Cil. 2
5509	5753	5631	Tipo 5	Tipo 5
4288	4085	4186,5	Tipo 5	Tipo 5

Fuente Elaboración propia

Grafica 15. Resistencia a la compresión con aditivo plastificante.



Fuente Elaboración propia.

4.5.1.3 Morteros con aditivo acelerante. En las siguientes tablas se presentan los datos obtenidos al realizar la prueba de resistencia a la compresión a los morteros con aditivo acelerante de referencia SikaSet NC a los 14 y 28 días.

Tabla 15. Resistencia a la compresión a los 14 días con acelerante

14 días – 1%				
Cil. 1 (PSI)	Cil. 2 (PSI)	Promedio (PSI)	Tipo de falla Cil. 1	Tipo de falla Cil. 2
3279	4569	3924	Tipo 3	Tipo 5
14 días – 1,25%				
Cil. 1 (PSI)	Cil. 2 (PSI)	Promedio (PSI)	Tipo de falla Cil. 1	Tipo de falla Cil. 2
4976	4644	4810	Tipo 5	Tipo 5
14 días – 1,5%				
Cil. 1 (PSI)	Cil. 2 (PSI)	Promedio (PSI)	Tipo de falla Cil. 1	Tipo de falla Cil. 2
4815	4766	4790,5	Tipo 5	Tipo 4

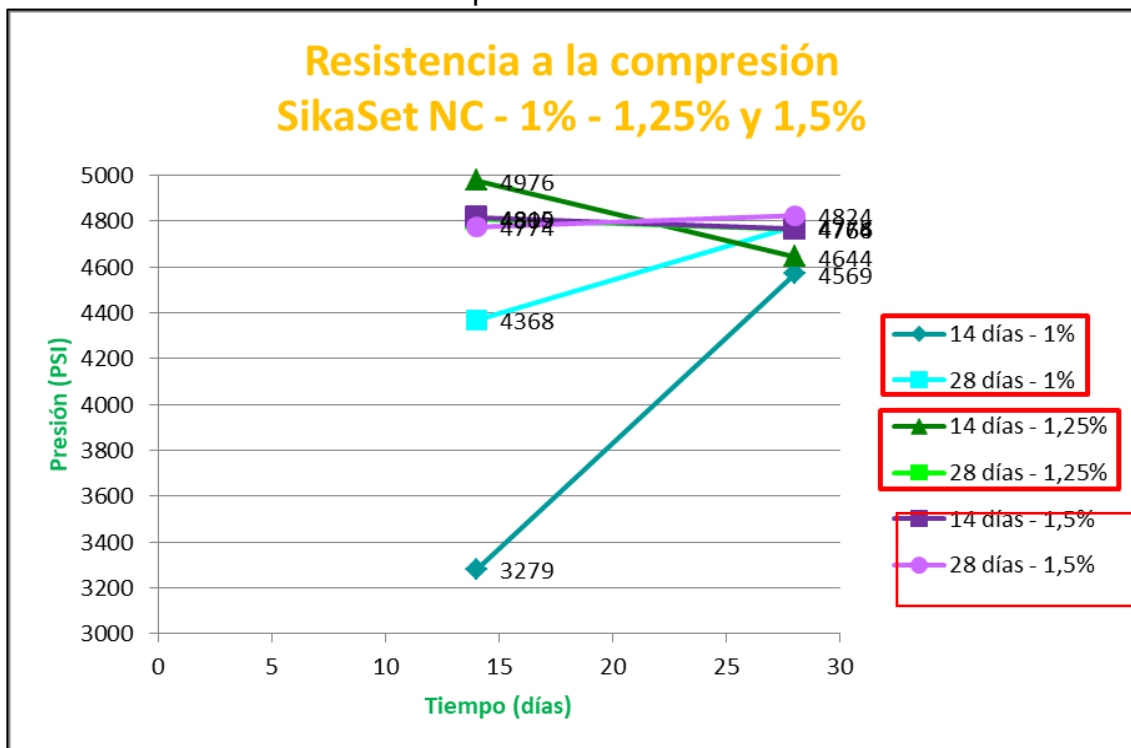
Fuente Elaboración propia

Tabla 16. Resistencia a la compresión a los 28 días con acelerante

28 días – 1%				
Cil. 1 (PSI)	Cil. 2 (PSI)	Promedio (PSI)	Tipo de falla Cil. 1	Tipo de falla Cil. 2
4368	4778	4573	Tipo 5	Tipo 4
28 días – 1,25%				
Cil. 1 (PSI)	Cil. 2 (PSI)	Promedio (PSI)	Tipo de falla Cil. 1	Tipo de falla Cil. 2
4809	4764	4786,5	Tipo 5	Tipo 5
28 días – 1,5%				
Cil. 1 (PSI)	Cil. 2 (PSI)	Promedio (PSI)	Tipo de falla Cil. 1	Tipo de falla Cil. 2
4774	4824	4799	Tipo 3	Tipo 4

Fuente Elaboración propia

Grafica 16. Resistencia a la compresión con aditivo acelerante.



Fuente Elaboración propia.

4.5.1.4 Morteros con mezcla de aditivos. En las siguientes tablas se presentan los datos obtenidos al realizar la prueba de resistencia a la compresión a los morteros con aditivo plastificante y acelerante de referencia Sika ViscoCrete 10 HE a los 14 y 28 días.

Tabla 17. . Resistencia a la compresión a los 14 días con plastificante-acelerante

14 días – 1%				
Cil. 1 (PSI)	Cil. 2 (PSI)	Promedio (PSI)	Tipo de falla Cil. 1	Tipo de falla Cil. 2
3257	3124	3190,5	Tipo 4	Tipo 5
5758	6031	5894,5	Tipo 5	Tipo 2
14 días – 1,25%				
Cil. 1 (PSI)	Cil. 2 (PSI)	Promedio (PSI)	Tipo de falla Cil. 1	Tipo de falla Cil. 2
5084	3648	4366	Tipo 4	Tipo 5
14 días – 1,5%				
Cil. 1 (PSI)	Cil. 2 (PSI)	Promedio (PSI)	Tipo de falla Cil. 1	Tipo de falla Cil. 2
5641	6542	6091,5	Tipo 5	Tipo 5
5292	5275	5283,5	Tipo 5	Tipo 5

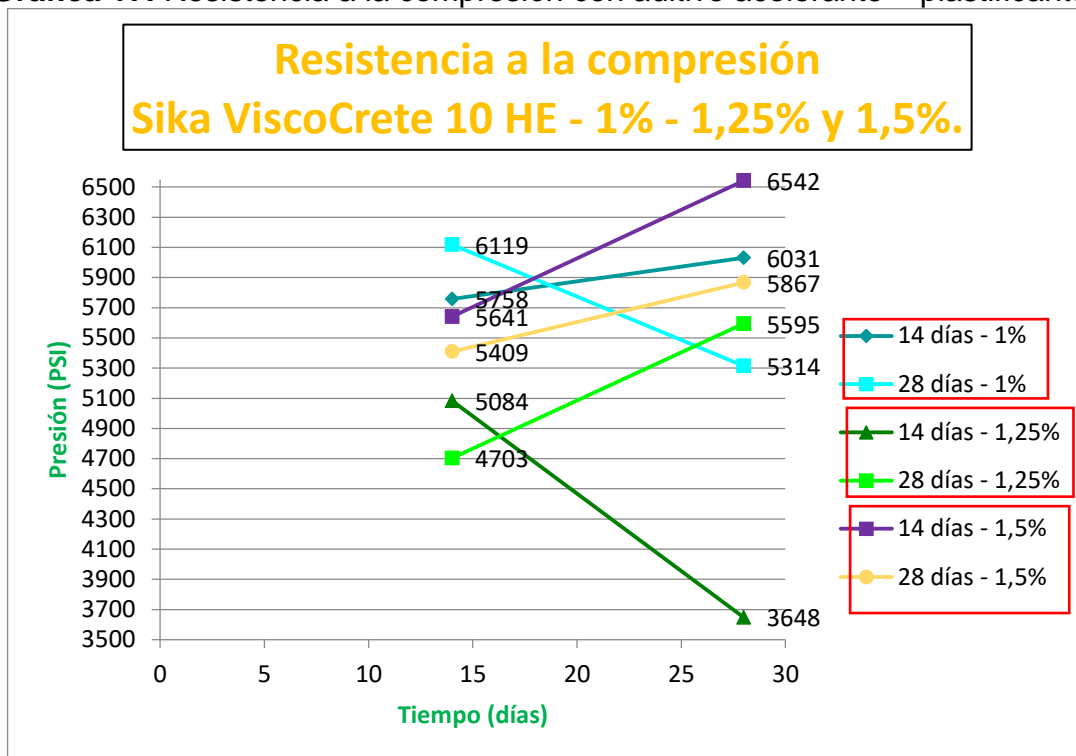
Fuente Elaboración propia

Tabla 18. Resistencia a la compresión a los 28 días con plastificante-acelerante

28 días – 1%				
Cil. 1 (PSI)	Cil. 2 (PSI)	Promedio (PSI)	Tipo de falla Cil. 1	Tipo de falla Cil. 2
4399	5255	4827	Tipo 5	Tipo 5
6119	5314	5716,5	Tipo 5	Tipo 5
28 días – 1,25%				
Cil. 1 (PSI)	Cil. 2 (PSI)	Promedio (PSI)	Tipo de falla Cil. 1	Tipo de falla Cil. 2
4703	5595	5149	Tipo 5	Tipo 5
28 días – 1,5%				
Cil. 1 (PSI)	Cil. 2 (PSI)	Promedio (PSI)	Tipo de falla Cil. 1	Tipo de falla Cil. 2
4914	6060	5487	Tipo 5	Tipo 5
5409	5867	5638	Tipo 5	Tipo 5

Fuente Elaboración propia

Grafica 17. Resistencia a la compresión con aditivo acelerante – plastificante.



Fuente Elaboración propia.

4.5.1.5 Análisis de resultados ensayo de resistencia a la compresión. Al estudiar los datos obtenidos se logra definir el aditivo que mejor, brinda un desempeño en el aumento a la resistencia a la compresión, así mismo, se define la dosificación más adecuada para este tipo de aditivo.

En primer lugar, se obtienen los datos de Promedio total en PSI para la mezcla convencional, mezcla con aditivo plastificante, mezcla con aditivo acelerante y mezcla con aditivo plastificante – acelerante, obteniendo datos que se registran en las siguientes tablas:

Tabla 19. Promedio total (PSI) para mezcla convencional.

Mezcla convencional – 14 días.	
Dosificación (%)	Promedio total (PSI)
0	4803,6
Mezcla convencional – 28 días.	
Dosificación (%)	Promedio total (PSI)
0	4968,6

Fuente Elaboración propia.

Tabla 20. Promedio total (PSI) para mezcla con aditivo plastificante.

Mezcla con SikaPlast MO – 14 días.	
Dosificación (%)	Promedio total (PSI)
1	3891
1,25	5261,5
1,5	4923,5
Mezcla con SikaPlast MO – 28 días.	
Dosificación (%)	Promedio total (PSI)
1	5194,75
1,25	5153
1,5	4908,75

Fuente Elaboración propia.

Tabla 21. Promedio total (PSI) para mezcla con aditivo acelerante.

Mezcla con SikaSet NC – 14 días.	
Dosificación (%)	Promedio total (PSI)
1	3924
1,25	4810
1,5	4790
Mezcla con SikaSet NC – 28 días.	
Dosificación (%)	Promedio total (PSI)
1	4573
1,25	4786,5
1,5	4799

Fuente Elaboración propia.

Tabla 22. Promedio total (PSI) para mezcla con aditivo plastificante - acelerante.

Mezcla con Sika ViscoCrete 10 HE – 14 días.	
Dosificación (%)	Promedio total (PSI)
1	4542,5
1,25	4366
1,5	5283,5
Mezcla con Sika ViscoCrete 10 HE – 28 días.	
Dosificación (%)	Promedio total (PSI)
1	5271,75
1,25	5149
1,5	5562,5

Fuente Elaboración propia.

Al estudiar los resultados obtenidos de promedio total en PSI, realizando una comparación de cada aditivo con respecto a la mezcla convencional, se llega a la conclusión de que el aditivo que presenta un mejor desempeño en el aumento de la resistencia a la compresión es el Sika ViscoCrete 10 HE (plastificante-acelerante), y se determina que la dosificación más adecuada es la correspondiente a la de 1,5% del peso del cemento en la mezcla, ya que presenta un aumento sobre este parámetro aproximado de 15,8% con respecto al valor de resistencia a la compresión de la mezcla convencional obtenido a los 28 días; esto se puede evidenciar en las gráficas presentadas anteriormente en donde, de igual forma, se observa que el aditivo que presenta mayores valores de resistencia a la compresión es el Sika ViscoCrete 10 HE, ya que se alcanzan picos de hasta 6542 PSI (valor que sobrepasa por mucho los datos obtenidos con los otros dos aditivos).

4.5.2 Ensayo de absorción de la mezcla. Se realiza el ensayo de absorción, descrito anteriormente, de las diferentes mezclas (convencional, con aditivo plastificante, con aditivo acelerante y con mezcla de aditivos), se presentan los resultados a continuación:

4.5.2.1 Ensayo de absorción de la mezcla convencional.

Tabla 23. Ensayo de absorción a los 14 días mezcla convencional.

CILINDRO	14 días				
	Muestra	Masa seca (g)	Masa húmeda (g)	Promedio (ms - mh)	% de absorción
M 315	Panela 1	862	893	31	4
	Panela 2	842	873	31	4
M 316	Panela 1	785	833	48	6
	Panela 2	777	824	47	6
M 317	Panela 1	836	881	45	5
	Panela 2	747	788	41	5
M 318	Panela 1	790	832	42	5
	Panela 2	881	922	41	5
M 319	Panela 1	773	816	43	6
	Panela 2	921	968	47	5

Fuente Soluciones en Diseño e Ingeniería S.A.S

Tabla 24. Ensayo de absorción a los 28 días mezcla convencional.

CILINDRO	28 días				
	Muestra	Masa seca (g)	Masa húmeda (g)	Promedio (ms – mh)	% de absorción
M 315	Panela 1	803	843	40	5
	Panela 2	822	860	38	5
M 316	Panela 1	819	854	35	4
	Panela 2	866	901	35	4
M 317	Panela 1	781	831	50	6
	Panela 2	834	888	54	6
M 318	Panela 1	820	876	56	7
	Panela 2	836	895	59	7
M 319	Panela 1	754	805	51	7
	Panela 2	805	856	51	6

Fuente Soluciones en Diseño e Ingeniería S.A.S

4.5.2.2 Ensayo de absorción de mezcla con aditivo plastificante. En las siguientes tablas se presentan los datos obtenidos al realizar el ensayo de absorción a las pannels con aditivo plastificante de referencia SikaPlast MO a los 14 y 28 días.

Tabla 25. Ensayo de absorción a los 14 días Mezcla con SikaPlast MO.

14 Días-SikaPlast MO				
Dosificación	Masa Seca	Masa Húmeda	Diferencia	% Absorción
1%	832	876	44	5,288461538
1,25%	870	902	32	3,67816092
1,50%	666	685	19	2,852852853

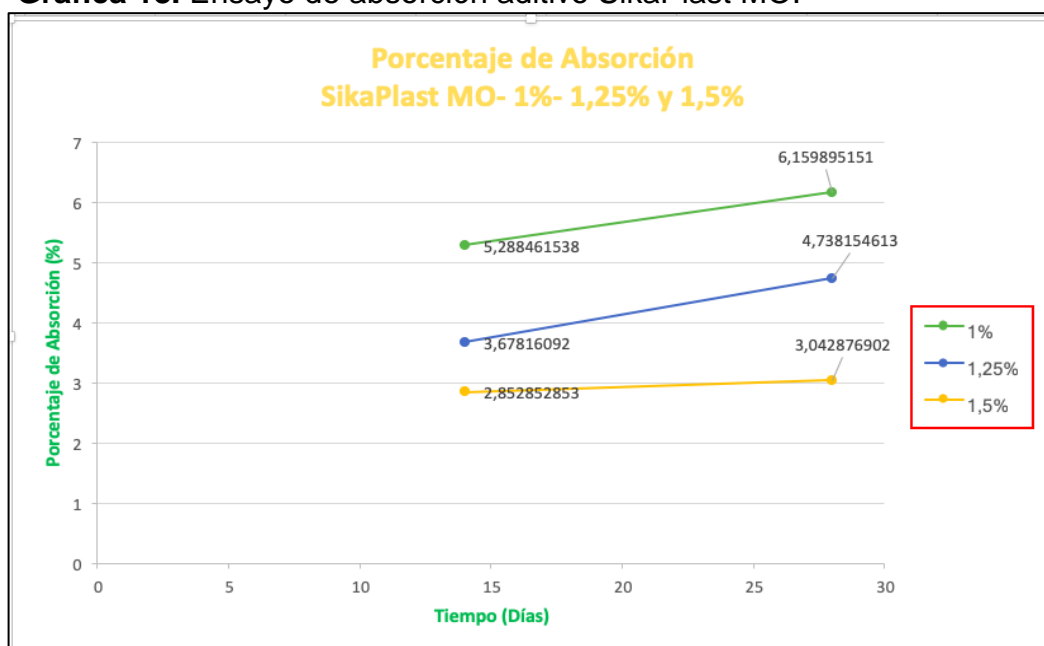
Fuente Elaboración propia.

Tabla 26. Ensayo de absorción a los 28 días Mezcla con SikaPlast MO.

28 Días-SikaPlast MO				
Dosificación	Masa Seca	Masa Húmeda	Diferencia	% Absorción
1%	763	810	47	6,159895151
1,25%	802	840	38	4,738154613
1,50%	723	745	22	3,042876902

Fuente Elaboración propia

Grafica 18. Ensayo de absorción aditivo SikaPlast MO.



Fuente Elaboración propia.

4.5.2.3 Ensayo de absorción de la mezcla con aditivo acelerante. En las siguientes tablas se presentan los datos obtenidos al realizar el ensayo de absorción a las panelas con aditivo acelerante de referencia SikaSet NC a los 14 y 28 días.

Tabla 27. Ensayo de absorción a los 14 días Mezcla con SikaSet NC.

14 Días-SikaSet NC				
Dosificación	Masa Seca	Masa Húmeda	Diferencia	% Absorción
1%	860	908	48	5,581395349
1,25%	823	866	43	5,224787363
1,50%	805	833	28	3,47826087

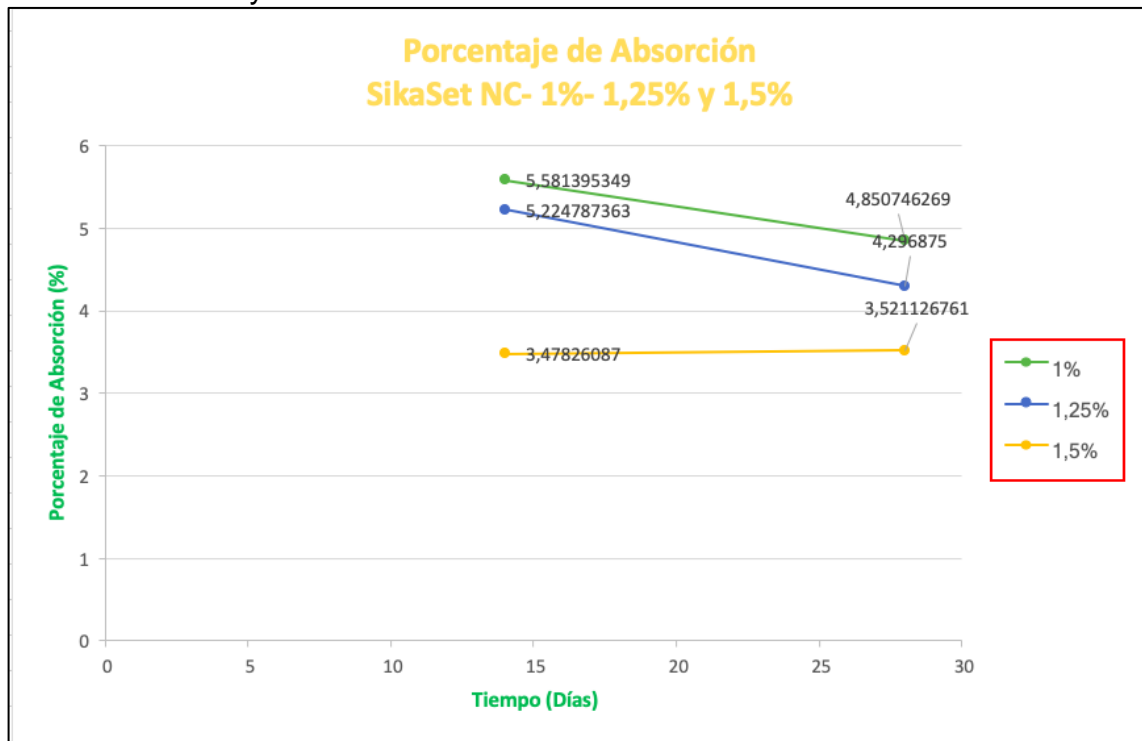
Fuente Elaboración propia.

Tabla 28. Ensayo de absorción a los 28 días Mezcla con SikaSet NC.

28 Días-SikaSet NC				
Dosificación	Masa Seca	Masa Húmeda	Diferencia	% Absorción
1%	804	843	39	4,850746269
1,25%	768	801	33	4,296875
1,50%	852	882	30	3,521126761

Fuente Elaboración propia.

Grafica 19. Ensayo de absorción aditivo SikaSet NC.



Fuente Elaboración propia.

4.5.2.4 Ensayo de absorción de la mezcla con mezcla de aditivos. En las siguientes tablas se presentan los datos obtenidos al realizar el ensayo de absorción a las panelas con aditivo plastificante y acelerante de referencia Sika ViscoCrete 10 HE a los 14 y 28 días.

Tabla 29. Ensayo de absorción a los 14 días Mezcla con Sika ViscoCrete 10 HE.

14 Días-Sika ViscoCrete 10HE				
Dosificación	Masa Seca	Masa Húmeda	Diferencia	% Absorción
1%	771	790	19	2,464332036
1,25%	950	989	39	4,105263158
1,50%	905	942	37	4,08839779

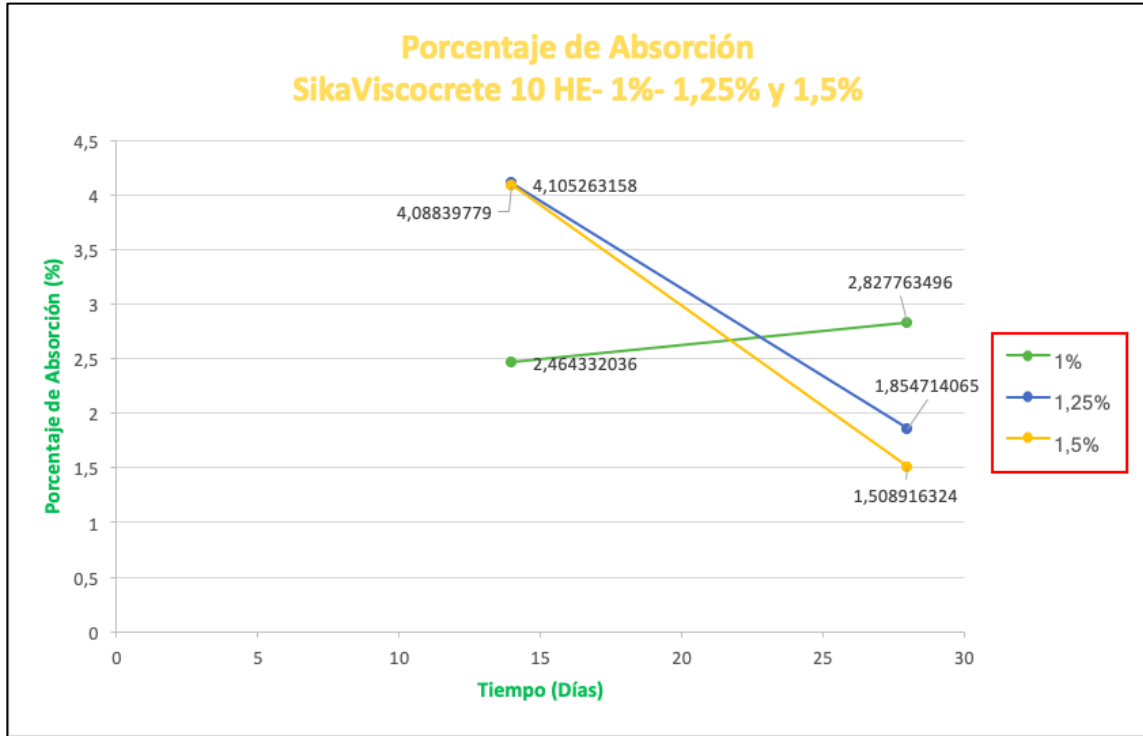
Fuente Elaboración propia.

Tabla 30. Ensayo de absorción a los 28 días Mezcla con Sika ViscoCrete 10 HE.

28 Días-Sika ViscoCrete 10HE				
Dosificación	Masa Seca	Masa Húmeda	Diferencia	% Absorción
1%	778	800	22	2,827763496
1,25%	647	659	12	1,854714065
1,50%	729	740	11	1,508916324

Fuente Elaboración propia.

Grafica 20. Ensayo de absorción aditivo Sika ViscoCrete 10 HE.



Fuente Elaboración propia.

Los morteros son diseñados para suministrar una protección a la tubería de acero, puesto que, son medios de transporte de agua, por esta razón la integridad del mortero debe ser protegida y vigilada, para lograr este objetivo se deben tener en cuenta cada una de las propiedades que afectaran de manera directa al mortero de cemento ART.

Las pruebas de desempeño de propiedades realizadas a las materias primas (cemento, agregados, agua y aditivos), se deben evidenciar en el presente proyecto de grado, debido a que cada una de estas anteriormente mencionadas, tendrán un efecto sobre el desarrollo de resistencia a la compresión, por ende, resultados de porcentajes de absorción bajos para los morteros y sus testigos correspondientes, utilizando las diferentes mezclas propuestas, las cuales fueron establecidas teniendo en cuenta el porcentaje sugerido para cada una de ellas en la ficha técnica que la empresa SIKA S.A.S. provee al cliente, de esta manera, se logra una comparación de forma equitativa en cuanto a dosificación con 3 porcentajes que estuvieran dentro de dicho rangos, supliendo los moldes a disposición, que la empresa SDI proporciona para la realización del estudio.

La empresa SDI trabaja según especificaciones del cliente, por lo cual, tiene establecidos los diferentes diámetros con sus respectivas dosificaciones (ver anexo 2), es por esta razón que la prueba culebrilla, la cual fue planteada en un inicio para hallar los porcentajes de dosificación exactos y adecuados de cada uno

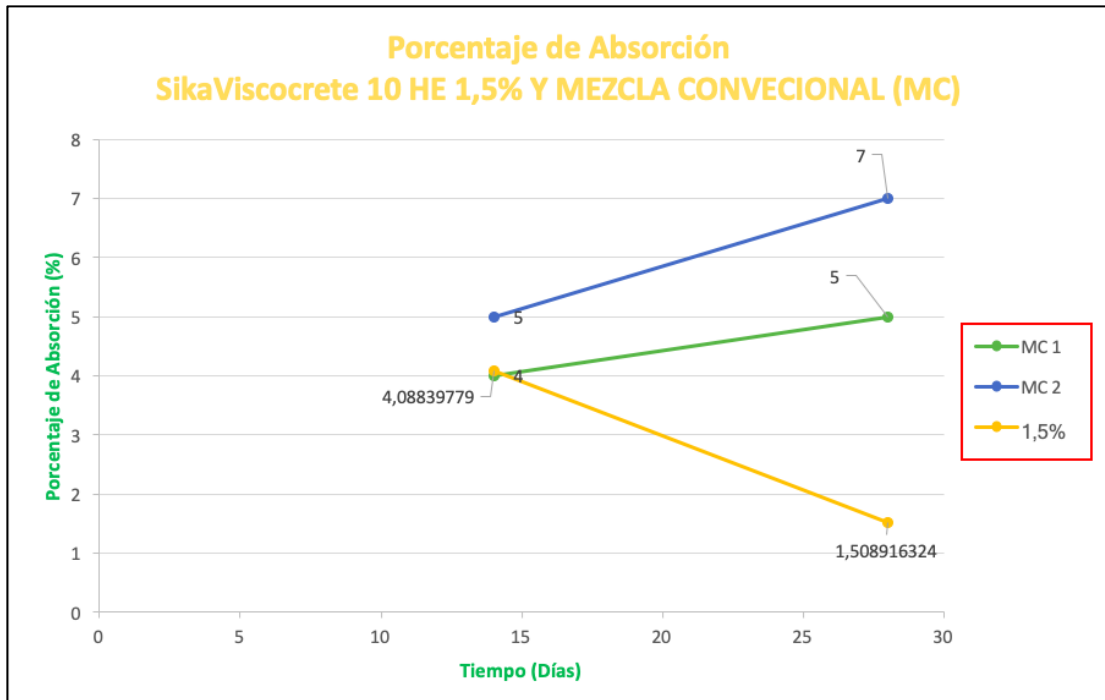
de los aditivos según una relación A/C fija para la realización de estas pruebas, se vuelve innecesaria debido a que al tener diferentes dosificaciones para cada diámetro, es decir distintas relaciones A/C, no se puede realizar dicha prueba; por consiguiente no se podría hacer una comparación efectiva con solo un porcentaje.

Las pruebas presentadas del desempeño al mortero fueron realizadas con tres porcentajes de aditivo, los cuales fueron determinados según especificaciones encontradas en las fichas técnicas de cada uno de los aditivos de la empresa SIKA COLOMBIA S.A.S, y se determina que las dosificaciones establecidas para la realización de las pruebas son de: 1%, 1,25% y 1,5% (porcentajes que se encuentran dentro del rango de dosificación de cada aditivo establecido en las hojas técnicas) esto con el fin de realizar una comparación entre los tres aditivos estudiados con las dosificaciones establecidas y la mezcla convencional sin aditivos.

La absorción del agua va directamente relacionada con la permeabilidad del mortero, lo que quiere decir que, al obtener el menor porcentaje de humedad en esta prueba, la interconexión entre poros es reducida, haciendo que no aparezcan filtrados y así presentando el mejor desempeño para los morteros utilizados en la empresa SDI. De acuerdo a lo anteriormente dicho, se observan los desempeños de los tres aditivos en las gráficas 19, 20 y 21, observando que a los 28 días el aditivo que mejor se comporta es el Sika ViscoCrete 10 HE presentado porcentajes de absorción por debajo del 2%, lo cual comparado con la mezcla convencional de concreto se evidencia una reducción de absorción notable, lo que influye directamente en el desarrollo de resistencia al concreto.

Finalmente, teniendo en cuenta el desempeño del aditivo Sika ViscoCrete 10 HE tanto en resistencia a compresión y ensayo de porcentaje de absorción, se decide escoger este aditivo para la prueba piloto con el porcentaje de dosificación de 1,5% del peso del cemento.

Grafica 21. Comparación ensayo de absorción aditivo Sika ViscoCrete 10 HE y mezcla convencional de concreto.



Fuente Elaboración propia.

5. DESARROLLO PRUEBA NIVEL PILOTO

En esta sección se describe el procedimiento realizado para el desarrollo de la prueba a nivel piloto, en donde se presentan datos como dosificaciones establecidas para la realización de recubrimiento externo de tubería y resultados de pruebas de desempeño al mortero teniendo en cuenta que la mezcla a examinar es de mayor escala.

5.1 CÁLCULO DE DOSIFICACIÓN

Para realizar el cálculo de dosificaciones necesarias de cada componente de la mezcla de concreto, es necesario primero seleccionar la tubería, y para esto se debe tener en cuenta que la cantidad de aditivo disponible de referencia Sika ViscoCrete 10 HE es aproximadamente de 1800 ml, basados en esta cantidad disponible se define la tubería sobre la cual se va a realizar el recubrimiento externo de concreto, la cual presenta unas dimensiones de diámetro 12 pulgadas y largo 5,974 m (Ver anexo 12) y se definen las dosificaciones de mezcla basadas en las tablas de dosificaciones ya establecidas por la empresa SDI, haciendo una correlación de volumen de revestimiento externo (teniendo en cuenta que bajo norma NTC este recubrimiento debe tener un espesor de 19 mm) entre la tubería de 24 pulgadas y la de 12 pulgadas, con el fin de hallar valores exactos de dosificación.

A continuación, se presentan las tablas de datos de especificación de tubería a utilizar y las dosificaciones necesarias de mezcla de concreto:

Tabla 31. Especificaciones tubería prueba piloto

Especificaciones Tubería	
Peso dosificador (kg)	64,679
1 bulto cemento Holcim (kg)	50
Pieza	103
Proyecto SDI	135
Aditivo	%
Dosificación Sika ViscoCrete 10HE	1,5
Especificaciones Tubo	Metros
Diámetro Tubo 12"	0,3048
Largo Tubo 12"	5,974

Fuente Elaboración propia.

Tabla 32. Volúmenes totales de revestimiento externo para tubería 24 y 12 pulgadas.

Cilindro 24"	Volume (m3)	Vt (Revestimiento Exterior) m3
cilindro 24 " con revestimiento exterior	1,976308834	0,225127786
Cilindro 24 " Solo tubo	1,751181048	
Cilindro 12"	Volume (m3)	Vt (Revestimiento Exterior) m3
Cilindro 12" con revestimiento exterior	0,5537615	0,115966238
Cilindro 12" Solo tubo	0,437795262	

Fuente Elaboración propia.

Tabla 33. Dosificaciones establecidas para recubrimiento de tubería seleccionada

DOSIFICACION PRUEBA PILOTO SIKAVISCOCRETE TUBO 103							
Diámetro tubería (in)	Dosificador de arena	Bultos de cemento	Agua (L)	Aditivo (ml)	Arena (kg)	Cemento (kg)	Agua (ml)
24	6,5	4,5	50	3375	420,4135	225	50000
12	3,348234171	2,318008272	25,755647	1738,506204	216,560438	115,9004136	25755,647
DOSIFICACIÓN TOTAL CON ADICIÓN DE VOLUMEN DE PRUEBAS				1783,506204	223,360438	118,9004136	26595,647

Fuente Elaboración propia.

Imagen 28. Tubería seleccionada



Fuente Elaboración propia.

5.2 PRUEBAS DE DESEMPEÑO AL MORTERO

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de las pruebas realizadas al mortero de cemento a nivel piloto con la tubería seleccionada anteriormente.

5.2.1 Resistencia a la compresión. En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión a los 14 y 28 días sobre la mezcla con aditivo Sika ViscoCrete 10 HE al 1,5%, teniendo en cuenta que es debido tomar dos muestras adicionales como pruebas testigos.

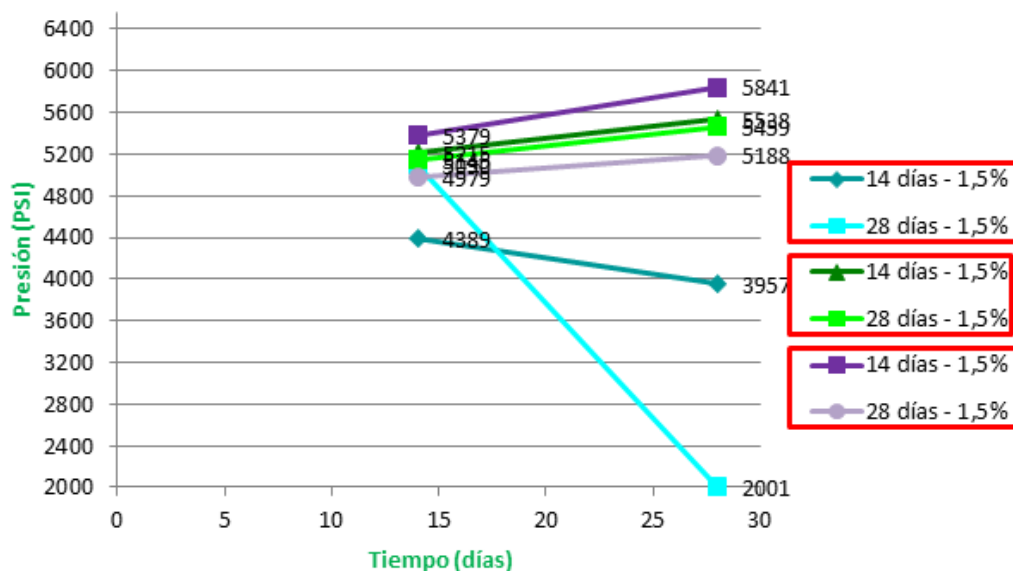
Tabla 34. Resistencia a la compresión a los 14 y 28 días.

14 días – 1,5%					
Cil. 1 (PSI)	Cil. 2 (PSI)	Promedio (PSI)	Tipo de falla Cil. 1	Tipo de falla Cil. 2	
4389	3957	4173	Tipo 4	Tipo 5	
5215	5538	5226	Tipo 5	Tipo 4	
5379	5841	5610	Tipo 4	Tipo 4	
28 días – 1,5%					
Cil. 1 (PSI)	Cil. 2 (PSI)	Promedio (PSI)	Tipo de falla Cil. 1	Tipo de falla Cil. 2	
5090	2001	3545,5	Tipo 5	Tipo 4	
5145	5459	6091,5	Tipo 5	Tipo 3	
4979	5188	5083,5	Tipo 5	Tipo 5	

Fuente Elaboración propia.

Grafica 22. Resistencia a la compresión prueba piloto

Resistencia a la compresión Sika ViscoCrete 10 HE -1,5%.



Fuente Elaboración propia.

5.2.2 Ensayo de absorción. En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos del ensayo de absorción a los 14 y 28 días sobre la mezcla con aditivo Sika ViscoCrete 10 HE al 1,5%, teniendo en cuenta que es debido tomar dos muestras adicionales como pruebas testigos.

Tabla 35. Ensayo de absorción a los 14 días Mezcla con Sika ViscoCrete 10 HE.

14 Días-Sika ViscoCrete 10HE				
Dosificación	Masa Seca	Masa Húmeda	Diferencia	% Absorción
1,50%	897	936	39	4,347826087
1,50%	804	841	37	4,60199005
1,50%	875	905	30	3,428571429

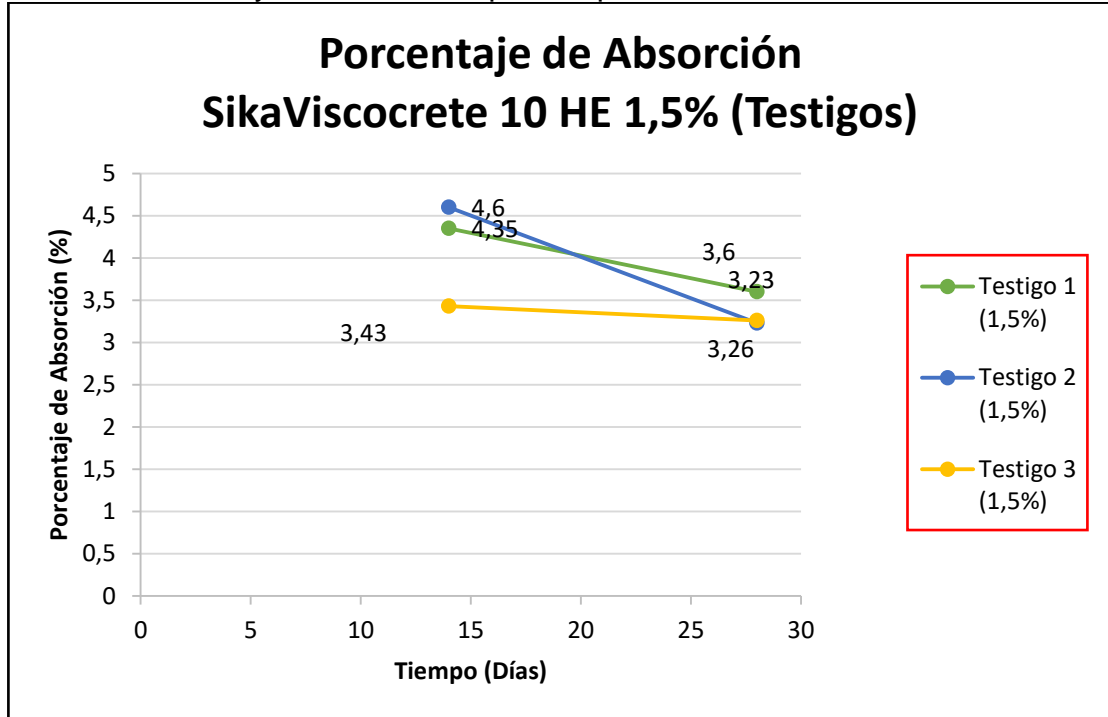
Fuente Elaboración propia.

Tabla 36. Ensayo de absorción a los 28 días Mezcla con Sika ViscoCrete 10 HE.

28 Días-Sika ViscoCrete 10HE				
Dosificación	Masa Seca	Masa Húmeda	Diferencia	% Absorción
1,50%	634	657	23	3,627760252
1,50%	681	703	22	3,230543319
1,50%	736	760	24	3,260869565

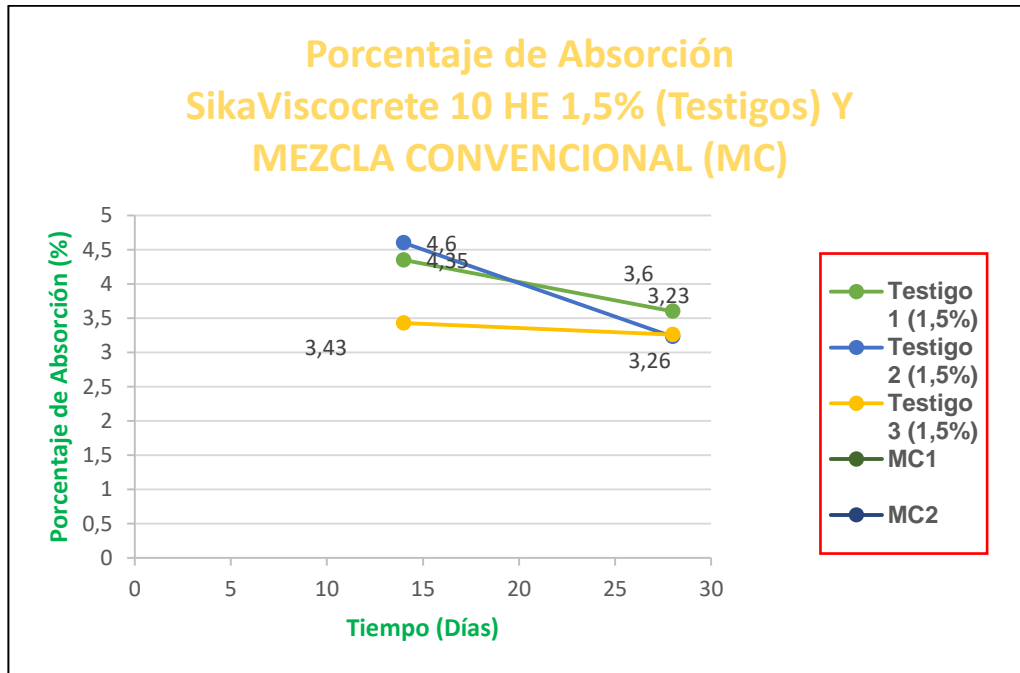
Fuente Elaboración propia.

Grafica 23. Ensayo de absorción prueba piloto.



Fuente Elaboración propia.

Grafica 24. Comparación ensayo de absorción prueba piloto y mezcla convencional de concreto.



Fuente Elaboración propia.

Para la realización de la prueba piloto, que tuvo lugar sobre la pieza 103 de la empresa SDI, se tienen en cuenta parámetros como disponibilidad de tubería (12" o 42" de diámetro) y cantidad de aditivo disponible (1,8 L), se decide trabajar sobre tubería de diámetro 12". La dosificación anteriormente expuesta, se realiza teniendo en cuenta la hoja de dosificación de la empresa SDI, debido a que este proyecto debe tener en cuenta las cantidades que se manejan para la elaboración de la mezcla de revestimiento externo de la tubería de acero.

La toma de muestras para las pruebas de desempeño al mortero en la prueba piloto, se realiza el mismo día de preparación de la mezcla de revestimiento externo al mismo tiempo que las pruebas internas de control de calidad, por esta razón, solo se tiene a disposición 6 moldes para la prueba de resistencia a la compresión y 3 panelas para el ensayo de absorción, de esta manera se trabaja con 3 moldes para prueba y 3 moldes para testigos de la prueba de resistencia a la compresión.

Los resultados de la prueba de resistencia a la compresión comparados con la mezcla convencional siguen evidenciando un aumento en sus valores finales (12,5% aproximadamente), utilizando un aditivo tipo plastificante-acelerante (Sika ViscoCrete 10 HE 1,5%) alcanzando picos de hasta 5459 PSI a los 28 días psi, sin embargo, es debido resaltar que los datos obtenidos de la prueba piloto comparado con la prueba a nivel de laboratorio muestran una disminución promedio de hasta 500 psi, así mismo se puede evidenciar que en el testigo número 1 de esta prueba se encuentra un error a la hora de la toma de muestra, lo cual explica el valor tan bajo de 2001psi, evidenciado en la gráfica de resistencia a la compresión prueba piloto.

Por otro lado, el ensayo de absorción al igual que la anterior prueba presenta un mejor desempeño en comparación a la mezcla convencional, lo que se puede evidenciar en la gráfica comparativa (Grafica 24), rectificando así el buen funcionamiento de la nueva dosificación para una mezcla con aditivo Sika ViscoCrete al 1,5%, lo cual, es explicado con los valores bajos de porcentaje de absorción que llegan hasta del orden de 3,26%, evidenciando la reducción de la interconexión de poros y que concuerda con los resultados obtenidos en la prueba de resistencia a la compresión, pruebas que deben ir ligadas para así demostrar el desempeño de la protección de mortero a la tubería de acero de la empresa SDI.

6. ANÁLISIS FINANCIERO

En el siguiente capítulo se presenta el análisis financiero comparando los costos de producción entre la tubería recubierta con mezcla convencional y mezcla con aditivo Sika ViscoCrete 10 HE al 1,5%, teniendo en cuenta que el estudio de los costos se realiza por metro de tubería lineal y evaluando las tuberías que mayor demanda presentan en la empresa SDI (16" y 24" pulgadas de diámetro).

Para obtener valores de volúmenes de revestimiento interno y externo en unidades de m³ (Tablas 38, 39, 40), se deben tener en cuenta las especificaciones de la tubería (Tabla 37), puesto que se manejan valores exactos en cantidad de mezcla, despreciando las pérdidas que se generan en el control de calidad y proceso de producción. En base a estos datos, se calculan las dosificaciones de agua, cemento, arena y aditivo del revestimiento externo para las dos tuberías escogidas (Tabla 41).

Tabla 37. Especificaciones de tubería.

Parámetro	Unidad	24 "	16"
Largo cilindro	m	6	6
Diámetro tubo	m	0,6096	0,4064
Radio tubo	m	0,3048	0,2032
Espesor revestimiento externo	m	0,019	0,019
Espesor revestimiento interno	m	0,02532	0,02

Fuente Elaboración propia.

Tabla 38. Volúmenes revestimiento externo

Volúmenes revestimiento externo			
Cilindro 24"	Volumen (m ³)	Volumen total (m ³)	Volumen total (m ³ /m)
Cilindro 24" con revestimiento externo	1,976308834	0,225127786	0,037521298
Cilindro 24" solo tubo	1,751181048		
Cilindro 16"	Volumen (m ³)	Volumen total (m ³)	Volumen total (m ³ /m)
Cilindro 16" con revestimiento externo	0,930656109	0,152353421	0,025392237
Cilindro 16" solo tubo	0,778302688		

Fuente Elaboración propia.

Tabla 39. Volúmenes revestimiento interno

Volúmenes revestimiento interno			
Cilindro 24"	Volumen (m ³)	Volumen total (m ³)	Volumen total (m ³ /m)
Cilindro 24" con revestimiento interno	1,47232129	0,278859757	0,046476626
Cilindro 24" solo tubo	1,751181048		
Cilindro 16"	Volumen (m ³)	Volumen total (m ³)	Volumen total (m ³ /m)
Cilindro 16" con revestimiento interno	0,63263332	0,145669368	0,024278228
Cilindro 16" solo tubo	0,778302688		

Fuente Elaboración propia.

Tabla 40. Volumen total de revestimiento

Volumen total (m³/m)	
Cilindro 24"	0,084
Cilindro 16"	0,05

Fuente Elaboración propia.

Tabla 41. Dosificaciones para revestimiento externo.

DOSIFICACIÓN SIKAVISCOCRETE 10 HE EVALUADA POR METRO LINEAL DE TUBERÍA				
Diámetro Tubo	Aditivo Sika ViscoCrete 10 HE - 1,5% (L/m)	Arena (kg/m)	Cemento (kg/m)	Agua (L/m)
24	0,507672428	68,407801	33,84482852	8,038146
16	0,343563237	46,294430	22,9042158	5,439751

Fuente Elaboración propia.

Posteriormente, se presentan los costos de los materiales empleados en la mezcla de los morteros de cemento ART, así mismo el costo del aditivo Sika ViscoCrete 10 HE en su presentación comercial (Tambor 230 kg) y su respectivo costo linealizado por un metro de tubería.

Tabla 42. Costos materiales del mortero

Costos materiales	
Acero	2700 \$/kg
Cemento	450000 \$/m ³
Arena	98150 \$/m ³
Agua	0 \$/m ³

Fuente Elaboración propia.

Tabla 43. . Costo aditivo Sika ViscoCrete 10 HE

Costo aditivo seleccionado	
Cantidad (L)	Costo (\$)
230	\$ 2.007.340,00

Fuente Elaboración propia.

Tabla 44. Costo aditivo linealizado por un metro de tubería

Costo del Aditivo	
\$ 8.727,57	L
\$ 1.454,59	L/m

Fuente Elaboración propia

En base a los datos anteriores, se ejecuta el estudio de costos netos para la producción de revestimiento total empleado en los morteros, arrojando los siguientes datos:

Tabla 45. Costo por metro de tubería diámetro de 16 pulgadas mezcla convencional

COSTO POR METRO DE TUBERÍA DIÁMETRO 16 PULGADAS			
Influencia sobre costo total	Material/parte	Cantidad	Costo por metro de tubería (\$/m)
Principal	Tubo	34,77 kg/m	\$ 107.370,00
	Campana	3,16 kg/m	
	Espigo	1,84 kg/m	
	Empaque soldadura	0,31 kg/m	
	Malla	1,32 kg/m	
Otros	Pintura	1,39 kg/m	\$ 75.626,00
	Protección	0,052 gal/m	
	Polietileno	1,55 m ² /m	
	Diaper	0,162 m ² /m	
	Jabón	0,30 m/m	
Mortero	cemento + agua + arena (externo+interno)	0,02 kg/m	\$ 23.023,00
		0,05 m ³ /m	
Mano de obra Costos indirectos	-----	49814 \$/m	\$ 101.853,00
	-----	52039 \$/m	
Calidad	Pruebas Rolado	-----	\$ 87.642,00
	Maquinado		
Costo total de metro lineal de tubería - diámetro 16 Pulgadas			\$ 395.514,00

Fuente Elaboración propia.

Tabla 46. Costo por metro de tubería diámetro de 24 pulgadas mezcla convencional.

COSTO POR METRO DE TUBERÍA DIÁMETRO 24 PULGADAS			
Influencia sobre costo total	Material/parte	Cantidad	Costo por metro de tubería (\$/m)
Principal	Tubo	51,53 kg/m	\$ 159.007,00
	Campana	4,63 kg/m	
	Espigo	2,73 kg/m	
	Empaque soldadura	0,46 kg/m 1,75 kg/m	
	Malla	2,05 kg/m	
Otros	Pintura	0,077 gal/m	\$ 107.507,00
	Protección	2,21 m ² /m	
	Polietileno	0,275 m ² /m	
	Diaper	0,409 m/m	
	Jabón	0,027 kg/m	
Mortero	cemento + agua + arena (externo+interno)	0,084 m ³ /m	\$ 38.605,00
Mano de obra	-----	54417 \$/m	\$ 131.215,00
Costos indirectos	-----	77798 \$/m	
Calidad	Pruebas		\$ 120.517,00
	Rolado Maquinado	-----	
Costo total de metro lineal de tubería - diámetro 24 Pulgadas			\$ 556.851,00

Fuente Elaboración propia.

Tabla 47. Costo por metro de tubería diámetro de 16 pulgadas mezcla convencional con aditivo Sika ViscoCrete 10 HE.

COSTO POR METRO DE TUBERÍA DIÁMETRO 16 PULGADAS			
Influencia sobre costo total	Material/parte	Cantidad	Costo por metro de tubería (\$/m)
Principal	Tubo	34,77 kg/m	\$ 107.370,00
	Campana	3,16 kg/m	
	Espigo	1,84 kg/m	
	Empaque soldadura	0,31 kg/m 1,32 kg/m	
	Malla	1,39 kg/m	
	Otros	Pintura	
Protección		1,55 m ² /m	
Polietileno		0,162 m ² /m	
Diaper		0,30 m/m	
Jabón		0,02 kg/m	
Mortero		cemento + agua + arena (externo+interno)	0,05 m ³ /m
	Mano de obra	-----	\$
Costos indirectos	-----	49814 \$/m	\$ 101.853,00
	-----	52039 \$/m	
Calidad	Pruebas		\$ 87.642,00
	Rolado	-----	
	Maquinado		
Aditivo	Sika ViscoCrete 10	0,343563237	\$ 2.998,47
	HE	L/m	
Costo total de metro lineal de tubería - diámetro 16 Pulgadas			\$ 398.512,47

Fuente Elaboración propia.

Tabla 48. Costo por metro de tubería diámetro de 24 pulgadas mezcla convencional con aditivo Sika ViscoCrete 10 HE.

COSTO POR METRO DE TUBERÍA DIÁMETRO 24 PULGADAS			
Influencia sobre costo total	Material/parte	Cantidad	Costo por metro de tubería (\$/m)
Principal	Tubo	51,53 kg/m	\$
	Campana	4,63 kg/m	159.007,00
	Espigo	2,73 kg/m	
	Empaque soldadura	0,46 kg/m	
		1,75 kg/m	
	2,05 kg/m		
Otros	Pintura	0,077 gal/m	\$
	Protección	2,21 m ² /m	107.507,00
	Polietileno	0,275 m ² /m	
	Diaper	0,409 m/m	
	Jabón	0,027 kg/m	
Mortero	cemento + agua + arena	0,084 m ³ /m	\$
	(externo+interno)		38.605,00
Mano de obra	-----	54417 \$/m	\$
Costos indirectos	-----	77798 \$/m	131.215,00
Calidad	Pruebas		\$
	Rolado	-----	120.517,00
	Maquinado		
Aditivo	Sika ViscoCrete 10	0,507672428	\$
	HE	L/m	4.430,74
Costo total de metro lineal de tubería - diámetro 24 Pulgadas			\$ 561.281,74

Fuente Elaboración propia.

Tabla 49. Comparación costos totales en mezcla convencional con aditivo y sin aditivo.

COSTOS TOTALES		
Tubería	Sin aditivo	Con aditivo
16 "	\$395.514,00	\$398.512,47
24 "	\$556.851,00	\$561.281,74

Fuente Elaboración propia.

El presente análisis de costos realiza la comparación entre la producción linealizada en un metro de tubería implementando el aditivo SikaViscocrete 10 HE al 1,5% y la mezcla convencional de revestimiento externo para los morteros de concreto de cemento ART, usados como protección a las tuberías de acero, siguiendo normatividad de la AWWA. Por otro lado, se seleccionan dos diámetros

de tubería comercializadas (16" y 24"), debido que presentan alta demanda en la producción de la empresa

El aumento del costo total linealizado por metro de tubería es del orden de 0,8%, que representa \$2.998 COP para 16" y \$1.118 COP para 24", sobrecosto que indica la maximización de un beneficio cualitativo para el mortero, aumentando su resistencia en un 12,5% (según ensayos de desempeño del mortero en la prueba a nivel piloto) y garantizando una mayor confiabilidad al cliente haciendo uso de un aditivo en la mezcla convencional, dejando así, un precedente de las buenas prácticas de manufactura realizadas dentro de las instalaciones de la empresa SDI

7. CONCLUSIONES

- En cuanto a lo abordado en el marco teórico, se concluyó que dentro de las posibles causas de fractura de un mortero de cemento se encuentra la mala manipulación que tiene el producto final por parte de los clientes terciarios, sin embargo, se debe tener en cuenta la diferencia natural que existe entre el módulo de Young del acero y el concreto, debido a que, es un parámetro importante para el diseño de la placa de revestimiento de la tubería, así mismo, se determina que al momento de presentar un diferencial térmico entre estos materiales, es posible la aparición de fracturas en los morteros, de igual forma, se concluye que las propiedades de los materiales que componen un mortero de cemento (arena, agua y cemento) como lo son la finura, absorción, viscosidad, entre otras, influyen en la resistencia final del concreto y es por esto que se hace necesario realizar la caracterización de materiales.
- Dentro del análisis expuesto en el capítulo 2, se concluyó que los clientes de la empresa SDI, se encuentran satisfechos con el producto final que reciben, sin embargo, se logra definir la diferencia entre una fisura, grieta y fractura, ya que, si bien es poco común la aparición de grietas (tamaño de fisura mayor a 1,5 mm) en los morteros, sobre las cuales se hace su respectivo control de mantenimiento con ayuda de una lechada, con el fin de prevenir la aparición de futuras fracturas sobre los morteros. Así mismo, se determina que los clientes se encuentran de acuerdo con la implementación de aditivos sobre la mezcla de morteros con el fin de aumentar su resistencia.
- Para el desarrollo del segundo objetivo, expuesto en el capítulo 4, se encontró que la mezcla con aditivo plastificante-acelerante (Sika ViscoCrete 10 HE) con una dosificación de 1,5%, presento un mejor desempeño en cuanto al aumento de la resistencia a la compresión de los morteros de cemento tipo ART, basados en un desarrollo experimental.
- Una vez realizado el análisis de costos, se concluye que el aumento monetario es del orden de 0,8%, con la implementación del aditivo Sika ViscoCrete 10HE, sobre costo que representa la maximización de un beneficio (aumento del 12,5 % en la resistencia original) sobre el producto final que la empresa SDI entrega a cliente.

8. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios con otro tipo de aditivos, en cuanto a marcas comerciales o patentes en estudio, para evaluar el desempeño del mortero como protección a tuberías de acero.
- Plantear una nueva dosificación con el fin de comparar otros tipos de cemento en la mezcla de morteros y lograr una reducción de costos en el proceso de producción.
- Evaluar otro tipo de propiedades de desempeño del mortero como tiempo de fraguado, fluidez, consistencia, entre otras.
- Proponer y evaluar un nuevo método de protección a tuberías de acero ceñido a normatividad (AWWA)
- Se recomienda realizar un estudio en donde se tenga en cuenta el manejo de agua lluvia, la cual, presenta bajos niveles de pH (5,7), obteniendo un agua de tipo corrosiva que afecta el desempeño del mortero como protección de tubería de acero, debido a que se pueden presentar problemas de corrosión sobre esta.

BIBLIOGRAFÍA

ADITIVOS. Cemex. [En Línea] Colombia Disponible en <https://www.cemexcolombia.com/productos/aditivos/plasticantes-isoplast>

ADITIVOS PARA CONCRETO. Facultad de ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. [En Línea] México Disponible en http://www.ingenieria.unam.mx/~luiscr/licenciatura_ic/1444_pcee/1444_material/aditivospresen.pdf

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Concreto. Terminología estándar relacionada al concreto y agregados del concreto. C125.

ANÁLISIS FÍSICO- QUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO DE AGUAS. [En línea]. Disponible en <http://www.microinmuno.qb.fcen.uba.ar/SeminarioAguas.htm>

BLODA, Alberto Virella. Los cementos Pórtland con adiciones y los cementos compuestos. Materiales de construcción, 1976.

CÁTEDRA DE INGENIERÍA RURAL. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real. Tema 9: Morteros. [En línea]. Disponible en https://previa.uclm.es/area/ing_rural/trans_const/tema9.pdf

COMPOSICIÓN DEL CEMENTO PORTLAND. Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste [En línea]. Argentina Disponible en <http://ing.unne.edu.ar/pub/quimica/cemento.pdf>

CONCRETO. Brochure Aditivos para Concreto. Sika. [En Línea] Colombia. Disponible en [file:///C:/Users/GABRIELA/Downloads/BROCHURE%20ADITIVOS%20PARA%20CONCRETO%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/GABRIELA/Downloads/BROCHURE%20ADITIVOS%20PARA%20CONCRETO%20(1).pdf)

CORTES GÓMEZ, Edwin Alberto, et al. Estudio comparativo de las características físico mecánicas de cuatro cementos comerciales portland tipo I. 2014.

DE CONCRETO, ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PRODUCTORES. ASOCRETO. Tecnología y Propiedades Colección básica del concreto, 2006.

DE GUZMÁN, Diego Sánchez. Tecnología del concreto y del mortero. Pontificia Universidad Javeriana, 2001.

DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO. Universidad Centroamericana “José Simeón cañas”, UCA.

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD NOMINAL Y LA DENSIDAD APARENTE PARA AGREGADOS. [En línea]. Disponible en <http://ingevil.blogspot.com/2008/10/determinacin-de-la-densidad-nominal-y.html>

DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN EN AUTOCLAVE DEL CEMENTO PORTLAND. Universidad Centro Americana “José Simeón Cañas”. UCA. [En línea]. Disponible en <http://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoCemento/Determinacion%20de%20la%20expansion%20en%20autoclave%20del%20cemento.pdf>

DÍAZ, González, et al. Programa para diseño de mezclas de concreto normal DM 1.0. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Departamento de Materiales, 2004.

DURAZO, Reginaldo. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. [En Línea] Disponible en <http://rdurazo.ens.uabc.mx/educacion/labfis/sesion6.pdf>

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL EFECTO DE ADITIVOS REDUCTORES, MANEJADORES Y SU MEZCLA EN MORTEROS (2018), Ana María Moreno Pachón, Universidad América.

GARCÍA TOLEDANO, M^a. Estudio experimental sobre la influencia de la temperatura durante el periodo estival en la resistencia a compresión de probetas de hormigón. 2011. Tesis Doctoral. Arquitectura Técnica.

GUEVARA FALLA, Génesis. et al. Efecto de la variación agua/cemento en el concreto. Costa Rica. Escuela de Ingeniería de los Materiales. 2011

GUTIÉRREZ DE LÓPEZ, Libia. El Concreto y otros materiales para la construcción, Universidad Nacional de Colombia, 2003.

INGENIERO DE CAMINOS. Aditivos para el concreto. [En Línea] Disponible en <https://ingeniero-de-caminos.com/aditivos-para-concreto/>.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-1486-6166. Bogotá D.C.: El Instituto, 2018.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Especificación de desempeño para cemento hidráulico. Terminología. NTC 121. Bogotá D.C.: El Instituto, 2014.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Concretos. Especificaciones de los agregados para concreto. NTC 174. Bogotá D.C.: El Instituto, 2000.

KHAYAT, Kamal Henri; GUIZANI, Zubeir. Use of viscosity-modifying admixture to enhance stability of fluid concrete. *Materials Journal*, 1997.

KOSMATKA, Steven H.; PANARESE, William C.; BRINGAS, Manuel Santiago. Diseño y control de mezclas de concreto. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 1992.

MAROLIYA, M. K. Influence of chemical admixtures on density and slump loss of concrete. *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*, 2012, vol. 2.

MATALLANA, R. Fundamentos de concreto aplicados a la construcción. Medellín, Piloto SA, 2006.

MEHTA, P.K. Concreto: estructura, propiedades y materiales. México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 1998.

OLLER, Sergio. Fractura mecánica: un enfoque global. Barcelona: Cimne, 2001.

PROPIEDADES Y ENSAYOS DEL CEMENTO. [En línea]. Disponible en <http://descom.jmc.utfsm.cl/proi/materiales/CEMENTO/CEMENTO.htm>

PUERTAS, F.; VÁZQUEZ, T. Hidratación inicial del cemento. Efecto de aditivos superplastificantes. 2001.

RIVERA, Gerardo A. Aditivos para Mortero y Concreto, Universidad del Cauca. p. 236.

RODRÍGUEZ, Abraham P. Manual de prácticas de laboratorio de concreto, universidad de Chihuahua.

TAWANCY, Hani M.; UL-HAMID, Anwar; ABBAS, Nureddin M. Practical engineering failure analysis. CRC Press, 2004.

TENNIS, Paul D.; JENNINGS, Hamlin M. A model for two types of calcium silicate hydrate in the microstructure of Portland cement pastes. *Cement and Concrete Research*, 2000.

VÉLEZ, Ligia M. Permeabilidad y porosidad en concreto. TecnoLógicas, 2010.

ANEXOS

**ANEXO A.
TABLA DOSIFICACIÓN REVESTIMIENTO INTERIOR.**

DOSIFICACIONES REVESTIMIENTO INTERIOR PARA TUBOS DE LONGITUD = 6 METROS		
DIAMETRO DEL TUBO (PULGADAS)	DOSIFICADOR DE ARENA LLENO	BULTOS DE CEMENTO (TIPO ART)
10	1	1
12	1 1/2	1
14	1 1/2	1 1/2
16	2	1 1/2
18	2	1 1/2
20	2 1/2	2
21	2 1/2	2
24	3	2 1/2
27	3 1/2	3
30	4	3
33	4	3 1/2
36	5	3 1/2
39	7	5
42	7,5	5 1/2
45	8	6
48	8 1/2	6 1/2
51	9	6 1/2
54	10	7
57	10	7 1/2
60	11	8
66	12	8 1/2
72	13	9 1/2

Fuente Soluciones en Diseño e Ingeniería S.A.

**ANEXO B.
TABLA DOSIFICACIÓN REVESTIMIENTO EXTERIOR.**

DOSIFICACIONES REVESTIMIENTO EXTERIOR PARA TUBOS DE LONGITUD = 6 METROS				
DIAMETRO DEL TUBO (PULGADAS)	DOSIFICADOR DE ARENA LLENO	BULTOS DE CEMENTO	AGUA LITROS	VISCOCRETE LITROS
10	3	2		
12	3 1/2	2 1/2	23	0,4
14	4	2 1/2	27	0,5
16	4 1/2	3	30	0,6
18	5	3 1/2	34	0,7
20	5 1/2	3 1/2	39	0,7
21	6	4	43	0,8
24	6 1/2	4 1/2	44	0,9
27	7	5	50	1,0
30	8	5 1/2	56	1,1
33	9	6	61	1,2
36	9 1/2	6 1/2	67	1,3
39	10	6 1/2	73	1,4
42	11	7	78	1,5
45	12	7 1/2	84	1,6
48	12 1/2	8	89	1,7
51	13	8 1/2	95	1,8
54	14	9	101	1,9
57	14 1/2	9 1/2	106	2,1
60	15 1/2	10	112	2,2
66	17	11	117	2,3
72	18 1/2	12	129	2,5
			140	2,7

Fuente Soluciones en Diseño e Ingeniería S.A.S.

ANEXO C. HOJA TÉCNICA ADITIVO SIKAPLAST MO

CONSTRUYENDO CONFIANZA



HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO

SikaPlast® MO

SUPERPLASTIFICANTE REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO.

DESCRIPCION DEL PRODUCTO

SikaPlast® MO es un aditivo líquido, compuesto por resinas sintéticas y polímeros de última generación. Es un reductor de agua que puede emplearse como plastificante y superplastificante dependiendo la dosis empleada.

USOS

SikaPlast® MO tiene tres usos básicos:

Como superplastificante:

Adicionándolo a una mezcla de consistencia normal se consigue aumentar la fluidez del concreto o mortero facilitando su colocación y su bombeabilidad en elementos esbeltos densamente armados y en la construcción de estructuras civiles prefabricadas.

Como reductor de agua de alto rango:

Permite reducir la cantidad de agua de amasado del concreto, consiguiéndose la misma manejabilidad inicial y obteniéndose un incremento proporcional a la reducción de agua en la resistencias mecánicas del concreto a todas las edades. El uso de este aditivo permite fabricar concretos de mayor durabilidad. Para mejorar su efectividad se adiciona disuelto en la última porción de agua de amasado.

Como economizador de cemento:

Se puede aprovechar la reducción del agua lograda, para disminuir el contenido de cemento conservando así la misma manejabilidad y resistencias de partida pero con un menor contenido de material cementante. De esta forma el concreto resultante no solo es más económico sino al mismo tiempo más durable puesto que contará con un menor calor de hidratación, menor retracción, mayor resistencia a la abrasión, y menor penetración de líquidos.

CARACTERISTICAS / VENTAJAS

El SikaPlast® MO proporciona los siguientes beneficios tanto en el concreto fresco como en el concreto endurecido.

- Le confiere una mayor fluidez a la pasta de cemento y por ende al concreto.
- En su uso como reductor de agua aumenta las resistencias del concreto a todas las edades.
- No afecta los tiempos de fraguado del concreto y tiene un excelente desarrollo de resistencias iniciales lo cual lo hace especialmente adecuado para la construcción de sistemas industrializados y prefabricados.
- A igual nivel de reducción de agua que un superplastificante o plastificante convencional se obtiene una mezcla ligeramente más viscosa y menos segregable.
- Facilita el bombeo y colocación del concreto a mayores alturas y distancias.
- En su uso como plastificante mejora considerablemente el acabado del concreto y reproduce la textura de la formaleta.
- Frente a un concreto dado sin aditivo con un asentamiento y una resistencia específica permite la obtención de las mismas propiedades con un material más económico y al mismo tiempo más durable.
- Se puede usar para recuperar el asentamiento perdido en el concreto en climas medios o fríos.
- Evita la segregación y disminuye la exudación del concreto fluido.
- Disminuye los tiempos de vibrado del concreto.
- Densifica el concreto y mejora su adherencia al acero de refuerzo.

Hoja de Datos del Producto
SikaPlast® MO
Noviembre 2017, Versión 01.01
021301011000001796

1 / 3

Fuente Soluciones en Diseño e Ingeniería S.A.S.

ANEXO D. HOJA TÉCNICA ADITIVO SIKAPLAST MO (CONTINUACIÓN)

CERTIFICADOS / NORMAS

SikaPlast® MO cumple con la norma NTC 1299 como un aditivo tipo A o como un aditivo tipo F, dependiendo la dosis usada.

INFORMACION DEL PRODUCTO

Empaques	Garrafa de 5 Kg, Cuñete de 20 Kg, Tambor de 230 Kg y Granel
Apariencia / Color	Líquido café, olor característico
Vida en el recipiente	Un (1) año desde la fecha de su producción.
Condiciones de Almacenamiento	Almacene en sitio fresco y bajo techo a temperaturas entre 4°C y 32°C y en su envase original bien cerrado. Para su transporte tómense las precauciones normales con productos químicos.
Densidad	1,07 kg/l ± 0,02 kg/l
pH	Min 4.0
Dosificación Recomendada	Entre el 0.5% al 2.0% del peso del cementante (de 250 gr a 1000 gr por bulto de cemento de 50 Kg). La dosis óptima debe determinarse mediante ensayos preliminares. Dosificaciones mayores pueden emplearse luego de hacer las pruebas respectivas y no encontrar efectos no deseados en el concreto.

INSTRUCCIONES DE APLICACION

Plastificando un concreto, mortero o lechada:

Adicione el SikaPlast® MO a la mezcla ya preparada en la que ya exista una humectación del cemento y los agregados. Agregue el aditivo en planta o en sitio, en el caso de los concretos bombeados es preferible usar la totalidad o parte del aditivo justo antes del inicio de dicho bombeo. Mezcle el concreto con SikaPlast® MO durante mínimo 4 minutos o de acuerdo al volumen de concreto, mezclando 1 minuto por m³. Durante el transporte o luego de un tiempo de preparado el concreto, mortero o lechada si estos han perdido la manejabilidad, redosifique el SikaPlast® MO de acuerdo a la cantidad de asentamiento que se requiere recuperar.

Reduciendo cemento y agua:

Adicionar la dosis determinada de SikaPlast® MO en la última porción del agua de amasado de la mezcla. La reducción de pasta de cemento implica una reducción de agua que puede llevar a una mayor reducción en el sostenimiento de la manejabilidad por lo cual coloque y vibre su mezcla lo más pronto posible.

LIMITACIONES

La elaboración de concreto o mortero fluido exige una buena distribución granulométrica. Se debe garantizar un suficiente contenido de finos para evitar la segregación del material fluido. El uso de concreto fluido requiere un especial cuidado en el sellado de las formaletas para evitar la pérdida de la pasta. La dosis óptima se debe determinar mediante ensayos con los materiales y las condiciones de la obra. Cuando se emplea para recuperar la bombeabilidad de una mezcla perdida por demoras en la colocación y se desea mantener la plasticidad por más de 1 hora adicional, agregue un plastificante retardante. Los mejores resultados se obtienen cuando los componentes que intervienen en la preparación del concreto cumplen con las normas vigentes. Dosificar por separado cuando se usen otros aditivos en la misma mezcla; si se emplea un plastificante retardante adiciónalo previamente al SikaPlast® MO. El curado del concreto con agua y/o Antisol es recomendable para garantizar el desarrollo de resistencias mecánicas y mejorar el comportamiento del concreto contra la entrada de agentes nocivos gaseosos o líquidos.

Hoja de Datos del Producto
SikaPlast® MO
Noviembre 2017, Versión 01.01
021301011000001796



ANEXO E.

HOJA TÉCNICA ADITIVO SIKAPLAST MO (CONTINUACIÓN)

NOTAS

Los usuarios deben referirse siempre a la versión local más reciente de la Hoja Técnica del Producto cuya copia será suministrada al ser solicitada.

RESTRICCIONES LOCALES

Este producto puede variar en su funcionamiento o aplicación como resultado de regulaciones locales específicas. Por favor, consulte la hoja técnica del país para la descripción exacta de los modos de aplicación y uso.

ECOLOGIA, SALUD Y SEGURIDAD

Manténgase fuera del alcance de los niños. Usar guantes de caucho y gafas de protección para su manipulación. Consultar Hoja de Seguridad del producto.

NOTAS LEGALES

La información, y en particular las recomendaciones relacionadas con la aplicación y uso final de los productos Sika, se proporcionan de buena fe, con base en el conocimiento y la experiencia actuales de Sika sobre los productos que han sido apropiadamente almacenados, manipulados y aplicados bajo condiciones normales de acuerdo con las recomendaciones de Sika. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones actuales de las obras son tales, que ninguna garantía con respecto a la comercialidad o aptitud para un propósito particular, ni responsabilidad proveniente de cualquier tipo de relación legal pueden ser inferidos ya sea de esta información o de cualquier recomendación escrita o de cualquier otra asesoría ofrecida. El usuario del producto debe probar la idoneidad del mismo para la aplicación y propósitos deseados. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de los productos. Los derechos de propiedad de terceras partes deben ser respetados. Todas las órdenes de compra son aceptadas con sujeción a nuestros términos de venta y despacho publicadas en la página web: col.sika.com.

Sika Colombia S.A.S
Vereda Canavita, Km 20.5 Autopista Norte
Tocancipá Cundinamarca Colombia
phone: +57 1 878 6333
e-mail: sika_colombia@co.sika.com
web: col.sika.com



SikaPlastMO_es_CO_(11-2017)_1_1.pdf

Hoja de Datos del Producto
SikaPlast® MO
Noviembre 2017, Versión 01.01
021301011000001796

3 / 3

CONSTRUYENDO CONFIANZA



ANEXO F. HOJA TÉCNICA ADITIVO SIKASET NC

CONSTRUYENDO CONFIANZA



HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO

Sikaset® NC

ADITIVO ACELERANTE

DESCRIPCION DEL PRODUCTO

Sikaset® NC es un acelerante líquido libre de cloruros, cumple con los requerimientos de las normas ASTM C 494 Tipo C.

USOS

Sikaset® NC es el aditivo acelerante adecuado para usar donde se requieren altas resistencias iniciales y el uso de los cloruros es prohibido.

CARACTERISTICAS / VENTAJAS

Acelerante de fraguado y de resistencias

Sikaset® NC puede ser usado para acelerar los tiempos de fraguado y mejorar las resistencias tempranas donde los requerimientos del proyecto lo exijan. **Sikaset® NC** permite la economía de dinero al reducir los tiempos de los procesos constructivos.

- Acelerante de fraguados en un amplio rango de temperaturas.
- Incrementa las resistencias iniciales y finales a la compresión y a la flexión.
- Costos en curado al vapor y en aislamiento son reducidos.
- La reducción en los tiempos de fraguado permite a la cuadrilla de acabado finalizar más rápidamente, disminuyendo costos en mano de obra.
- El rápido desencofrado incrementa la productividad.
- La rápida ganancia de resistencias permite el temprano uso de la estructura.

Sikaset® NC no contiene cloruros y no promueve la corrosión del acero de refuerzo del concreto.

INFORMACION DEL PRODUCTO

Empaques	Tambor de 230 kg y Granel
Vida en el recipiente	Un (1) año a partir de su fecha de fabricación
Condiciones de Almacenamiento	Almacenar en lugar fresco (10°C - 27°C), bajo techo, libre de humedad en su empaque original y bien cerrado. Transportar con las precauciones normales para productos químicos.
Densidad	1.49 kg/l ± 0.03 kg/l

Hoja de Datos del Producto
Sikaset® NC
Diciembre 2017, Versión 01.01
021402021.000000038

ANEXO G. HOJA TÉCNICA ADITIVO SIKASET NC (CONTINUACIÓN)

INSTRUCCIONES DE APLICACION

Añadir la cantidad correcta de **Sikaset® NC** a las plantas de concreto. El aditivo puede ser adicionado en forma manual o automática adicionándolo directamente en la línea de agua de la planta de concreto.

DOSIFICACIÓN

Del 1 % al 4% del peso del cemento. Dependiendo del tipo de cemento puede ser necesario el empleo de dosis altas de aditivo, se recomiendan ensayos previos para determinar la dosis ideal para cada caso.

Cuando las dosis sean superiores a 1.5% ajustar el contenido de agua de la mezcla de concreto. Dosis por fuera del rango recomendado pueden ser usados si se están empleando materiales especiales como el **Sikafume** o en condiciones especiales de obra, en estos casos contactar al departamento técnico de Sika.

LIMITACIONES

Cuando se usa con otros aditivos dosificar separadamente. No mezclar con cemento seco. Evaluaciones previas deberían ser llevadas a cabo para determinar el tiempo de fraguado y la resistencia temprana esperada con la temperatura ambiente y los materiales específicos del concreto. Las prácticas apropiadas de curado deberán ser llevadas a cabo para proteger el concreto en especial en ambientes extremos.

NOTAS

Los usuarios deben referirse siempre a la versión local más reciente de la Hoja Técnica del Producto cuya copia será suministrada al ser solicitada.

RESTRICCIONES LOCALES

Este producto puede variar en su funcionamiento o aplicación como resultado de regulaciones locales específicas. Por favor, consulte la hoja técnica del país para la descripción exacta de los modos de aplicación y uso.

ECOLOGIA, SALUD Y SEGURIDAD

Evitar el contacto con la piel y los ojos, usar equipo de protección personal, guantes y gafas de seguridad, no ingerir puede ser peligroso. Usar únicamente en áreas ventiladas.

NOTAS LEGALES

La información, y en particular las recomendaciones relacionadas con la aplicación y uso final de los productos Sika, se proporcionan de buena fe, con base en el conocimiento y la experiencia actuales de Sika sobre los productos que han sido apropiadamente almacenados, manipulados y aplicados bajo condiciones normales de acuerdo con las recomendaciones de Sika. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones actuales de las obras son tales, que ninguna garantía con respecto a la comercialidad o aptitud para un propósito particular, ni responsabilidad proveniente de cualquier tipo de relación legal pueden ser inferidos ya sea de esta información o de cualquier recomendación escrita o de cualquier otra asesoría ofrecida. El usuario del producto debe probar la idoneidad del mismo para la aplicación y propósitos deseados. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de los productos. Los derechos de propiedad de terceras partes deben ser respetados. Todas las órdenes de compra son aceptadas con sujeción a nuestros términos de venta y despacho publicadas en la página web: col.sika.com.

Sika Colombia S.A.S

Vereda Canavita, Km 20.5 Autopista Norte
Tocancipá Cundinamarca Colombia
phone: +57 1 878 6333
e-mail: sika_colombia@co.sika.com
web: col.sika.com



SikasetNC_es_CO_(12-2017)_1_1.pdf

Hoja de Datos del Producto
Sikaset® NC
Diciembre 2017, Versión 01.01
021402021000000038



ANEXO H. HOJA TÉCNICA ADITIVO VISCOCRETE-10-HE

CONSTRUYENDO CONFIANZA



HOJA TECNICA DE PRODUCTO

Sika® ViscoCrete® -10 HE

HIPERPLASTIFICANTE ACELERANTE DE RESISTENCIAS SIN CLORUROS

DESCRIPCION	Sika ViscoCrete 10 HE es un aditivo líquido, superfluidificante, reductor de agua de alto desempeño y reductor de cemento, con poder acelerante sobre las resistencias del concreto. Promueve la rápida ganancia de resistencia del concreto a edades tempranas. No contiene cloruros.
USOS	<ul style="list-style-type: none">• En plantas de prefabricados, cuando se desee reducir costos en insumos, tiempos de descimbrado, transmisión de esfuerzos y curado al vapor.• Cuando se exige una alta resistencia inicial entre 8 y 24 horas sin el uso de cloruros.• Permite un rápido acabado y afinado de la superficie del concreto aún a muy bajas temperaturas. Por lo anterior se recomienda especialmente su uso para la elaboración de pavimentos y losas de concreto en épocas de intenso frío o cuando se requiera una rápida puesta en uso de las estructuras.• No contiene cloruros, por lo cual puede usarse en todo tipo de estructuras reforzadas, así como en estructuras pretensadas o postensadas.• Para la fabricación del concreto en estructuras elaboradas mediante sistemas industrializados de construcción como Contech y Outinord.
VENTAJAS	El Sika ViscoCrete 10 HE ofrece las siguientes ventajas: <ul style="list-style-type: none">• Conduce a una mejor dispersión del cemento en la mezcla lográndose una excelente consistencia plástica sin pérdida de cohesividad.• Reduce el agua de mezcla hasta un 40%, dependiendo de la dosificación utilizada.• Incrementa la resistencia inicial del concreto en más del 50% y la resistencia final hasta en un 40% dependiendo del grado de reducción de agua alcanzado, comparado con un concreto de iguales características, composición y asentamiento.• Reduce los tiempos de curado al vapor en prefabricados• No contiene cloruros
MODO DE EMPLEO	Agregar Sika ViscoCrete 10 HE a la mezcla de concreto o mortero ya preparada. Dejar mezclar mínimo 1 minuto por cada m ³ de concreto. Dosificación: Para la elaboración de concretos de buena fluidez y altísima resistencia inicial dosificar Sika ViscoCrete 10 HE entre el 0,3% y el 1,5% del peso del cemento. Se recomienda realizar ensayos previos con los materiales y en las condiciones de la obra, para determinar la óptima dosificación del aditivo.
DATOS TECNICOS	Aspecto: Líquido color mostaza a amarillento, ligeramente viscoso. Densidad: 1.11 +/- 0.03 kg/l pH: 4 mínimo
PRECAUCIONES	La elaboración de concreto o mortero fluido exige el cumplimiento de ciertos parámetros. <ul style="list-style-type: none">• Una muy buena distribución granulométrica.

Hoja Técnica de Producto
Sika ViscoCrete 10 HE
Versión: 01/2015

ANEXO I.

HOJA TÉCNICA ADITIVO VISCOCRETE-10-HE (CONTINUACIÓN)

	<ul style="list-style-type: none">• Adecuado contenido de finos (cemento + material pasa tamiz No. 30 igual o mayor a 350 kg/m³).• En caso de deficiencia de finos dosificar Sika Aer D para incorporar hasta un 4% de aire en la mezcla.• Sika ViscoCrete 10 HE es compatible con aditivos incorporadores de aire, dosificar por separado en el agua de mezcla.
MEDIDAS DE SEGURIDAD	Manténgase fuera del alcance de los niños. Usar guantes de caucho y gafas de protección en su manipulación. Consultar Hoja de Seguridad del producto.
PRESENTACION	Tambor de 230 kg y Granel
ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE	Un (1) año en sitio fresco y bajo techo, en su envase original, bien cerrado. Para su transporte deben tomarse las precauciones normales de productos químicos.
CODIGOS R/S	



Responsabilidad Integral
Sika Colombia S.A.
Vereda Canavita, km 20.5
Autopista Norte, Tocancipá
Conmutador: 878 6333
Colombia - web:col.sika.com

Hoja Técnica de Producto
Sika ViscoCrete 10 HE
Versión: 01/2015

80

NOTA

La información, y en particular las recomendaciones relacionadas con la aplicación y uso final de los productos **Sika**, se proporcionan de buena fe, con base en el conocimiento y la experiencia actuales de **Sika** sobre los productos que han sido apropiadamente almacenados, manipulados y aplicados bajo condiciones normales de acuerdo con las recomendaciones de **Sika**. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones actuales de las obras son tales, que ninguna garantía con respecto a la comercialidad o aptitud para un propósito particular, ni responsabilidad proveniente de cualquier tipo de relación legal pueden ser inferidos ya sea de esta información o de cualquier recomendación escrita o de cualquier otra aseveración ofrecida. El usuario del producto debe probar la idoneidad del mismo para la aplicación y propósitos deseados. **Sika** se reserva el derecho de cambiar las propiedades de los productos. Los derechos de propiedad de terceras partes deben ser respetados. Todas las órdenes de compra son aceptadas con sujeción a nuestros términos de venta y despacho publicadas en la página web: col.sika.com. Los usuarios deben referirse siempre a la versión local más reciente de la Hoja Técnica del Producto cuya copia será suministrada al ser solicitada.

CONSTRUYENDO CONFIANZA



ANEXO J. FORMATO ENCUESTA



ENCUESTA

Nombre del encuestador: _____ N° de encuestador: _____

Nombre del encuestado: _____ N° de encuesta: _____

Hora de comienzo: ___ : ___

Hora de finalización: ___ : ___

Gracias por realizar la encuesta de investigación sobre el desempeño del motero de cemento ART de la empresa SOLUCIONES EN DISEÑO E INGENIERIA S.A.S. No tardará más de cinco minutos en completarla y nos será de gran ayuda para mejorar nuestro proyecto. Los datos que en ella se consignan se tratarán de forma anónima.

Clasifique su nivel de satisfacción de acuerdo con la siguiente escala de clasificación:

1 = PÉSIMO 2 = REGULAR 3 = ACEPTABLE 4 = BUENO 5 = EXCELENTE

¿En qué nivel es importante para este proyecto la implementación de aditivos que incrementen la resistencia del mortero y por ende la disminución de fracturas?

1 2 3 4 5

¿En qué nivel se tiene en cuenta las recomendaciones dadas por parte de la empresa para mantener la integridad de la tubería y su protección mortero de cemento?

1 2 3 4 5

¿Considera usted que la resistencia del mortero es la suficiente para soportar las cargas que se le aplican en este proyecto?

1 2 3 4 5

¿En qué nivel se tiene en cuenta por parte de la cuadrilla el plástico que mantiene la humedad del mortero?

1 2 3 4 5

Fuente Elaboración propia

ANEXO K. FORMATO ENCUESTA (CONTINUACIÓN)



¿En qué nivel es común la aparición de fracturas en los morteros de la empresa SOLUCIONES EN DISEÑO E INGENIERIA S.A.S.?

1 2 3 4 5

En el momento en que se presenta una fractura al mortero utilizado como protección ¿En qué nivel se hace el debido mantenimiento correctivo?

1 2 3 4 5

¿En qué nivel de satisfacción se siente con respecto al tipo de protección que se le da a la tubería que es utilizada en el proyecto?

1 2 3 4 5

Nos podría describir en pocas palabras el proceso y los cuidados que hay desde la recepción del producto hasta su disposición final.

Fuente Elaboración propia

ANEXO L. FORMATO PIEZA 103 PRUEBA PILOTO (SDI)

CARACTERÍSTICAS GENERALES

DIAMETRO NOMINAL $\varnothing 10"$
 PRECISION=300 psi
 ANGULO DE FABRICACION 135°11'7"
 ANGULO DE CORTE 6°55'38"
 RADIO DEL CODO 722 mm
 NUMERO DE CORTES (UNO)

DESARROLLO DE EL CODO

TUBO SCHEDULE 40 $\varnothing 12"$ LONG. 5974 mm
 REVESTIMIENTO INTERIOR= 20 mm DE MORTERO
 REVESTIMIENTO EXTERIOR= 19 mm DE MORTERO

Se aclara que la fabricación del accesorio se debe realizar con tubería Schedule 40 de $\varnothing 12"$ y marcar con $\varnothing 10"$

ANILLO RETENEDOR ESP 6 mm
 \varnothing INT=298 mm - \varnothing EXT=298 mm
 HOMBRO = 20 mm
 AMBOS EXTREMOS

NOTAS:

DIMENSIONES EN MILIMETROS Y SIN ESCALA (SALVO INDICACION CONTRARIA)
 APLICAR PINTURA ANTICORROSIVA SOBRE SUPERFICIES METALICAS EXPUESTAS

MATERIAL	ESPECIFICACION	GRADO DE LIMEZ/DEL MATERIAL
ACERO	ASTM . A57	SSC - SP - 1 (B/NV GRASA)
ARENA	ASTM C33 - NTC 174 - EXCEPTO REQUISITOS DE GRANIZACION	SSC - SP - 2 (PABA APLICACION DE PINTURA)
CEMENTO	PPS . ART . ASTM C157 - NTC . 121	

Soluciones en Diseño e Ingeniería S.A.S.
 NIT 900.677.124-5
 14.00

OF : 135 | PIEZA No: 103
 DISEÑO: J.T.F.
 RENISO: W.VU.
 APROBO:

SDI SOLUCIONES EN DISEÑO E INGENIERIA.
 REDYCO
 PROYECTO LAS FLORES MEDELLIN
 CODO EN ACERO $\varnothing 10"$ ANGULO DE 135°11'7" EL / EL
 PRECISION = 300 PSI

REVISION	POR	FECHA	DESCRIPCION	CTL.PROD.	APROBO:	DIBUJO No.	FECHA.	H.H.
						135 - 100	20190805	

Fuente Soluciones en Diseño e Ingeniería S.A.S.

**ANEXO M.
RESULTADOS ENCUESTA**

NÚMERO DE PREGUNTA	NOMBRE DEL ENCUESTADO	RESPUESTA
1	Horacio Camargo.	4
2		5
3		5
4		4
5		2
6		5
7		5
1	Michael Chaparro.	4
2		4
3		4
4		4
5		5
6		4
7		4
1	Enrique Larrota.	5
2		4
3		5
4		5
5		3
6		4
7		5
1	Juan Manuel Ortiz.	4
2		5
3		5
4		5
5		2
6		4
7		4
1	José Néstor Agudelo.	5
2		5
3		4
4		4
5		2
6		5
7		4
1		5
2		4

Fuente Elaboración propia

**ANEXO N.
RESULTADOS ENCUESTA (CONTINUACIÓN)**

3	Julio Rocha.	4	
4		4	
5		2	
6		5	
7		5	
1		Carlos Mantilla.	4
2			4
3	4		
4	4		
5	2		
6	4		
7	5		
1	Camilo Cifuentes.	5	
2		5	
3		5	
4		5	
5		2	
6		4	
7		5	
1	Jorge Ardila.	5	
2		5	
3		5	
4		5	
5		5	
6		2	
7		4	
1	Carlos Garzón.	4	
2		4	
3		4	
4		4	
5		1	
6		5	
7		5	

Fuente Elaboración propia