

UNIVERSIDAD LATINA DE COSTA RICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS DE
INFORMACIÓN
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Propuesta de Trabajo Final de Graduación para optar por el grado académico
de Licenciatura en Ingeniería Civil

Tesis de Grado

**DETERMINAR LA COMPARACIÓN DE LA INFLUENCIA QUE
TIENEN DOS AGREGADOS DE DIFERENTE PROCEDENCIA EN
LAS MEZCLAS DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA DE $f'_c =$
50 MPa UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DEL ACI 211.4**

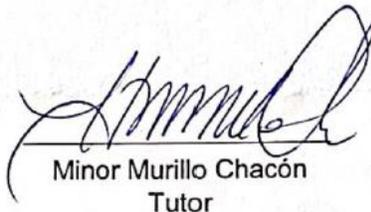
Sustentante: Laureano Sáenz González

San Pedro, abril 2023

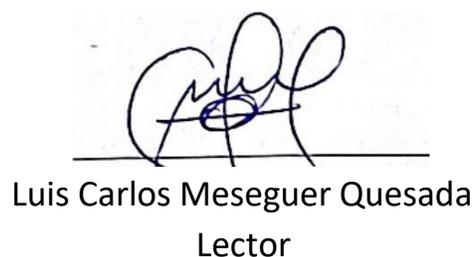


Tribunal Examinador

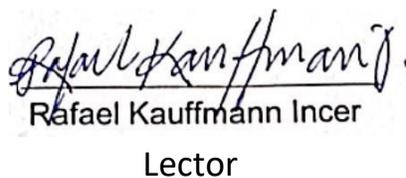
Este proyecto titulado: Determinar la comparación de la influencia que tienen dos agregados de diferente procedencia en las mezclas de concreto de alta resistencia de $f'c=50\text{MPa}$ utilizando la metodología del ACI 211.4, por el (la) estudiante: Sáenz González Laureano, fue aprobado por el Tribunal Examinador de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Latina, Sede San Pedro, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil:



Minor Murillo Chacón
Tutor



Luis Carlos Meseguer Quesada
Lector



Rafael Kauffmann Incer
Lector

Declaración Jurada

Yo, Laureano Sáenz González estudiante de la Universidad Latina de Costa Rica, declaro bajo la fe de juramento y consciente de las responsabilidades penales de este acto, que soy Autor Intelectual del Proyecto de Graduación titulado:

Determinar la comparación de la influencia que tienen dos agregados de diferente procedencia en las mezclas de concreto de alta resistencia $f'c=50\text{MPa}$ utilizando la metodología del ACI 211.4.

por lo que libero a la Universidad de cualquier responsabilidad en caso de que mi declaración sea falsa.

Firmo en San Juan La Unión Tres Ríos, 5 de Mayo de 2023.



Laureano Sáenz González

Licencia De Distribución No Exclusiva (carta de la persona autora para uso didáctico)
Universidad Latina de Costa Rica

Yo (Nosotros): Laureano Sáenz González

De la Carrera / Ingeniería Civil
Programa:

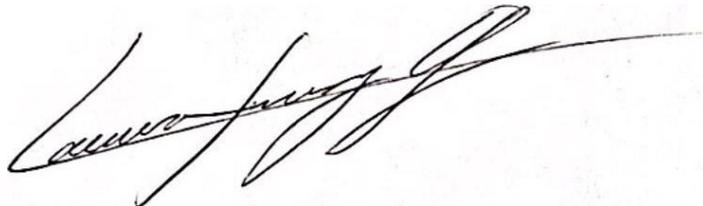
Modalidad de Proyecto de Graduación TFG:

Titulado: Determinar la comparación de la influencia que tienen dos agregados de diferente procedencia en las mezclas de concreto de alta resistencia de $f_c=50$ MPa utilizando la metodología del ACI 211.4.

Al firmar y enviar esta licencia, usted, el autor (es) y/o propietario (en adelante el "AUTOR"), declara lo siguiente: PRIMERO: Ser titular de todos los derechos patrimoniales de autor, o contar con todas las autorizaciones pertinentes de los titulares de los derechos patrimoniales de autor, en su caso, necesarias para la cesión del trabajo original del presente TFG (en adelante la "OBRA"). SEGUNDO: El AUTOR autoriza y cede a favor de la UNIVERSIDAD U LATINA S.R.L. con cédula jurídica número 3-102-177510 (en adelante la "UNIVERSIDAD"), quien adquiere la totalidad de los derechos patrimoniales de la OBRA necesarios para usar y reusar, publicar y republicar y modificar o alterar la OBRA con el propósito de divulgar de manera digital, de forma perpetua en la comunidad universitaria. TERCERO: El AUTOR acepta que la cesión se realiza a título gratuito, por lo que la UNIVERSIDAD no deberá abonar al autor retribución económica y/o patrimonial de ninguna especie. CUARTO: El AUTOR garantiza la originalidad de la OBRA, así como el hecho de que goza de la libre disponibilidad de los derechos que cede. En caso de impugnación de los derechos autorales o reclamaciones instadas por terceros relacionadas con el contenido o la autoría de la OBRA, la responsabilidad que pudiera derivarse será exclusivamente de cargo del AUTOR y este garantiza mantener indemne a la UNIVERSIDAD ante cualquier reclamo de algún tercero. QUINTO: El AUTOR se compromete a guardar confidencialidad sobre los alcances de la presente cesión, incluyendo todos aquellos temas que sean de orden meramente institucional o de organización interna de la UNIVERSIDAD SEXTO: La presente autorización y cesión se regirá por las leyes de la República de Costa Rica. Todas las controversias, diferencias, disputas o reclamos que

podieran derivarse de la presente cesión y la materia a la que este se refiere, su ejecución, incumplimiento, liquidación, interpretación o validez, se resolverán por medio de los Tribunales de Justicia de la República de Costa Rica, a cuyas normas se someten el AUTOR y la UNIVERSIDAD, en forma voluntaria e incondicional. SÉPTIMO: El AUTOR acepta que la UNIVERSIDAD, no se hace responsable del uso, reproducciones, venta y distribuciones de todo tipo de fotografías, audios, imágenes, grabaciones, o cualquier otro tipo de presentación relacionado con la OBRA, y el AUTOR, está consciente de que no recibirá ningún tipo de compensación económica por parte de la UNIVERSIDAD, por lo que el AUTOR haya realizado antes de la firma de la presente autorización y cesión. OCTAVO: El AUTOR concede a UNIVERSIDAD., el derecho no exclusivo de reproducción, traducción y/o distribuir su envío (incluyendo el resumen) en todo el mundo en formato impreso y electrónico y en cualquier medio, incluyendo, pero no limitado a audio o video. El AUTOR acepta que UNIVERSIDAD. puede, sin cambiar el contenido, traducir la OBRA a cualquier lenguaje, medio o formato con fines de conservación. NOVENO: El AUTOR acepta que UNIVERSIDAD puede conservar más de una copia de este envío de la OBRA por fines de seguridad, respaldo y preservación. El AUTOR declara que el envío de la OBRA es su trabajo original y que tiene el derecho a otorgar los derechos contenidos en esta licencia. DÉCIMO: El AUTOR manifiesta que la OBRA y/o trabajo original no infringe derechos de autor de cualquier persona. Si el envío de la OBRA contiene material del que no posee los derechos de autor, el AUTOR declara que ha obtenido el permiso irrestricto del propietario de los derechos de autor para otorgar a UNIVERSIDAD los derechos requeridos por esta licencia, y que dicho material de propiedad de terceros está claramente identificado y reconocido dentro del texto o contenido de la presentación. Asimismo, el AUTOR autoriza a que en caso de que no sea posible, en algunos casos la UNIVERSIDAD utiliza la OBRA sin incluir algunos o todos los derechos morales de autor de esta. SI AL ENVÍO DE LA OBRA SE BASA EN UN TRABAJO QUE HA SIDO PATROCINADO O APOYADO POR UNA AGENCIA U ORGANIZACIÓN QUE NO SEA UNIVERSIDAD U LATINA, S.R.L., EL AUTOR DECLARA QUE HA CUMPLIDO CUALQUIER DERECHO DE REVISIÓN U OTRAS OBLIGACIONES REQUERIDAS POR DICHO CONTRATO O ACUERDO. La presente autorización se extiende el día 5 de Mayo de 2023 a las 6:00 pm

Firma del estudiante(s):



Chaves y Sánchez filólogos

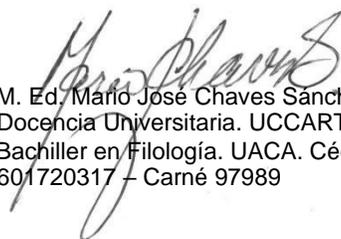
A QUIEN INTERESE

Yo, Mario José Chaves Sánchez, máster en Docencia Universitaria de la Universidad Continental de las Ciencias y las Artes, y bachiller en Filología de la Universidad Autónoma de Centroamérica; con cédula de identidad 6-0172-0317; inscrito en el Colegio de Licenciados y Profesores, con el carné N.º 97989, hago constar que he revisado el documento desde el punto de vista filológico. Se han corregido en él los errores encontrados en ortografía, redacción, gramática y sintaxis. El cual se intitula:

Determinar la Comparación de la Influencia que Tienen Dos Agregados de Diferente Procedencia en las Mezclas de Concreto de Alta Resistencia de $f'_c = 50 \text{ MPa}$ Utilizando la Metodología del ACI 211.4

De: Laureano Sáenz González

Se extiende la presente certificación a solicitud del interesado en la ciudad de San José a los cinco días del mes de mayo de dos mil veintitrés. El filólogo no se hace responsable por los cambios que se le introduzcan al trabajo posteriormente a su revisión.



M. Ed. Mario José Chaves Sánchez Máster en Docencia Universitaria. UCCART.
Bachiller en Filología. UACA. Cédula 601720317 – Carné 97989

MARIO JOSE
CHAVES
SANCHEZ
(FIRMA)

Firmado digitalmente por
MARIO JOSE CHAVES
SANCHEZ (FIRMA)
Fecha: 2023.05.05
16:44:25 -06'00'

Waze y Facebook: *Chaves y Sánchez filólogos*
Teléfonos 2227-8513. Cel 8394-4475
mariochavess@hotmail.com / info@chavesysanchezfilólogos.com Página
web: *chavesysanchezfilólogos.com*

Tabla de Contenidos

Tribunal Examinador	ii
Declaración Jurada	iii
Licencia de Distribución No Exclusiva	iv
Certificación del Filólogo	vi
Tabla de Contenidos	vii
Índices de tablas	x
Índice de Figuras	xiii
Índice de Gráficos	xvi
Capítulo I	
Problema y Propósito	17
Estado Actual del Objeto en Estudio (Antecedentes del Problema)	18
Planteamiento del Problema de Estudio	20
Enunciado del Problema	22
Formulación del Problema	24
Justificación del Problema	24
Objetivos	25
Objetivos Específicos	25
Alcances y Limitaciones	26
Alcances	26
Limitaciones	26
Delimitaciones	27
Delimitación Espacial	27
Delimitación Temporal	27
Capítulo II	
Fundamentación teórica	28
Concreto	29
Concreto Normal	29

Concreto de Alta Resistencia	30
Agregados	31
Contenido de Humedad en los Agregados	33
Cemento Hidráulico	34
Tipo de Cemento/grado de sustitución (tipo de adiciones) – clase de resistencia – característica especial	36
Concreto en Estado Fresco	40
Elaboración de Especímenes Cilíndricos	45
Lugar de Moldeo	45
Concreto en Estado Endurecido	47
Curado del Concreto	48
Curado por Inmersión	48
Ambiente de Curado	48
Tiempo y Temperatura de Curado	49
Resistencia a la Compresión	51
Durabilidad del Concreto	54
Relación A/C para Concretos de Alta Resistencia	55
Permeabilidad para Concretos de Alta Resistencia	56
Capítulo III	
Marco Metodológico	57
Paradigma de Investigación	58
Enfoque Metodológico	58
Métodos de Investigación	59
Categoría de análisis de la Investigación	60
Sujetos en Investigación	61
Sustentación de la confiabilidad y validez de los instrumentos de la investigación	62
Población	64
Agregados	64
Muestra.	65
Caracterización de Agregados Atlántico	65
Caracterización de Agregados Mezclas Guápiles-AMCO	65
Caracterización de Agregado Fino Atlántico	66

Caracterización de Agregados Pacífico	66
Caracterización de Agregados Mezclas Barranca-Garita	67
Caracterización de Agregado Fino Pacífico	67
Técnicas de Muestreo.	68
Combinación de Agregados Mezclas	68
Combinación de Agregados Mezclas Guápiles-AMCO	69
Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	71
Técnicas e instrumentación para el procesamiento y análisis de datos	72
Cronograma de Ensayos Estructurados	72
Capítulo IV	
Diseño de Mezcla	75
Elaboración de Diseño de Mezcla	76
Contenidos de Humedad	79
Mezclas De Concreto	81
Capítulo V	87
Análisis de Resultados	87
Capítulo VI	
Conclusiones y recomendaciones	115
Referencias Bibliográficas	118
Anexos	121
Anexo N.º 1. Fotos de las fichas técnicas de los agregados utilizados.	122
Anexo N.º 2. Fotos de los ensayos realizados y resultados obtenidos.	137
Anexo N.º 3. Respuesta a las Entrevistas.	148
Anexo N.º 4. Entrevista al Ing. Douglas Sáenz.	153

Índices de tablas

Tabla No. 1 Tipos de Resistencia a la Compresión	21
Tabla N.º 2 Tipos de Cemento Hidráulico	34
Tabla N.º 3 Composición de los Cemento Hidráulico para su clasificación	35
Tabla N.º 4 Resistencia a la compresión	35
Tabla N.º 5 Número de capas requeridas por especímenes	46
Tabla N.º 6 Diámetro de varilla y número de golpes con varilla (envarillado) para utilizar en el moldeo de especímenes de ensayo	47
Tabla N.º 7 Tolerancias según la edad de fallas	53
Tabla N.º 8 Tipos de Fallas	53
Tabla N.º 9 Estándares de Control de Concreto	54
Tabla N.º 10 Fuentes de Investigación	59
Tabla N.º 11 Cuestionario	60
Tabla N.º 12. Sujetos de investigación	61
Tabla N.º 13. Variables	63
Tabla N.º 14 Caracterización de Agregados Atlántico	65
Tabla N.º. 15 Caracterización de Agregados Grueso Atlántico	65
Tabla N.º 16 Caracterización de Agregado Fino Atlántico	66
Tabla N.º 17 Caracterización de Agregados Pacífico	66
Tabla N.º 18 Caracterización de Agregado Grueso Pacífico	67
Tabla N.º 19 Caracterización de Agregado Fino Pacífico	67
Tabla N.º 20 Combinación de Agregados	68
Tabla N.º 21 Porcentajes de Participación	69

	11
Tabla N.º 22 Porcentajes de Participación	70
Tabla N.º 23 Equipo	72
Tabla N.º 24 Resumen Diseño de Mezcla	79
Tabla N.º 25 Propiedades del Concreto Fresco, Mezcla N.º 1	88
Tabla N.º 26 Propiedades del Concreto Fresco, Mezcla N.º 2	88
Tabla N.º 27 Propiedades del Concreto Fresco, Mezcla N.º 3	88
Tabla N.º 28 Propiedades del Concreto Fresco, Mezcla N.º 4	89
Tabla N.º 29 Propiedades del Concreto Fresco, Mezcla N.º 1	89
Tabla N.º 30 Propiedades del Concreto Fresco, Mezcla N.º 2	89
Tabla N.º 31 Propiedades del Concreto Fresco, Mezcla N.º 3	90
Tabla N.º 32 Propiedades del Concreto Fresco, Mezcla N.º 4	90
Tabla N.º 33 Propiedades del Concreto Fresco, Mezcla de Prueba	90
Tabla N.º 34 Temperatura Ambiente	91
Tabla N.º 35 Barranca-Garita	92
Tabla N.º 36 Guapiles-AMCO	92
Tabla N.º 37 Resultados a Compresión, Mezcla N.º 1.	93
Tabla N.º 38 Resultados a Compresión, Mezcla N.º 1.	93
Tabla N.º 39 Resultados a Compresión, Mezcla N.º 1.	94
Tabla N.º 40 Resultados a Compresión, Mezcla N.º 2.	94
Tabla N.º 41 Resultados a compresión, Mezcla N.º 2.	94
Tabla N.º 42 Resultados a Compresión, Mezcla N.º 2.	95
Tabla N.º 43 Resultados a Compresión, Mezcla N.º 3.	95
Tabla N.º 44 Resultados a Compresión, Mezcla N.º 3.	95
Tabla N.º 45 Resultados a Compresión, Mezcla N.º 3.	96
Tabla N.º 46 Resultados a Compresión, Mezcla N.º 4.	96

Tabla N.º 47 Resultados a Compresión, Mezcla N.º 4.	96
Tabla N.º 48 Resultados a Compresión, Mezcla N.º 4.	97
Tabla N.º 49 Resultados a Compresión, Mezcla N.º 1.	97
Tabla N.º 50 Resultados a Compresión, Mezcla N.º 1.	97
Tabla N.º 51 Resultados a Compresión, Mezcla N.º 1.	98
Tabla N.º 52 Resultados a Compresión, Mezcla N.º 2.	98
Tabla N.º 53 Resultados a Compresión, Mezcla N.º 2.	98
Tabla N.º 54 Resultados a Compresión, Mezcla N.º 2.	99
Tabla N.º 55 Resultados a Compresión, Mezcla N.º 3.	99
Tabla N.º 56 Resultados a Compresión, Mezcla N.º 3.	99
Tabla N.º 57 Resultados a Compresión, Mezcla N.º 3.	100
Tabla N.º 58 Resultados a Compresión, Mezcla N.º 4.	100
Tabla N.º 59 Resultados a Compresión, Mezcla N.º 4.	100
Tabla N.º 60 Resultados a Compresión, Mezcla N.º 4.	101
Tabla N.º 61 Resultados a Compresión, Mezcla de Prueba.	101
Tabla N.º 62 Resultados a Compresión, Mezcla de Prueba.	101

Índice de Figuras

Imagen N.º 1 Cemento Hidráulico Industrial Holcim	36
Imagen N.º 2 Mezcladora estacionaria.	41
Imagen N.º 3 Curado por Inmersión	49
Imagen N.º 4 Máquina de Fallas	52
Imagen N.º 5 Relación A/C, Porosidad y Durabilidad	56
Imagen N.º 6 Agregados	64
Imagen N.º 7 Mezcla de Prueba N.º 1 Barranca-Garita	77
Imagen N.º 8 Contenidos de Humedad	80
Imagen N.º 9 Horno	80
Imagen N.º 10 Mezclas de Concreto	82
Imagen N.º 11 Ensayo de Asentamiento	82
Imagen N.º 12 Ensayo de Densidad del Concreto	83
Imagen N.º 13 Ensayo de Temperatura	83
Imagen N.º 14 Moldeo de Especímenes Cilíndricos	84
Imagen N.º 15 Cilindros Moldeados	84
Imagen N.º 16 Curado por Inmersión de Especímenes	85
Imagen N.º 17 Ensayo de Resistencia a la Compresión, edad 3 días, Mezcla N.º.	85
Imagen N.º 18 Ensayo de Resistencia a la Compresión, edad 7 días, Mezcla N.º 2	86
Imagen N.º 19 Ensayo de Resistencia a la Compresión, edad 28 días, Mezcla N.º. 4	86
Imagen N.º 20 Porosidad	107
Imagen N.º 21. Ficha Técnica, Piedra 19 mm, Agregados Guápiles	122
Imagen N.º 22. Ficha Técnica, Piedra 12,5 mm, Agregados AMCO	125
Imagen N.º 23. Ficha Técnica, Arena de río, Agregados AMCO	126
Imagen N.º 24. Ficha Técnica, Arena industrial, Agregados AMCO	127

Imagen N.º 25. Ficha Técnica, Piedra 19 mm, Agregados Barranca	128
Imagen N.º 26. Ficha Técnica, Piedra 12,5 mm, Agregados Barranca	130
Imagen N.º 27. Ficha Técnica, Arena industrial, Agregados Barranca	132
Imagen N.º 28. Ficha Técnica, Arena de río, Agregados Tajo La Garita	134
Imagen N.º 29 – Grading Requirements For Fine Aggregate	136
Imagen N.º 30 – Asentamiento	137
Imagen N.º 31 – Recipiente de Peso Unitario	137
Imagen N.º 32 – Ensayo de Peso Unitario	138
Imagen N.º 33 – Temperatura	138
Imagen N.º 34 – Condiciones Ambientales	139
Imagen N.º 35 – Elaboración de Especímenes	139
Imagen N.º 36 – Cilindros	140
Imagen N.º 37 – Curado por Inmersión	140
Imagen N.º 38 – Muestreo de Mezcla de Concreto	141
Imagen N.º 39 – Desmoldeo de Cilindros	141
Imagen N.º 40 – Maquina De Fallas	142
Imagen N.º 41 – Porosidad Cilindros	142
Imagen N.º 42 – Fallas Cilindros	143
Imagen N.º 43 – Fallas Cilindros	143
Imagen N.º 44 – Fallas Cilindros	144
Imagen N.º 45 – Fallas Cilindros	144
Imagen N.º 46 – Fallas Cilindros	145
Imagen N.º 47 – Fallas Cilindros	145
Imagen N.º 48 – Resistencia a la Compresión	146
Imagen N.º 49 – Resistencia a la Compresión	146

Imagen N.º 50 – Resistencia a la Compresión	147
Imagen N.º 51 – Resistencia a la Compresión	147

Índice de Gráficos

Gráfica N° 1 Curva Granulométrica, Mezcla Guápiles-AMCO.	70
Gráfica N° 2 Curva Granulométrica, Mezcla Barranca-Garita.	71
Gráfico N.° 3 Peso Unitario	102
Gráfico N.° 4 Variaciones de Temperatura	103
Gráfico N.° 5 Variaciones de Parámetros de Mezcla Barranca Garita	105
Gráfico N.° 6 Variaciones de Parámetros de Mezcla Guápiles-AMCO	105
Gráfico N.° 7 Relación A/C	106
Gráfico N.° 8 Relación A/C vs Agua de la Mezcla	107
Gráfico N.° 9 Relación A/C vs Agua de la Mezcla	108
Gráfico N.° 10 Curva de Ganancia de Resistencia Por Día	109
Gráfico N.° 11 Curva de Desarrollo de Resistencia (Barranca-Garita)	110
Gráfico N.° 12 Curva de Desarrollo de Resistencia (Guápiles-AMCO)	111
Gráfico N.° 13 Curva de Desarrollo de Resistencia Promedio	112
Gráfico N.° 14 Eficiencia	114

Capítulo I

Problema y Propósito

Estado Actual del Objeto en Estudio (Antecedentes del Problema)

Primeramente, se hablará un poco de la historia que ha tenido el uso de concreto de alta resistencia:

In India, there are cases of using high strength concrete for prestressed concrete bridges. The first prestressed concrete bridge was built in 1949 for the Assam Rail Link at Siliguri. In fifty's a number of prestressed concrete structures were built using concrete of strength from 35 MPa to 45 MPa.

But strength of concrete more than 35 MPa was not commonly used in general construction practices. Probably concrete of strength more than 35 MPa was used in large scale in Konkan Railway project during early 90's and concretisation of Mumbai Municipal Corporation Roads. It is only during 90's use of high strength concrete has taken its due place in Indian construction scenario. Of late concrete of strength varying from 45 MPa to 60 MPa has been used in high rise buildings at Mumbai, Delhi and other Metropolitan cities. (Shetty, M.S., 2000, p. 318). "Vidya Sagar Setu at Kolkata where longest cable stayed bridge (in India) was built using high strength concrete". (Shetty, M. S., 2000, p. 318)

Seguidamente en esta parte se pretende mostrar una serie de documentos encontrados mediante una investigación bibliográfica preliminar, los cuales van a servir de base para la realización de esta investigación.

En el Proyecto de Graduación "Evaluación de las propiedades de concretos de mediana resistencia producidos con insumos disponibles en Costa Rica" realizado por Solís (2021) se elaboraron mezclas con un $f'c$ entre 20,6 MPa (210 kg/cm²) y 41,2 MPa (420 kg/cm²) según las recomendaciones del ACI, con distintos agregados seleccionados y cemento de uso general nacional. Solís afirma que se puede lograr la producción con una trabajabilidad adecuada (asentamiento de 90 mm) y relaciones agua/cemento bajas de 0,46 sin utilizar aditivos. Solís también afirma que la producción de concretos de mediana resistencia de hasta 450 kg/cm² es factible con los insumos disponibles en el mercado nacional y técnicas de mezclado convencionales de concreto producido en sitio. La investigación es de interés para el siguiente estudio, dado que primero se implementó el uso de agregados de río provenientes de Guápiles y, además, con los resultados de resistencias y bien, la relación agua-cemento utilizada se pueden utilizar como referencia.

Arias (2019), en su Proyecto de graduación titulado “Determinación a la resistencia a la compresión y módulo de ruptura de concretos elaborados con dos tipos de cemento de uso comercial en Costa Rica bajo distintas condiciones de curado”, determinó las curvas de desarrollo de resistencia a la compresión del concreto para 7, 28 y 56 días, según el tipo de cemento utilizado para cada curado y diseño de mezcla.

Arias afirmó que el tipo de curado tiene mayor importancia después de los siete días, situación que se ve reflejada para ambos tipos de cemento y los tres diseños de mezcla, en los que las diferencias a los siete días son mucho más bajas que a los 28 días y 56 días. Para la presente investigación es de mucho interés los tipos de curado y, por supuesto, ver cuál resulta más efectivo en cuestión de obtención de resistencia.

Meseguer (1987), en su Proyecto de investigación “Producción de Concreto de Mediana Resistencia en Costa Rica”, estableció que la cantidad de agua y la relación agua/cemento son los factores que ejercen mayor influencia en la trabajabilidad de las mezclas de CMR (Concretos de mediana resistencia). Con los resultados obtenidos en dicha investigación, Meseguer recomienda relaciones agua/cemento efectivas por peso para la producción de concretos de mediana resistencia, utilizando agregados recomendados en los puntos mencionados en su tesis:

para resistencias hasta 34 MPa (5000 psi): 0,48

para resistencias hasta 41 MPa (6000 psi): 0,41

para resistencias hasta 48 MPa (7000 psi): 0,30

Además, Meseguer también recomienda un contenido de cemento óptimo de 550 kg/m³ si se quiere resistencias superiores a 48 MPa (7000 psi), pero bien, no superiores a 550 kg/m³ debido a que la trabajabilidad del concreto fresco y la resistencia mecánica del concreto endurecido tienden a disminuir.

Esta investigación tiende a ser de interés, porque ofrece información valiosa conforme al contenido de cemento óptimo que se debe de tener para llegar a la resistencia que se desea y, también, presenta relaciones agua/cemento aptas para resistencias cercanas a lo que se desea llegar.

Planteamiento del Problema de Estudio

Se sabe desde años atrás que, a la hora de realizar una mezcla de concreto, se debe tomar en cuenta varios factores, los cuales influyen de manera directa en este. Entre los factores a tomar en cuenta serían los agregados (grueso y fino), tipo de cemento, dosificación de los materiales, la implementación de aditivos, y finalmente, el $f'c$ al cual se quiere llegar.

El $f'c$ es conocido como la resistencia a la compresión de diseño que se establece dependiendo del fin que tenga el concreto que se vaya a diseñar. Además, la resistencia a compresión del concreto se define como el máximo esfuerzo que se obtiene al someter a un espécimen cilíndrico a carga axial de compresión (Norma ASTM C39). Mencionado lo anterior, se debe adicionar que el $f'c$, dependiendo lo que se desee, se puede establecer en tres subgrupos de resistencia, los cuales se debe de tener en consideración.

Tabla N.º 1. Tipos de Resistencia a la Compresión

Descripción	Resistencia a la compresión	
	<i>Kg/cm²</i>	<i>MPa</i>
Normal	70-420	7-42
Alta resistencia	420-1000	42-100
Ultra alta resistencia	Mayor de 1000	Mayor de 100

Fuente: Materiales de Construcción, Universidad Latina de Costa Rica.

Como se puede observar en el cuadro anterior, existe lo que es la resistencia normal, alta resistencia y ultra alta resistencia que dependen del f^c establecido. El f^c juega uno de los papeles más importantes a la hora de realizar una mezcla de concreto, porque los resultados finales en comparación al f^c dictarán si el concreto cumplió o no con la resistencia a compresión de diseño.

Una vez que se tenga claro lo que es la resistencia a compresión en el concreto y su importancia se puede saltar al segundo punto. Cuando se tiene definido el f^c , se empieza a considerar qué agregados utilizar, dependiendo de sus propiedades para lograr la resistencia a compresión deseada. En esta investigación se usarán agregados provenientes de los tajos de ríos.

Los agregados se definen en dos subgrupos, agregado grueso que sería la piedra y el agregado fino que correspondería a la arena. Los agregados constituyen el 70-80% de la mezcla de concreto, lo cual se menciona para entender la importancia que se debe tener con ellos y la elección de unos agregados con buenas características.

Como último punto por mencionar y no menos importante que los anteriores está el tipo de cemento por implementar, dependiendo el f^c establecido. Existen varios tipos de cemento, los cuales, dependiendo de sus características se implementan a la hora de realizar un concreto con f^c definido. Para efectos de esta tesis se menciona únicamente el cemento de uso general y cemento industrial.

Finalmente, explicando los puntos anteriores, se puede llegar al planteamiento del problema de estudio. Se planea elaborar un concreto con un $f^c=50\text{MPa}$ (alta resistencia) con la implementación de un cemento industrial con agregados de diferente procedencia. Se pretende utilizar agregados de río, unos provenientes de la desembocadura ubicada en el Pacífico y la otra en el Caribe. El fin de esto es para observar cómo dos agregados de diferente

procedencia influyen de manera directa en la mezcla de concreto de alta resistencia ($f'_c=50\text{MPa}$).

Enunciado del Problema

Se debe de tomar en cuenta los factores asociados a la mezcla y bien, cuáles de estos influyen de forma directa a la misma al querer elaborar una mezcla de alta resistencia ($f'_c=50\text{MPa}$). Anteriormente, se habló un poco acerca de lo que son los agregados, cemento y el f'_c del concreto.

Se conoció un poco la importancia de estos y por qué tener bastante consideración al respecto. Aquí se mencionan otros factores importantes y, además, la importancia de realizar el siguiente estudio para lograr resolver el problema planteado anteriormente.

Como ya se conoce lo que son el f'_c del concreto, los agregados y el cemento, se debe hablar del método que se piensa emplear para llegar a realizar esta mezcla. Cuando se va a realizar una mezcla de concreto, se tiende a utilizar un método de diseño, el cual dictará por medio de las propiedades de los materiales las proporciones a utilizar, el más común se le conoce como el ACI 211.1.

El ACI 211.1 es un método que se utiliza para estimar las proporciones a seguir para diseñar concretos con resistencia normal con un f'_c que van de los 13,80 a 41,4MPa. En este caso, se utilizará el método ACI 211.4, el cual es una variación del ACI 211.1, pero este se enfoca en lo que es la alta resistencia o concretos con un f'_c mayores a 41,4MPa.

El ACI 211.4 dictará mediante las propiedades del cemento, agregados y bien el f'_c establecido, cuál debería de ser la dosificación correcta de los materiales. Además, este método dará a conocer más factores importantes a estudiar que influyen a la hora de diseñar un concreto de alta resistencia.

Mencionando lo anterior, se entra ahora con la “relación agua-cemento”, la implementación de aditivos y algunas consideraciones a tomar conforme a los agregados. La relación “agua-cemento” es un factor importante, al cual se le debe prestar bastante atención, debido que, a mayor relación agua-cemento, menor resistencia. De manera resumida, a mayor cantidad de agua utilizada, menos resistencia a compresión tiende a adquirir la mezcla de concreto, por lo que se debe de tener en cuenta esto. La idea con ello es mantener un factor bajo de agua-cemento para obtener una resistencia a la compresión alta.

También la implementación de un aditivo es indispensable para lograr lo que es la alta resistencia en los concretos actuales. De acuerdo con lo estipulado por el método de diseño ACI 211.4, se debe de implementar un “reductor de agua”, lo cual como su nombre lo especifica, reduce la cantidad de agua que se le va a adicionar a la mezcla y, por ende, ayuda a mantener una relación “agua-cemento” óptima o bien, baja para efectos de resistencia. Conforme al agregado grueso, para efectos de alta resistencia se debe considerar la utilización de agregados con un diámetro menor, porque optimiza la resistencia del concreto.

En esta investigación se propone la elaboración de una mezcla de concreto de un $f'c=50\text{MPa}$ con agregados de río de diferente procedencia, implementando la utilización de un cemento industrial y aditivos. Empleando el método ACI 211.4 para obtener una dosificación idónea de agregados para una alta resistencia. Por último, con los resultados de resistencia se comparará la eficiencia de los agregados de diferente procedencia utilizados para ver cuál presenta un mejor comportamiento.

Formulación del Problema

¿Cómo afectan dos tipos de agregados de diferente procedencia en el desempeño de una mezcla de concreto de una resistencia a la compresión de $f'_c = 50 \text{ MPa}$?

Justificación del Problema

La razón por la cual se plantea la realización de esta tesis es la investigación de dos agregados que cuenten con buenas propiedades para poder llevar a cabo un concreto de alta resistencia en este caso de $f'_c = 50 \text{ MPa}$. Si bien, los agregados de ríos del Pacífico y el Caribe son aptos para la realización de un concreto de alta resistencia.

Al final, compararlos para tener un resultado final sobre cuál agregado es más apto para este tipo de concreto. Muchas veces, cuando se elabora este tipo de cementos, se utilizan agregados de buena calidad. Sin embargo, el concreto no llega al f'_c establecido, porque a pesar de tener buenas propiedades no les da para este tipo de concretos de alta resistencia.

Además, estudiar a fondo la aplicación del método ACI 211.4 para la elaboración del concreto de alta resistencia. Conocer bien las consideraciones a tomar cuando se vaya a elaborar este tipo de concretos. Verificar e investigar cómo la implementación de un cemento industrial optimiza las propiedades de este concreto en edades tempranas y ver la función que tienen los aditivos en la mezcla. Hay que tener presente que la dosificación utilizada para los aditivos es algo fundamental para las características de la mezcla de concreto. Una mala dosificación de aditivos puede echar todo a perder.

Actualmente, ya es más común la elaboración de concretos de alta resistencia y aplicación en obras, por lo que analizar la comparación de ambos agregados de diferente procedencia de ríos que rodean el país va a ser bastante beneficioso para futuros proyectos para saber cuál tiene un mejor desempeño y eficiencia.

Objetivos

Objetivo General

Realizar una comparación respecto de la influencia que tienen dos agregados de diferente procedencia en las mezclas de concreto de alta resistencia de $f'_c = 50 \text{ MPa}$ utilizando la metodología del ACI 211.4

Objetivos Específicos

1. Determinar la dosificación por procedencia de los agregados según la metodología ACI 211.4
2. Caracterizar las mezclas de concreto en estado fresco según las Normas ASTM C1064, C143 y C138.
3. Definir el desempeño de los agregados en la mezcla de concreto de alta resistencia al comparar resultados de la resistencia a compresión obtenidos mediante la Norma ASTM C39.

Alcances y Limitaciones

Alcances

- Realizar dos mezclas de concreto de alta resistencia, una por cada procedencia de agregados mediante la dosificación, utilizando la metodología ACI 211.4.
- Comparar el desempeño de los agregados por su procedencia mediante los resultados de la resistencia a compresión.
- Conocer el uso de los aditivos y su aplicación para elaborar un concreto de alta resistencia.
- Se elaboró un total de 84 cilindros pequeños para llevar a cabo esta investigación.

Limitaciones

- El equipo del laboratorio de la Universidad Latina cuando se va a realizar en ensayo de falla por resistencia a compresión (Máquina de Prueba Universal).
- Equipo de la Universidad Latina conforme a los moldes, dado que se elaboró la tesis con moldes pequeños y el equipo de la universidad solo cuenta con moldes grandes.
- Los agregados y cemento industrial provienen de un único lote, por lo que se espera que las características sean las óptimas.
- La falta de experiencia de parte del estudiante cuando va a ejecutar los ensayos de laboratorio puede causar errores en los resultados finales.

Delimitaciones**Delimitación Espacial**

La realización de este trabajo experimental, las mezclas de concreto y los ensayos a realizar en el concreto se llevaron a cabo en el laboratorio de la empresa AMCO ubicado en la Calle Echeverría, Flores, Heredia.

Delimitación Temporal

El tiempo para concluir esta investigación es de un periodo de 16 meses (un año y dos meses).

Capítulo II

Fundamentación teórica

Concreto

Concreto Normal

Se presentará a continuación, una serie de definiciones las cuales ayudarán a comprender lo que es básicamente el concreto y cómo es que se constituye el mismo:

El concreto (hormigón) es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta.

La pasta, compuesta de cemento portland y agua, une los agregados, normalmente arena y grava (piedra triturada, piedra machacada, pedrejón), creando una masa similar a una roca.

(...) La pasta se compone de materiales cementantes, agua y aire atrapado o aire incluido (intencionalmente incorporado). La pasta constituye aproximadamente del 25% hasta 40% del volumen total del concreto” (...) Como los agregados constituyen aproximadamente del 60% al 75% del volumen total del concreto, su selección es muy importante”. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese y Tanesi, 2004, p. 1)

Como se puede leer en las definiciones anteriormente mostradas, se habla de los componentes en los cuales se divide el concreto, lo que serían la pasta y los agregados. La pasta, la cual será constituida siempre por el cemento que se vaya a implementar, dependiendo del uso que se le quiera dar al concreto y, bien, el agua. Los agregados, lo que serían la piedra y arena implementados para realizar la mezcla de concreto.

Para obtener un concreto de buena calidad se tiene que contar con lo mencionado, por supuesto, que se debe tomar las precauciones y cuidados a la hora de su realización para que todo salga tal cual se desea.

La calidad del concreto depende de la calidad de la pasta y del agregado, y de la unión entre los dos. En un concreto adecuadamente confeccionado, cada y toda partícula de agregado es

completamente cubierta por la pasta y todos los espacios entre las partículas de agregados se llenan totalmente con pasta (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese y Tanesi, 2004, p. 2).

El concreto presenta dos estados: **el recién mezclado y el endurecido**. Durante el recién mezclado, la mezcla va a tener un comportamiento semifluido, lo que va a permitir que se pueda moldear. Una vez que el concreto se encuentra en su estado de endurecimiento, este se encuentra totalmente seco y empieza a ganar resistencia.

Concreto de Alta Resistencia

El concreto de alto desempeño (CAD) supera las propiedades y la constructibilidad del concreto convencional. Para producir estos concretos especialmente diseñados, se utilizan materiales normales y especiales, y pueden ser necesarias prácticas especiales de mezclado, colocación (colado) y curado (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese y Tanesi, 2004, p. 355). Entre las características que se resaltan para el Concreto de Alta Resistencia se mencionan las siguientes:

Alta Resistencia

Alta Resistencia Inicial

Alta durabilidad y larga vida en ambientes severos

Baja permeabilidad

Entre las recomendaciones que se mencionan para el *Concreto de Alta Resistencia* serían las siguientes:

Cemento de Alta Resistencia Inicial.

Alto contenido de cemento (400 a 600 kg/m³)

Baja Relación Agua-Cemento (0.20 a 0.45)

Aditivos Químicos

Cabe resaltar que para este trabajo de graduación se va a aplicar el método ACI 211.4 el cual especifica lo siguiente:

“While high-strength concrete is defined in ACI 363.2R as concrete that has a specified compressive strength f_c' of 8000 psi or greater, this guide provides methods for selecting mixture proportions for f_c' greater than 6000 psi” (American Concrete Institute (2008). Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete Using Portland Cement and Other Cementitious Materials (ACI 211.4R-08). Michigan. Estados Unidos. p. 4)

Therefore, high early strength concretes are more prone to cracking than moderate or low strength concrete. Of course, the structural cracks in high strength concrete can be controlled by use of sufficient steel reinforcements. But this practice does not help the concrete durability, as provision of more steel reinforcement, will only results in conversion of the bigger cracks into smaller cracks. (Shetty, M.S., 2000, p. 351)

For production of high strength concrete of the order of 50 MPa or 60 MPa, the w/c ratio become so low that shape of aggregates becomes very important and also the use of superplasticizers becomes essential for the requirement of workability, particularly when concrete is to be transported over long distance and pumped. (Shetty, M. S., 2000, p. 139)

Agregados

Los agregados finos generalmente consisten en arena natural o piedra triturada (partida, machacada, pedrejón arena de trituración) con la mayoría de sus partículas menores que 5 mm (0.2 pulg.). Los agregados gruesos consisten en una o en la combinación de gravas o piedras trituradas con partículas predominantemente mayores que 5 mm (0.2 pulg.) y, generalmente, entre 9.5 mm y 37.5 mm (3/8 y 1 1/2 pulg.) (Kosmatka et al., 2004, p. 103).

Siempre, indispensablemente de la resistencia que se vaya a buscar en la realización de una mezcla de concreto, hay que tener presente o bien, asegurarse de que los agregados gruesos y finos que se estén utilizando tengan buenas propiedades y características para llegar a tener un buen concreto.

El agregado grueso siempre va a ir de la mano del tamaño máximo nominal y el tamaño máximo nominal siempre va a ir mucho en relación con la resistencia que se desea en la mezcla del concreto. Como se mencionó anteriormente, se cuenta con varios tamaños de agregado grueso que van desde los 9.5 a 37.5 mm, los cuales se podrán utilizar dependiendo del concreto que se vaya a elaborar.

Para concretos normales, el uso de un tamaño de máximo nominal de hasta 25 mm es aceptable, porque las resistencias rondan en un valor de 7 a 42 MPa. Los concretos de alta resistencia, en los cuales, sus resistencias rondan entre 42 a 100 MPa, el tamaño máximo nominal tiende a variar un poco. En el libro PCA se menciona que:

En el concreto de alta resistencia (mayor que 700 kg/cm² o 70 MPa [10,000lb/pulg²]), el tamaño máximo es cerca de 19 mm (3/4 pulg.)” (Kosmatka et al., 2004, p. 188) y Muchos estudios han demostrado que el tamaño máximo nominal de 9.5 mm a 12.5 mm (3/8 a 1/2 pulg.) resulta en resistencias más elevadas. (Kosmatka et al., 2004, p. 362)

Una vez que se tenga claro lo anterior y, además, se consulte a ciertos profesionales sobre el tema, se toma como conclusión que, para los concretos de altas resistencias, lo ideal es que el tamaño máximo nominal no sobrepase los 19 mm. Por lo que para llegar a tener un concreto con una buena resistencia siempre hay que estar bien claros y tener presente que va a ver un tamaño máximo nominal idóneo para el mismo.

El agregado fino, por su parte, cumple con la función de darle más consistencia y trabajabilidad a la mezcla de concreto en estado fresco. El libro PCA menciona lo siguiente: “En mezclas más pobres, se desea una granulometría fina (módulo de finura más bajo) para lograr una buena trabajabilidad. En mezclas más ricas, se usa una granulometría más gruesa (mayor módulo de finura) para aumentar la economía” (Kosmatka et al., 2004, p. 188). Conforme al rol que cumple el agregado fino en los concretos de alta resistencia se podría mencionar lo siguiente:

Debido a la gran cantidad de material cementante en el concreto de alta resistencia, el papel del agregado fino (arena) en dar trabajabilidad y características de buen acabado no es tan crucial como en el caso del concreto de resistencia convencional. (Kosmatka et al., 2004, p. 362)

Además, el método ACI 211.4 y el libro PCA aclaran lo siguiente conforme a módulos de finura de agregados finos para concretos de alta resistencia: “La arena con módulo de finura (MF) de cerca de 3.0 – considerada una arena gruesa – se ha mostrado satisfactoria para producir una buena trabajabilidad y alta resistencia a compresión” (Kosmatka et al., 2004, p .362).

Contenido de Humedad en los Agregados

Este ensayo será el único que se aplicará para los agregados a utilizar, debido al rol que cumple el agua para lograr un concreto de alta resistencia. Se sabe que la relación de A/C a utilizar va a ser baja para poder alcanzar altas resistencias, por lo que hay que cuidar el factor del agua lo más que se pueda. Seguidamente se puede leer cuál es el fin de este ensayo:

Los porcentajes de la humedad superficial se usan para calcular la cantidad de agua en los agregados, a fin de que se reduzca la cantidad de agua de la mezcla, usada en la dosificación. Adicionalmente, se debe aumentar la masa de agregados en la dosificación en el porcentaje de humedad superficial presente en cada tipo de agregado. Si no se hacen

ajustes durante la dosificación, el agua superficial va a reemplazar una parte de la masa de agregado y la mezcla no va a rendir adecuadamente. (Kosmatka et al., 2004, p. 328)

Cemento Hidráulico

Seguidamente se presentarán los tipos de cemento hidráulico que hay en Costa Rica:

Tabla N.º 2. Tipos de Cemento Hidráulico

Tipo I	Cemento Portland Ordinario (CPO)
Tipo ME	Cemento Hidráulico Modificado con Escoria de Alto Horno
Tipo MF	Cemento Hidráulico Modificado con Humo de Sílice
Tipo MP	Cemento Hidráulico Modificado con Puzolana, Ceniza volante o Esquisto
Tipo MC	Cemento Hidráulico Modificado con Caliza
Tipo MM	Cemento Hidráulico Modificado Mixto

Nota: adaptado de INTECO C147:2018, por INTECO, (2018, p. 8.)

A continuación, se presentarán la composición de los cemento hidráulico que hay en Costa Rica para su debida clasificación:

Tabla N.º 3. Composición de los Cemento Hidráulico para su clasificación

Tipos	Denominación	Tipo/Grado de sustitución	Clínker	Escoria de Alto Horno	Humo de Sílice	Puzolanas	Caliza	Componentes minoritarios adicionales
Tipo I	Cemento Portland Ordinario (CPO)	Tipo I	95 - 100	-	-	-	-	0 - 5
Tipo MP	Cemento Hidráulico con; Puzolana, Ceniza volante, Esquistos	MP / A	80 - 94	-	-	06 - 20	-	0 - 5
		MP / B	65 - 79	-	-	21 - 35	-	0 - 5
		MP / C	45 - 64	-	-	36 - 55	-	0 - 5
		MP / D	20 - 44	-	-	56 - 80	-	0 - 5
Tipo MC	Cemento Hidráulico con Caliza	MC / A	80 - 94	-	-	-	06 - 20	0 - 5
		MC / B	65 - 79	-	-	-	21 - 35	0 - 5
		MC / C	45 - 64	-	-	-	36 - 55	0 - 5
Tipo MM	Cemento Hidráulico Modificado Mixto	MM / A	80 - 94	06 - 20				0 - 5
		MM / B	65 - 79	21 - 35				0 - 5
		MM / C	45 - 64	36 - 55				0 - 5
		MM / D	20 - 44	56 - 80				0 - 5
		MM / E	5 - 19	81 - 95				0 - 5
Tipo ME	Cemento Hidráulico con Escoria de Alto Horno	ME / A	80 - 94	06 - 20	-	-	-	0 - 5
		ME / B	65 - 79	21 - 35	-	-	-	0 - 5
		ME / C	45 - 64	36 - 55	-	-	-	0 - 5
		ME / D	20 - 44	56 - 80	-	-	-	0 - 5
		ME / E	5 - 19	81 - 95	-	-	-	0 - 5
Tipo MF	Cemento Hidráulico con Humo de Sílice	MF/A	90 - 94	-	06 - 10	-	-	0 - 5

Nota: adaptado de INTECO C147:2018, por INTECO, 2018, p. 9.

Por último, se presentarán las clasificaciones de resistencias para los cementos hidráulicos que hay en Costa Rica:

Tabla N.º 4. Resistencia a la compresión

Clases de resistencia	Resistencia mínima a la compresión (MPa)			
	1 día	3 días	7 días	28 días
17	-	-	7	17
21	-	5	11	21
25	-	11	18	25
28	-	13	20	28
AR (Alta Resistencia Inicial)	12	24	-	A)

^{A)} La resistencia mínima requerida a los 28 días puede ser acordada entre el proveedor y el comprador.

Nota: adaptado de INTECO C147:2018, por INTECO, (2018, p. 11.)

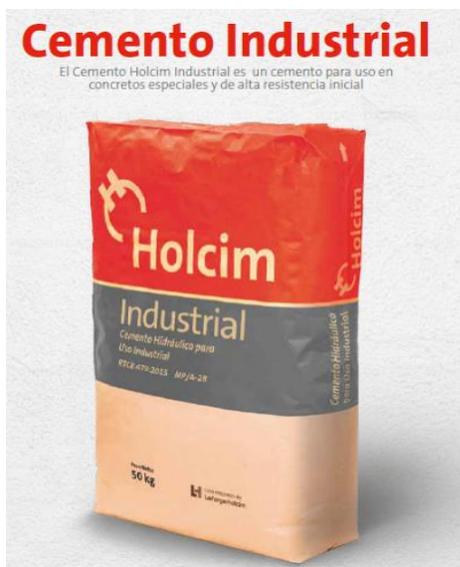
Una vez que se tenga la información anteriormente presentada, se explica la designación del cemento hidráulico, la cual la Norma INTECO C147:2018 la establece de la siguiente manera:

Tipo de Cemento/grado de sustitución (tipo de adiciones) – clase de resistencia – característica especial

Cemento Holcim Industrial

En esta investigación se implementará el Cemento Holcim Industrial, Tipo MP/A-28, que lo designa como un cemento hidráulico modificado con puzolana, ceniza volante o esquistos, con porcentaje de clinker de 80-94%, puzolanas de 06-20% y con componentes minoritarios adicionales de 0-5%. Con una clasificación de resistencia de 28, lo que significa que a la edad de 28 días su resistencia mínima tiene que andar en 28 MPa. Además, entre sus características principales está que es para uso de concretos de alta resistencia.

Imagen N.º 1 Cemento Hidráulico Industrial Holcim



Fuente: ficha técnica comercial de Holcim. (2023).

Aditivos

“Los aditivos son aquellos ingredientes del concreto que, además, del cemento portland, del agua y de los agregados, se adicionan a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado” (Kosmatka et al., 2004, p. 135).

Existen los siguientes tipos de aditivos:

- Tipo A – Reductor de agua
- Tipo B – Retardante
- Tipo C – Acelerante
- Tipo D – Retardante y reductor de agua
- Tipo E- Acelerante y reductor de agua
- Tipo F – Reductor de agua de alto rango
- Tipo G – Reductor de agua de alto rango y retardante

Es necesario el uso de aditivos químicos, tales como reductores de agua, retardadores, reductores de agua de alto rango o superplastificantes. Ellos aumentan la eficiencia de las altas cantidades de material cementante en el concreto de alta resistencia y ayudan a obtener una relación agua-material cementante la más baja posible. (Kosmatka et al., 2004, p. 362).

Para esta investigación se van a emplear dos aditivos, uno Tipo A – Reductos de Agua y Tipo F- Reductor de agua de alto rango. Primeramente, se implementa el **EUCON WR75**, el cual es un aditivo Tipo A – Reductor de agua el cual presenta las siguientes características:

Concreto en Estado Fresco:

- Mejora la trabajabilidad
- Reduce los requerimientos de agua
- Reduce segregación

Concreto en Estado Endurecido:

- Incrementa resistencias
- Reduce grietas
- Reduce permeabilidad

Seguidamente, se procede con el **Plastol 5000**, el cual es un aditivo Tipo F – Reductor de agua de alto rango el cual presenta las siguientes características:

- Incrementa las resistencias últimas de compresión
- Incrementa la durabilidad
- Permite colocar fácilmente concretos de alta resistencia y baja relación agua/cemento.

Relación Agua-Cemento

Antes de hablar de la relación “agua-cemento”, se hablará un poco de lo que el agua de la mezcla es en sí. El agua de la mezcla juega un rol importante y principal, porque con ella reacciona el cemento para producir la pasta, la cual junto con los agregados consolidan la mezcla de concreto. Para entender cuál tipo de “agua”, se tomará la siguiente definición del libro PCA: “Prácticamente cualquier agua natural que sea potable y no presente fuerte sabor u olor se la puede usar como agua de mezcla (de mezclado, de amasado) para la preparación del concreto” (Kosmatka et al., 2004, p. 95).

Explicado lo anterior, se entra en lo que es la relación “agua-cemento” y por qué se debe tener sumo cuidado con esto. La relación agua-cemento y la resistencia a compresión se comportan de una manera inversamente proporcional, por lo que si se tiene una alta relación agua-cemento se va a tener una baja resistencia a compresión y si se tiene una baja relación agua-cemento se va a tener una alta resistencia a compresión.

Cuando se va a realizar un diseño de mezcla se recomienda primero tener claro la resistencia a compresión a la cual se desea alcanzar para pensar luego en la relación adecuada agua-cemento. El libro de “Diseño y Proporcionamiento de Mezclas de Concreto Normal” (PCA) y el American Concrete Institute (ACI) presentan varias tablas, las cuales son estimaciones para la relación agua-cemento en relación con la resistencia a compresión deseada. Mencionado lo anterior, cabe tener en claro lo siguiente:

Cuando la durabilidad no es el factor que gobierne, la elección de la relación agua-material cementante se debe basar en los requisitos de resistencia a compresión. En estos casos, la relación agua-material cementante y las proporciones de la mezcla para la resistencia requerida se deben basar en datos de campo adecuados o en mezclas de prueba que empleen los materiales de la obra, a fin de que se determine la relación entre la resistencia y la relación agua-material cementante. (Kosmatka et al., 2004, p. 186-187)

Por lo que independientemente se tenga a la estimación de la relación agua-cemento, siempre es adecuado realizar mezclas de prueba para observar el comportamiento de la mezcla de concreto y ver si se debe modificar la relación agua cemento. Para efectos de esta investigación, dado que como se sabe, se planea realizar un concreto de alta resistencia, se debe de tomar en consideración lo siguiente:

Para la obtención de alta resistencia, es necesario el uso de baja relación agua-material cementante y alto contenido de cemento portland (...) El requisito de agua del concreto aumenta con el incremento del contenido de agregado fino para cualquier tamaño de agregado grueso. Como el contenido de material cementante en estos concretos es elevado, se puede mantener bajo el contenido de agregado fino. Sin embargo, incluso con el uso de agregados de buena granulometría, una relación agua-material cementante baja puede

resultar en un concreto con trabajabilidad inadecuada para la obra. (Kosmatka et al., 2004, p. 363)

Tomando nota de lo anterior, para la realización de un concreto de alta resistencia se debe de estimar una relación baja de agua-cemento y realizar varias mezclas de prueba para ver el comportamiento de la mezcla. Además, se seguirá lo recomendado por el método seleccionado para la realización de este proyecto, el cual es el ACI 211.4.

Trabajabilidad

La facilidad de colocación, consolidación y acabado del concreto fresco y el grado que resiste a la segregación se llama trabajabilidad. El grado de la trabajabilidad que se requiere para una buena colocación del concreto se controla por los métodos de colocación, tipo de consolidación y tipo de concreto.

Tiene una consistencia rígida o seca. Si la consistencia es muy seca y rígida, la colocación y compactación del concreto serán difíciles y las partículas más grandes de agregados pueden separarse de la mezcla. Sin embargo, no debe suponerse que una mezcla más húmeda y fluida es más trabajable. Si la mezcla es muy húmeda, pueden ocurrir segregación y formación de huecos. (Kosmatka et al., 2004, p .3)

Concreto en Estado Fresco

Muestreo de Concreto recién Mezclado

La parte experimental de esto se hará con base en la Norma INTE C17 (ASTM C172) “Muestreo de Concreto Recién Mezclado”. Cabe resaltar que se utilizará un tamaño de muestra de 28 litros para llevar a cabo los ensayos de asentamiento, densidad y temperatura. Se realizará esta investigación en una mezcladora estacionaria.

Imagen N.º 2 mezcladora estacionaria.

Fuente: laboratorio de la Empresa AMCO. (2023).

Realizar el muestreo haciendo pasar completamente un recipiente a través de la descarga o desviar totalmente la descarga dentro del recipiente de la muestra. Si la descarga del concreto es muy rápida para desviar la descarga completa, descargar el concreto dentro de un contenedor o unidad de transporte suficientemente grande para acomodar la mezcla completa y luego efectuar el muestreo de la misma manera indicada anteriormente (INTE C17, 2018, p. 5). A continuación, se versará sobre las propiedades del concreto en estado fresco, tales como el asentamiento, peso unitario y la temperatura del concreto en estado fresco.

Asentamiento

Siempre se debe producir el concreto para que tenga trabajabilidad, consistencia y plasticidad adecuadas con las condiciones de la obra. La trabajabilidad es la medida de la

facilidad o de la dificultad de colocación, consolidación y acabado (terminación, superficial) del concreto. La consistencia es la capacidad del concreto de fluir. Plasticidad es la facilidad de moldeo del concreto. (Kosmatka et al., 2004, p. 191)

El asentamiento es el ensayo comúnmente realizado para medir la consistencia de la mezcla de concreto. Cuando se van a realizar mezclas comparativas, como en esta investigación, el asentamiento es una estimación de la trabajabilidad en mezclas similares. Entre mayor sea el valor de asentamiento, mayor será la fluidez de la mezcla.

Este ensayo se realizará bajo lo estipulado en la Norma INTE C41 (ASTM C143) “Método de ensayo para el asentamiento en el concreto del cemento hidráulico”, la cual resume el ensayo de la siguiente manera:

Una muestra de concreto fresco recién mezclado se coloca y compacta por varillado en un molde en forma de cono truncado. El molde se levanta y se permite que el concreto se desplome. La distancia vertical entre la posición original y la desplazada del centro de la superficie superior del concreto se mide y reporta como el asentamiento del concreto. (INTE C41, 2017, p. 5)

Conforme lo leído y comentado con expertos respecto del tema sobre el ensayo del asentamiento aplicado al concreto en estado fresco, no existe ningún rango o bien, un asentamiento determinado para comprobar que la mezcla sea apta o aceptable. A esto se le debe tener claro que hay que tomar en cuenta si se implementa el uso de uno o varios aditivos y cómo afecta en el mismo resultado del ensayo de revenimiento o asentamiento.

Contenido de aire

El concreto con aire incluido se produce con el uso de un cemento con inclusor (incorporador) de aire o con la adición de aditivo inclusor de aire durante el mezclado (...)

Hoy en día, la incorporación del aire se recomienda para casi todos los concretos, principalmente para mejorar la resistencia a congelación-deshielo de concretos expuestos al agua y a los descongelantes. Sin embargo, la inclusión de aire presenta otros beneficios para el concreto fresco y el concreto endurecido. (Kosmatka et al., 2004, p. 161)

El concreto con aire incluido tiene varios beneficios hacia la mezcla, entre los más importantes es que incrementa la trabajabilidad de la mezcla y disminuye los requisitos de agua y agregado fino (arena). Cabe resaltar que cuando el contenido de aire se mantiene constante, la resistencia de la mezcla va a tener un comportamiento inversamente proporcional con el aumento de la relación “agua-cemento”. Si la relación “agua-cemento” se mantiene constante, el contenido de aire va a aumentar, por lo que la resistencia va a disminuir.

Además, se debe tener claro que hay que realizar una buena compactación a la hora de su colocación para evitar arrastre innecesario de aire y la presencia de vacíos con un tamaño considerable, los cuales van a afectar directamente la resistencia a compresión de la mezcla de concreto.

Conforme a la alta resistencia, las reducciones de resistencia que puede generar la incorporación de aire en el concreto se vuelven significativas. Conseguir una alta resistencia en un concreto con aire incluido puede ser considerada una tarea “difícil”.

A pesar de la reducción en el contenido de agua de mezcla asociada con la incorporación de aire, las mezclas con alto contenido de cemento requieren más agua de mezcla que mezclas con contenido de cemento más bajo, o sea, el aumento esperado de la resistencia, debido al cemento adicional, se compensa de cierta manera por el agua adicional. Se puede compensar este efecto con el empleo de aditivos reductores de agua. (Kosmatka et al., 2004, p. 169)

El ensayo se realizará bajo lo estipulado en la Norma INTE C72 (ASTM C138) “Método para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire del concreto por el método gravimétrico”. Se conoce que, para esta prueba, el rango establecido para tomar como aceptable la realización del ensayo es de 2200-2400kg/m³, con el fin de observar mediante los resultados qué tan densa se presenta la mezcla y el contenido de vacíos que tiene.

Temperatura

El rol indispensable que cumple la temperatura en las propiedades del concreto en los estados frescos y endurecidos son de mucha importancia. En estado fresco, un aumento de la temperatura genera una disminución del contenido de aire, por lo que directamente reduce la trabajabilidad de la mezcla y su asentamiento. Como anteriormente se mencionó, el libro “*Concrete Technology Theory and Practice*” menciona lo siguiente:

“The temperature of concrete at the time of mixing was found to have a significant effect on the amount of air entrainment. The amount of air entrainment decreases as the temperature of concrete increases. (...) The reduction in cement content results in a lower heat of hydration in mass concrete and lower temperature rise. The decrease in temperature rise results in reduced cracking or undesirable internal stresses”. (Shetty, M. S., 2000, p. 170)

En concretos de alta resistencia, en métodos de construcción según lo leído en el libro PCA, se debe tomar 18 °C como la temperatura máxima a la hora de la entrega. En verano, se especifica que sería idóneo que la temperatura de entrega no sea mayor a 25 °C y ande cerca de los 20 °C.

La calidad, resistencia y durabilidad del concreto de alta resistencia son altamente dependientes de su historia de temperatura desde el momento de la entrega hasta la finalización del curado. En principio, los métodos de construcción y de curado adecuados van a permitir:

una temperatura baja en el momento de la entrega;
una temperatura máxima lo más baja posible después de la colocación;
gradientes mínimos de temperatura después de la colocación y
una reducción gradual a la temperatura ambiente, después que se alcanzó la temperatura máxima. (Kosmatka et al., 2004, p. 366)

Este ensayo se realizará bajo lo estipulado en la Norma INTE C43 (ASTM C1064) “Medición de Temperatura del concreto recién mezclado con cemento hidráulico”. El ACI 305.1-06 establece un rango de temperaturas máximo para el concreto en estado fresco de 35° C.

Elaboración de Especímenes Cilíndricos

Se utilizarán moldes pequeños con dimensiones de 100 mm de diámetro y 200 mm de altura en la elaboración de especímenes cilíndricos. Para la parte experimental se utilizará la Norma INTE C18 (ASTM C192) “*Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio*”.

Lugar de Moldeo

Moldear los especímenes tan cerca como sea posible al lugar donde van a ser almacenados por las primeras 24 horas. Si no es práctico realizar el moldeo de los especímenes donde van a almacenarse, corresponde moverlos al lugar de almacenamiento inmediatamente después de ser enrasados. Colocar los moldes sobre una superficie rígida libre de vibraciones y otras perturbaciones. Se debe evitar sacudir, golpear, inclinar o marcar la superficie de los especímenes cuando se están moviendo al sitio de almacenamiento (INTE C18, 2022, p. 17).

Tabla N.º 5. Número de capas requeridas por especímenes

Tipo y tamaño de espécimen	Modo de consolidación	Número de capas de aproximadamente igual profundidad
Diámetro de cilindros, mm		
75 ó 100	Envarillado	2
150	Envarillado	3
225	Envarillado	4
Arriba de 225	Vibrado	2
Prismas y cilindros de flujo horizontal:		
Profundidad, mm		
Hasta 20	Envarillado	2
Mayor a 200	Envarillado	3 o más
Hasta 200	Vibrado	1
Mayor a 200	Vibrado	2 o más

Nota: adaptado de INTECO C18:2022, por INTECO, (2022, p. 18.)

Tabla N.º 6. Diámetro de varilla y número de golpes con varilla (envarillado) para utilizar en el moldeo de especímenes de ensayo

Cilindros		
Diámetro de cilindros, mm	Diámetro de varilla, mm	Número de golpes por capa
75 a <150	10 ± 2	25
150	16 ± 2	25
200	16 ± 2	50
250	16 ± 2	75
Vigas y prismas		
Área superficial superior, cm²	Diámetro de varilla, mm	Número de inserciones por capa
160 o menor	10 ± 2	25
165 a 310	10 ± 2	Uno por cada 7 cm ² de superficie
320 o más	16 ± 2	Uno por cada 14 cm ² de superficie
Cilindros de flujo horizontal		
Diámetro del cilindro, mm	Diámetro de varilla, mm	Número de inserciones por capa
150	16 ± 2	50 en total, 25 a lo largo de ambos lados del eje

Nota: adaptado de INTECO C18:2022, por INTECO (2022, p. 19).

Observando el cuadro anterior, se especifica que para los moldes cilíndricos pequeños se necesitan dos capas. La primera capa a la mitad de la altura del cilindro, a la cual se le debe aplicar 25 golpes para el envarillado por capa y 10 a 15 golpes con el mazo para la compactación de cada capa. La segunda capa llevaría exactamente la misma cantidad. Por último, quedaría enrasar con el método correcto la superficie del concreto con una llaneta o cuchara.

Concreto en Estado Endurecido

Se hablará a continuación, del curado de especímenes de concreto, resistencia a compresión y de la durabilidad del concreto en estado endurecido.

Curado del Concreto

El curado es la mantención de la temperatura y del contenido de humedad satisfactorios, por un periodo de tiempo que empieza inmediatamente después de la colocación (colado) y del acabado, para que se puedan desarrollar las propiedades deseadas en el concreto. Siempre se debe enfatizar la necesidad de curado pues tiene una fuerte influencia sobre las propiedades del concreto endurecido, o sea, el curado adecuado hace que el concreto tenga mayor durabilidad, resistencia, impermeabilidad, resistencia a abrasión, estabilidad dimensional, resistencia a congelación-deshielo y a descongelantes. (Kosmatka et al., 2004, p. 261)

Curado por Inmersión

Se conoce que hay varios tipos de curados, para esta investigación se va a implementar método por inmersión. Profesionales, los cuales conocen el tema, afirman que este es el más efectivo para efectos de esta investigación, con el objetivo de sacar el máximo provecho a las propiedades de la mezcla de concreto.

El método de curado con agua, más minucioso, consiste en la inmersión total del elemento de concreto. Se usa normalmente en laboratorio para el curado de especímenes (probetas) de ensayo. Cuando la apariencia del concreto es importante, el agua utilizada en el curado por encharcamiento o inmersión debe estar libre de sustancias que manchen o decoloren el concreto (Kosmatka et al., 2004, p. 263).

Ambiente de Curado

Todos los especímenes, a menos que se especifique de otra manera, deben curarse en humedad a $23,0 \pm 2,0^{\circ}$ C desde el momento de moldeo hasta el de ensayo. El almacenamiento durante las primeras 48 h de curado debe ser en un ambiente libre de vibraciones. En relación con

el tratamiento de especímenes desmoldados, el curado en húmedo significa que los especímenes deben mantener siempre agua libre en toda el área superficial. Esta condición se alcanza utilizando tanques de almacenamiento de agua o un cuarto húmedo de acuerdo con los requisitos de la Norma INTE C78. (INTE C18, 2022, p. 21).

Imagen N.º 3 Curado por Inmersión



Fuente: laboratorio de la Empresa AMCO. (2023).

Tiempo y Temperatura de Curado

El período de tiempo que se debe proteger el concreto de la congelación, temperaturas elevadas anormales y contra la pérdida de humedad depende de diversos factores: el tipo del material cementante usado, las proporciones de la mezcla, resistencia requerida, tamaño y forma del miembro de concreto, clima ambiente y condiciones de exposición futura. (Kosmatka et al., 2004, p. 268)

En el libro “*Concrete Technology Theory and Practice*” expresa lo siguiente conforme a la importancia de la temperatura para efectos de ganancia de resistencia:

“It is interesting to note that concrete subjected to higher temperature at the early period of hydration is found to lose some of the strength gained at a later age. Such concrete is said to undergo “Retrogression of Strength”. Figure 6.29 shows the effect of temperature on strength of concrete. It can be seen from Figure 6.29 that the concrete subjected to higher temperature at early age, no doubt attains higher strength at a shorter duration, but suffers considerable retrogression of strength. Fig. 6.29 . On the contrary, concrete cured at a comparatively lower temperature takes longer time to develop strength but the strength attained will not be lost at later ages”. (Shetty, M.S., 2000, p. 285)

“Similarly, concrete subjected to higher temperature in the early period of hydration will yield poor quality gels and concrete which is subjected to rather low temperature (say about 13 degree Centigrade) will yield the best quality gel, and hence good concrete. It has been emphasized that a very young concrete should not be subjected suddenly to high temperature. Certain amount of delay period on casting the concrete is desirable. It has been found that if 49 °C is reached in a period shorter than 2 to 3 hours or 99 °C is reached in less than 6 to 7 hours from the time of mixing, the gain of strength beyond the first few hours is effected adversely”. (Shetty, M. S., 2000, p. 286)

Resumido lo anterior, el concreto sometido a un curado con temperaturas altas o elevadas va a ganar resistencia a edades tempranas de manera rápida, pero a edades mayores va a perder la resistencia ganada. Este fenómeno se le conoce como “Retrogresión de la fuerza”, el problema con someter el concreto a una edad temprana a un curado con altas temperaturas es que la pérdida de resistencia en las siguientes edades va a ser considerable.

Por el contrario, un concreto sometido a un curado a una temperatura relativamente baja va a tardar más en ganar resistencia a edades tempranas, pero esta resistencia adquirida no se va a perder en edades posteriores. Además, se ha encontrado que, si se alcanzan los 49° C en un periodo corto o menor de dos a tres horas o los 99° C en menos de seis a siete horas después del momento de mezclado, la ganancia obtenida en las primeras horas sufrirá un efecto negativo en las próximas.

Resistencia a la Compresión

“La resistencia a compresión se puede definir como la medida máxima de la resistencia a carga axial de especímenes de concreto” (Kosmatka et al., 2004, p. 8). La resistencia a compresión es la propiedad física que se usa para cálculos de diseño de diferentes estructuras. Se aconseja siempre calcular la resistencia a compresión a diferentes edades, para ir observando la manera en que la mezcla va ganando resistencia. Para efectos de esta investigación se plantearon tres edades de falla diferentes, las cuales serían 3,7 y 28 días. Por lo leído y bien comentado con profesionales que saben sobre el tema, la edad de falla a los 28 días siempre debe realizarse, debido a que es considerada un parámetro de comparación con las otras y los resultados a esta edad dicen bastante sobre la resistencia a compresión del espécimen. La resistencia a compresión a los 28 días para un concreto normal debe andar entre los 21 y 42 MPa, en el caso de un concreto de alta resistencia, su resistencia a compresión a los 28 días debe andar entre 42 y 100 MPa.

La resistencia a compresión que el concreto logra, va en función de la relación agua-cemento (o relación agua-materiales cementantes), de cuanto la hidratación ha progresado, del curado, de las condiciones ambientales y de la materiales y proporciones de mezcla específicos para que sean usados en la obra. (...) Se pueden usar otras edades para las pruebas, pero es importante saber la relación entre la resistencia a los 28 días y la resistencia en otras edades. La resistencia a los 7 días normalmente se estima como 75% de la

resistencia a los 28 días y las resistencias a los 56 y 90 días son aproximadamente 10% y 15% mayores que la resistencia a los 28 días. (Kosmatka et al., 2004, p. 8)

Se realiza el ensayo INTE C39 (ASTM C39) “Resistencia a la compresión uniaxial de especímenes cilíndricos de concreto. Método de ensayo”, para determinar la resistencia a compresión en las diferentes edades de falla. Este método de ensayo consiste en la aplicación de una carga de compresión axial a los cilindros moldeados o núcleos a una velocidad que está dentro del alcance prescrito hasta que ocurre la falla. La resistencia a la compresión del espécimen se calcula dividiendo la carga máxima obtenida durante el ensayo entre el área de la sección transversal del espécimen (INTE C39, 2020, p. 6). Seguidamente, se presenta la máquina de falla a utilizar para la realización de este ensayo:

Imagen N.º 4 Máquina de Fallas



Fuente: laboratorio de la Empresa AMCO (2023).

Además, se debe de tener en cuenta las tolerancias definidas según la edad de falla del espécimen. En nuestro caso 3,7 y 28 días:

Tabla N.º 7. Tolerancias según la edad de fallas

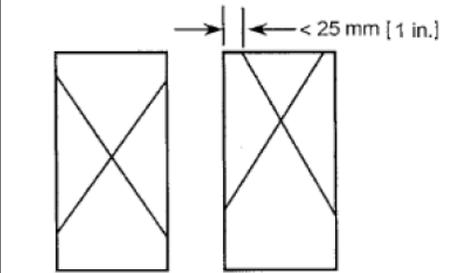
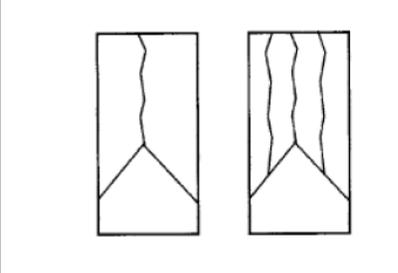
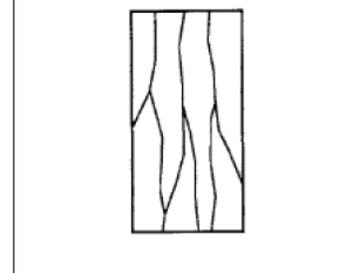
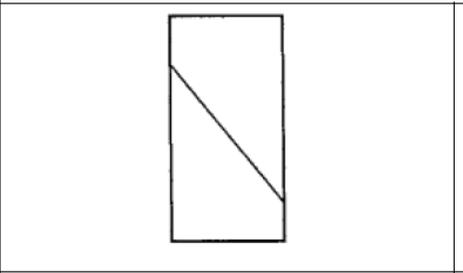
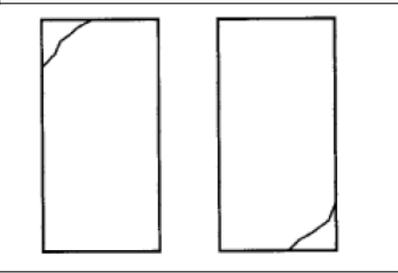
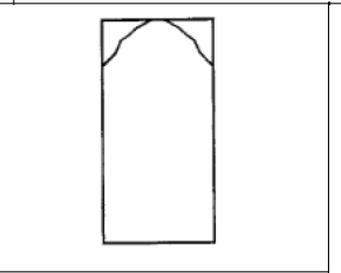
Edad de ensayo ^A	Tolerancia permisible
24 h	± 0,5 h
3 días	± 2 h
7 días	± 6 h
28 días	± 20 h
90 días	± 2 días

^A Para edades de ensayo no listadas, la tolerancia es de ± 2,0 % de la edad especificada.

Nota: adaptado de INTECO C39:2020, por INTECO, (2020, p. 13).

Una vez obtenidas las fallas de cada cilindro en las diferentes edades establecidas se clasifican en los distintos tipos que establece la Norma:

Tabla N.º 8. Tipos de Fallas

		
TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3
Conos bien formados en ambos extremos y menos de 25 mm de la grieta a través de la corona	Cono bien formado en un extremo, grietas verticales a través de la cabeza, cono no bien definido en el otro extremo	Agrietamiento vertical columnar a través de ambos extremos. Conos no bien formados
		
TIPO 4	TIPO 5	TIPO 6
Fractura diagonal sin agrietamiento a través de los extremos, golpearlo con un martillo para distinguirlo del tipo 1.	Fracturas laterales en la parte de arriba o abajo (ocurren comúnmente con las almohadillas de neopreno)	Similar al tipo 5 pero el extremo del cilindro es puntiagudo

Nota: adaptado de INTECO C39:2020, por INTECO, (2020, p. 15).

Cuando ya se tengan todos los resultados a 28 días de falla de ambas mezclas, se analizarán mediante lo establecido en el ACI 214R-02. El cual establece unas tablas de estándares de control de concreto. Se va a utilizar el rango de “Within-Test variation”, porque estas apelan a la variación de resultados de cilindros pequeños, gracias a las variaciones presentadas a la hora, ya sea de muestreo, moldeo, consolidación, transporte, curado o especímenes de prueba. La sección de “Overall Variation” es más para producción en gran escala y se da más que todo en campo.

Tabla N.º 9. Estándares de Control de Concreto

Table 3.2—Standards of concrete control*

Overall variation					
Class of operation	Standard deviation for different control standards, MPa (psi)				
	Excellent	Very good	Good	Fair	Poor
General construction testing	Below 2.8 (below 400)	2.8 to 3.4 (400 to 500)	3.4 to 4.1 (500 to 600)	4.1 to 4.8 (600 to 700)	Above 4.8 (above 700)
Laboratory trial batches	Below 1.4 (below 200)	1.4 to 1.7 (200 to 250)	1.7 to 2.1 (250 to 300)	2.1 to 2.4 (300 to 350)	Above 2.4 (above 350)
Within-test variation					
Class of operation	Coefficient of variation for different control standards, %				
	Excellent	Very good	Good	Fair	Poor
Field control testing	Below 3.0	3.0 to 4.0	4.0 to 5.0	5.0 to 6.0	Above 6.0
Laboratory trial batches	Below 2.0	2.0 to 3.0	3.0 to 4.0	4.0 to 5.0	Above 5.0

* $f'_c \leq 34.5$ MPa (5000 psi).

Table 3.3—Standards of concrete control*

Overall variation					
Class of operation	Coefficient of variation for different control standards, %				
	Excellent	Very good	Good	Fair	Poor
General construction testing	Below 7.0	7.0 to 9.0	9.0 to 11.0	11.0 to 14.0	Above 14.0
Laboratory trial batches	Below 3.5	3.5 to 4.5	4.5 to 5.5	5.5 to 7.0	Above 7.0
Within-test variation					
Class of operation	Coefficient of variation for different control standards, %				
	Excellent	Very good	Good	Fair	Poor
Field control testing	Below 3.0	3.0 to 4.0	4.0 to 5.0	5.0 to 6.0	Above 6.0
Laboratory trial batches	Below 2.0	2.0 to 3.0	3.0 to 4.0	4.0 to 5.0	Above 5.0

* $f'_c > 34.5$ MPa (5000 psi).

Nota: adaptado de ACI 214R-02. (2023).

Durabilidad del Concreto

“La durabilidad del concreto se puede definir como la habilidad del concreto en resistir a la acción del ambiente, al ataque químico y a la abrasión, manteniendo sus propiedades de ingeniería” (Kosmatka et al., 2004, p. 13).

Relación A/C para Concretos de Alta Resistencia

“It is easy to preach on paper the virtues of using low W/C ratio for all-round durability of concrete. But in actual practice for many years it has been found almost impossible to reduce the W/C ratio below 0.4. This situation has changed for the last fifteen years in India with the practice of using superplasticizers. The advent and use of superplasticizers have revolutionised the art and science of making durable concrete by drastically reducing the W/C ratio of concrete. The modern superplasticizers are so efficient that it is now possible to make flowing concrete with a W/C as low as 0.25 or even as low as 0.20. This technological breakthrough, in conjunction with the use of silica fume and other secondary cementitious materials, has made it possible to develop a new family of high-strength concrete which is generally referred as high-performance concrete—a concrete which is very durable”. (Shetty, M. S., 2000, p. 354)

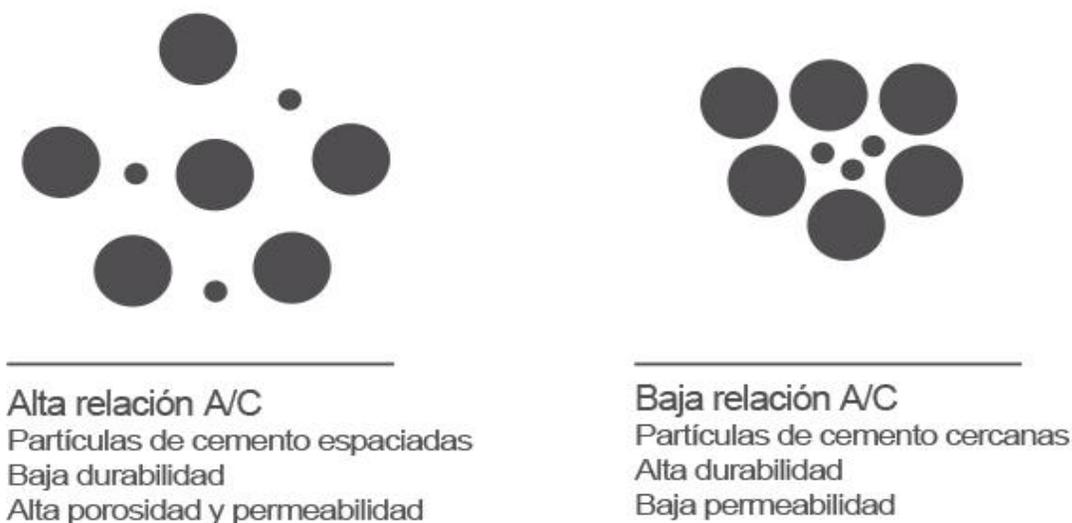
En el párrafo anterior se explica básicamente que, al utilizar una relación A/C baja benefician la durabilidad del concreto. Antes era difícil conseguir un concreto con una relación A/C de menos de 0.4, pero ahora con la implementación de los superplasticantes se pueden obtener concretos eficientes con una relación de A/C de hasta 0.25. Esto, además del material cementante y el uso de sílice, es posible desarrollar concreto de alta resistencia que tenga buena durabilidad o sea muy durable.

Permeabilidad para Concretos de Alta Resistencia

La durabilidad y la vida útil del concreto expuesto a la intemperie se relacionan con la permeabilidad del recubrimiento del concreto que protege el refuerzo (armadura). El concreto de alta resistencia normalmente presenta muy baja permeabilidad al aire, al agua y a iones cloruro (Kosmatka et al., 2004, p. 365).

Se investigó y llegó a la siguiente conclusión, de acuerdo con lo leído y consultado cuando se elabora un concreto de alta resistencia, debido a su alto contenido de cemento ($450-550\text{kg/m}^3$), va a tender a agrietarse más fácilmente, lo que no se sabe y es considerado factor de investigación es cuando estas microgrietas que aparezcan vayan a afectar la durabilidad del concreto a largo plazo. Debido a la implementación de aditivos se logra una baja relación A/C y una mezcla de concreto consistente, la cual genera que el concreto de alta resistencia tienda a tener porosidad aceptable, que genera una baja permeabilidad, lo cual no afecta la resistencia que llega a tener la mezcla y, finalmente, se obtiene un concreto con mayores características de durabilidad.

Imagen N.º 5 Relación A/C, Porosidad y Durabilidad



Fuente: imagen de Putzmeister. (2023).

Capítulo III
Marco Metodológico

Paradigma de Investigación

La siguiente investigación es de carácter cuantitativo de corte correlacional, debido a que se va a realizar una serie de especímenes de diferentes variables para comparar la eficiencia y correlación que llegan a tener ambas relaciones de acuerdo con el método utilizado para la elaboración de ambas. Con esto, finalmente se busca obtener cuál de ambas variables presentó una mejor eficiencia conforme a lo esperado. Una investigación cuantitativa, por lo general, cuenta con las siguientes características:

- Busca la interpretación de información mediante números y cifras
- Su objetivo principal es analizar el comportamiento de la población
- Se estudia el comportamiento de la muestra
- Principales preguntas:
 1. ¿Cuántos?
 2. ¿Quién?
 3. ¿Qué cantidad?
 4. ¿Medida?

Se dice que un trabajo o investigación es correlacional cuando analiza la relación entre dos variables sin que el investigador posea ningún control en ellas. Se busca si están correlacionadas o no.

Enfoque Metodológico

Conociendo y entendiendo la importancia de cada definición, se analiza y llega a la conclusión de que es una investigación de carácter cuantitativo de corte correlacional. Al realizar varios especímenes con dos variables diferentes que cuentan con muestras traídas de diferente procedencia y aplicando el mismo método para la realización de especímenes cilindros que, al

final se les van a terminar aplicando las mismas pruebas para, finalmente llegar al análisis de resultados y obtener una conclusión.

Métodos de Investigación

Se va a determinar en la presente investigación, la comparación de la influencia que tienen dos agregados de diferente procedencia en las mezclas de concreto de alta resistencia de $f'_c = 50 \text{ MPa}$, utilizando la metodología del ACI 211.4R.

Tabla N.º 10. Fuentes de Investigación

Fuentes de Investigación	
1	Normas ASTM
2	Normas INTECO
3	CR-2010
4	ACI 211.4
5	ACI 211.1
6	ACI 305.1
7	Diseño y Control de Mezclas de Concreto (PCA)
8	Concrete Technology
9	Tesis de Investigación de Diferentes Sujetos

Fuente: elaboración propia (2023).

Categoría de análisis de la Investigación

Seguidamente se presentarán los instrumentos y técnicas seleccionados a utilizar para la recolección de información.

Cuestionario. El siguiente cuestionario se le va a aplicar a los sujetos mencionados anteriormente para conocer más sobre el tema, tomar en cuenta ideas y obtener más conocimiento para llevar a cabo la investigación con éxito.

Tabla N.º 11. Cuestionario

Pregunta	Justificación de pregunta
¿Conoce el método ACI 211?4?	Indagar si conocen el método implementado para la realización de esta tesis.
¿Qué piensa sobre la utilización de concreto de alta resistencia en las obras de hoy?	Indagar qué piensa sobre utilizar el concreto de alta resistencia con la experiencia que poseen a través de los años.
Si se planea diseñar un concreto con un $f^{\prime}c=50\text{MPa}$. ¿Considera indispensable implementar el uso de aditivos? Justifique su respuesta.	Conocer el criterio que poseen sobre qué tan efectivo pueda llegar a ser la implementación de un aditivo en la realización de la mezcla.
Si se planea diseñar un concreto con un $f^{\prime}c=50\text{MPa}$. ¿Utilizaría cemento de uso general o cemento de uso industrial? Justifique su respuesta.	Conocer el criterio de ellos conforme a qué cemento utilizar para el diseño de ambas mezclas, sabiendo la resistencia a la que se debe llegar.
En esta tesis se va a comparar agregados de procedencia de ríos del Pacífico (Barranca-Garita) y ríos del Caribe (AMCO-Guápiles) a alta resistencia para observar cuál tiene mejor desempeño. De acuerdo con su experiencia y conocimiento. ¿Cuál cree usted vaya a ser la	Indagar el conocimiento de los sujetos para ver qué tanto saben sobre las características de los agregados de ambas procedencias y cómo pueden influir en el resultado final.

Pregunta	Justificación de pregunta
mezcla con mejor desempeño? Justifique su respuesta.	
¿Considera usted que, utilizando los agregados anteriormente mencionados, implementando la utilización de un cemento industrial y aditivos, llegará a superar los 50MPa a los 28 días? Justifique su respuesta.	Conocer el criterio que poseen sobre qué tan efectivo pueda llegar a ser la implementación de un aditivo en la realización de la mezcla.

Fuente: elaboración propia (2023).

Entrevista. Se le realizará una entrevista al ingeniero Douglas Sáenz, especializado en el área de la alta resistencia para conocer su opinión respecto a los concretos de alta resistencia, el uso del cemento industrial, la influencia de agregados de diferente procedencia y, finalmente, el uso de los aditivos en la mezcla de concreto.

Sujetos en Investigación

La escogencia de sujetos para la investigación es de suma importancia, debido a que estas personas deben tener bastante conocimiento en el área que se realizará dicho trabajo para que puedan brindar valiosa información con la que finalmente se llegue a probar lo que se quiere de la mejor manera posible.

Tabla N.º 12. Sujetos de investigación

Nombre	Grado académico	Trabajo	Tema
Minor Murillo Chacón	Licenciatura en Ingeniería Civil	Profesor Universidad Latina de Costa Rica e ingeniero civil LANAMME	Materiales de Construcción
Luis Carlos Meseguer Quesada	Licenciatura en Ingeniería Civil	Profesor Universidad de Costa Rica e ingeniero civil LANAMME	Concretos de Mediana Resistencia

Nombre	Grado académico	Trabajo	Tema
Rafael Kauffman Incer	Licenciatura en Ingeniería Civil	Profesor Universidad Latina de Costa Rica e ingeniero civil ICE	Mecánica de Sólidos I y II.
Douglas Sáenz	Licenciatura en Ingeniería Civil	Ingeniero Civil empresa AMCO	Concretos de Alta Resistencia
Bryan Solís Madrigal	Licenciatura en Ingeniería Civil	ingeniero civil empresa AMCO	Agregados AMCO y Concretos de Mediana Resistencia

Fuente: elaboración propia. (2023).

Sustentación de la confiabilidad y validez de los instrumentos de la investigación

El cuestionario anteriormente mencionado y elaborado es confiable, además, enfocado para saber más sobre el tema para optimizar la tesis lo más que se pueda. Los sujetos seleccionados son personas confiables, profesionales con muchos años en su carrera, los cuales brindarán información valiosa y necesaria para realizar esta tesis. Cada uno de estos sujetos tienen ya amplia experiencia en el área sobre cómo realizar los concretos, cuidados y determinación que hay que tener en cada proceso de este trabajo de investigación.

Los resultados que se obtendrán mediante las pruebas a realizar serán confiables, debido a que se realizarán con equipo en buen estado y los cuidados indicados a tomar en consideración para que sean correctos. Además, para evitar cualquier error, se revisará el equipo por utilizar antes del ensayo para verificar que todo se encuentre en excelente estado. Cabe mencionar que se respetarán todos los cuidados establecidos por las Normas INTECO para la realización de cada ensayo.

Definición de Variables

Se busca analizar en el presente trabajo, la influencia de los agregados de diferente procedencia en las mezclas de concreto de alta resistencia mediante distintas variables.

Tabla N.º 13. Variables

Variable	Definición conceptual	Definición operativa
Cemento hidráulico industrial	Cemento con adición de puzolana que desarrolla altas resistencias iniciales.	Se implementará en la realización de ambos diseños de mezcla
Aditivo - Tipo A (EUCON WR75)	Aditivo líquido sintéticamente producido, reductor de agua para concreto que se formuló para proporcionar desempeño óptimo en requerimientos de reducción de agua para concretos.	Se aplicará en el diseño de ambas mezclas con una dosificación establecida.
Aditivo - Tipo F (Plastol 5000)	Aditivo reductor de agua de alto rango. Es un aditivo de última generación a base de policarboxilatos, formulado específicamente para aumentar el tiempo de trabajabilidad en mezclas de concreto y obtener altas resistencias iniciales para concretos en sistemas prefabricados.	Se aplicará en el diseño de ambas mezclas con una dosificación establecida.
Ensayo de asentamiento	Ensayo para medir la consistencia de la mezcla de concreto en estado fresco.	Se realizará dicho ensayo en ambas mezclas de concreto en estado fresco.
Ensayo de densidad del concreto	Ensayo para medir la densidad de la mezcla de concreto en estado fresco y, con ello, calcular el contenido de aire.	Se realizará dicho ensayo en ambas mezclas de concreto en estado fresco.
Ensayo de temperatura del concreto	Ensayo para medir la temperatura de la mezcla de concreto en estado fresco.	Se realizará dicho ensayo en ambas mezclas de concreto en estado fresco.
Resistencia a la compresión del concreto en estado endurecido	El máximo esfuerzo que se obtiene al someter a un espécimen cilíndrico a carga axial de compresión. Edades de falla (3,7 y 28 días).	Se realizará dicho ensayo en ambas mezclas de concreto en estado endurecido para las tres edades de falla establecidos.

Fuente: elaboración propia. (2023).

Población

Agregados

Imagen N.º 6 Agregados



Fuente: laboratorio de la empresa AMCO (2022)

A continuación, se hablará de los agregados gruesos y finos, implementados para la realización de ambas mezclas, sus respectivas procedencias y contenidos de humedad. Ambas mezclas utilizaron los mismos agregados gruesos y agregados finos para que fueran consideradas comparables. Los agregados gruesos utilizados fueron: piedra de 19 mm y piedra de 12,5 mm. Los agregados finos utilizados fueron: arena industrial y arena de río.

Muestra.**Caracterización de Agregados Atlántico****Tabla N.º 14. Caracterización de Agregados Atlántico**

Caracterización de Agregados Guápiles-AMCO				
Agregados	Fuente	Gbs	Abs%	P. U. Envarillado (kg/m³)
Piedra 19 mm	Guápiles	2,65	2,40	1546
Piedra 12,5 mm	AMCO	2,61	2,19	1530
Arena de río	AMCO	2,45	3,91	1551
Arena industrial	AMCO	2,55	3,31	1770

Fuente: ficha técnica, agregados Guápiles y AMCO

Caracterización de Agregados Mezclas Guápiles-AMCO**Tabla N.º 15. Caracterización de Agregados Grueso Atlántico**

Mezcla Guápiles-AMCO				
Caracterización del Agregado Grueso				
Agregado Grueso	Gbs	Abs%	P. U. Envarillado (kg/m³)	Porcentaje Participación
Piedra 19 mm	2,65	2,40	1546	42
Piedra 12,5 mm	2,61	2,19	1530	58
Agregado grueso	2,63	2,31	1539	100

Fuente: elaboración propia. (2023).

Caracterización de Agregado Fino Atlántico

Tabla N.º 16. Caracterización de Agregado Fino Atlántico

Mezcla Guápiles-AMCO				
Caracterización del Agregado Fino				
Agregado Fino	Gbs	Abs%	P. U. Envarillado (kg/m ³)	Porcentaje Participación
Arena de río	2,45	3,91	1551	62
Arena industrial	2,55	3,31	1770	38
Agregado fino	2,49	3,68	1634	100

Fuente: elaboración propia. (2023).

Caracterización de Agregados Pacífico

Tabla N.º 17. Caracterización de Agregados Pacífico

Caracterización de Agregados Barranca-Garita				
Agregados	Fuente	Gbs	Abs%	P. U. Envarillado (kg/m ³)
Piedra 19 mm	Barranca	2,63	2,08	1480
Piedra 12,5 mm	Barranca	2,65	2,15	1540
Arena de río	Garita	2,39	5,32	1560
Arena industrial	Barranca	2,62	1,81	1630

Fuente: ficha técnica, agregados Barranca y Garita

Caracterización de Agregados Mezclas Barranca-Garita

Tabla N.º 18. Caracterización de Agregado Grueso Pacífico

Mezcla Barranca-Garita				
Caracterización del Agregado Grueso				
Agregado	Gbs	Abs%	P. U. Envarillado (kg/m ³)	Porcentaje Participación
Grueso				
Piedra 19 mm	2,65	2,40	1546	42
Piedra 12,5 mm	2,61	2,19	1530	58
Agregado grueso	2,64	2,11	1505	100

Fuente: elaboración propia (2023).

Caracterización de Agregado Fino Pacífico

Tabla N.º 19. Caracterización de Agregado Fino Pacífico

Mezcla Barranca-Garita				
Caracterización del Agregado Fino				
Agregado Fino	Gbs	Abs%	P. U. Envarillado (kg/m ³)	Porcentaje Participación
Arena de río	2,39	5,32	1560	62
Arena industrial	2,621	1,81	1630	38
Agregado fino	2,48	3,99	1587	100

Fuente: elaboración propia (2023).

Técnicas de Muestreo.

Combinación de Agregados Mezclas

Se decidió buscar una combinación de agregados que provinieran de la misma desembocadura y así tuvieran características similares al definir como tamaño máximo nominal la piedra de 19 mm. Al tener claros los agregados que se iban a implementar para cada mezcla, con la información brindada por las fichas técnicas se buscó una combinación de agregados que cumplieran entre los siguientes límites:

Tabla N.º 20. Combinación de Agregados

Combinación de Agregados		
<i>Tamaño Máximo Nominal 19 mm (3/4") Max.</i>		
Abertura (mm)	Límite Inferior	Límite Superior
19 (3/4")	92	100
12,5 (1/2")	68	86
9,5 (3/8")	57	74
4,75 (#4)	38	57
2,36 (#8)	28	46
1,18 (#16)	20	36
0,6 (#30)	14	25
0,3 (#50)	5	14
0,15 (#100)	0	5
0,075 (#200)	0	3

Fuente: sector 03 30 00, *Cast-in-place Concrete, Moín Container Terminal*

Fuente: ASTM C33 (malla N.º 200)

Se trató de combinar los cuatro agregados seleccionados, con el fin de que todos tuvieran un porcentaje de participación representativo y, a la misma vez, tratar que se cumplieran todos los límites propuestos en la tabla anterior.

Se observó que para la malla N.º 200 en ambas mezclas, debido al método de trituración que implementan en la arena industrial, el valor pasando dificulta que el límite de esta malla se cumpliera. Se investigó que en la Norma ASTM C33, cuando se implementa en uso de esta arena, el límite de la malla N.º 200 va de 0 a 3%.

Por lo que se reemplazaron esos límites de la malla N.º 200 con los de la Norma para buscar con ello que cumpliera con la curva granulométrica de ambas mezclas. Cabe resaltar que, si el límite en dicha malla N.º 200 se cumpliera o no, no influye o afecta en la parte experimental y resultados finales de esta investigación.

Combinación de Agregados Mezclas Guápiles-AMCO

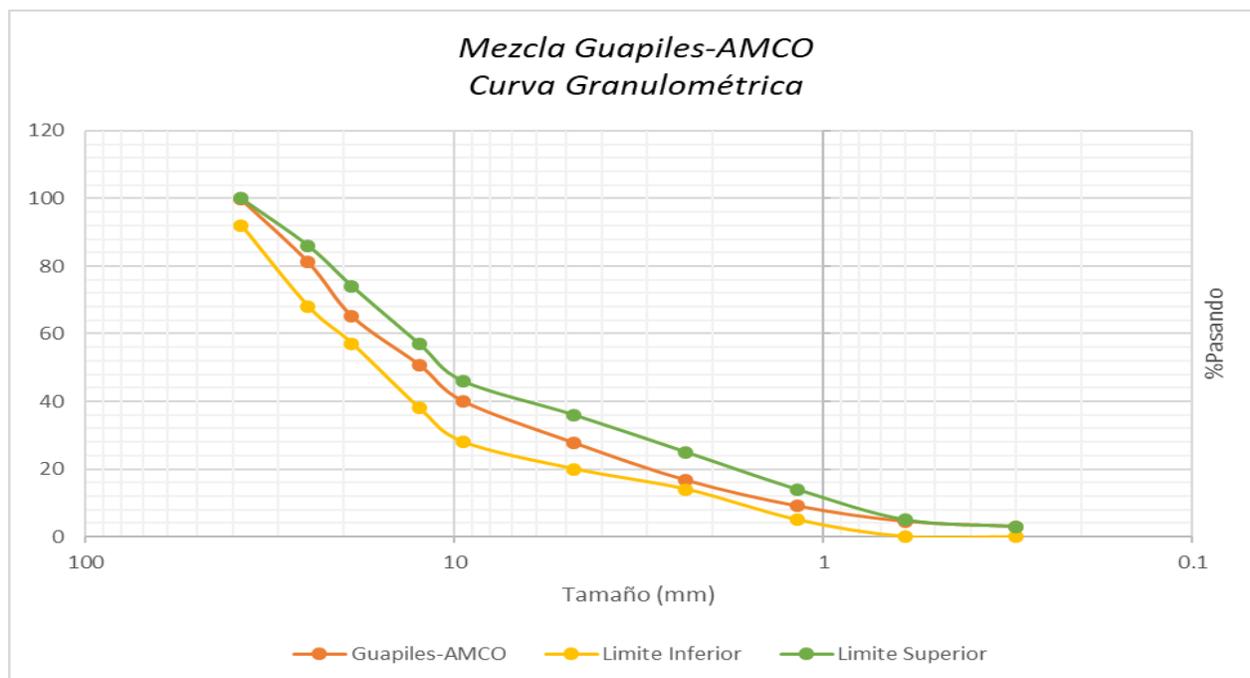
La mezcla de Guápiles-AMCO corresponde a agregados provenientes del Atlántico, estos tienden a agregarse limpios, bastante densos y con un buena gravedad específica bruta. Seguidamente se presentarán el porcentaje de participación de cada agregado y la curva granulométrica.

Tabla N.º 21. Porcentajes de Participación

Combinación de Agregados Guápiles-AMCO		
Agregados	Fuente	Porcentaje de Participación
Piedra 19 mm	Guápiles	29
Piedra 12,5 mm	AMCO	21
Arena de río	AMCO	31
Arena industrial	AMCO	19

Fuente: elaboración propia (2023).

Gráfica N.º 1 Curva Granulométrica, Mezcla Guápiles-AMCO.



Fuente: elaboración propia (2023).

Combinación de Agregados Mezclas Barranca-Garita

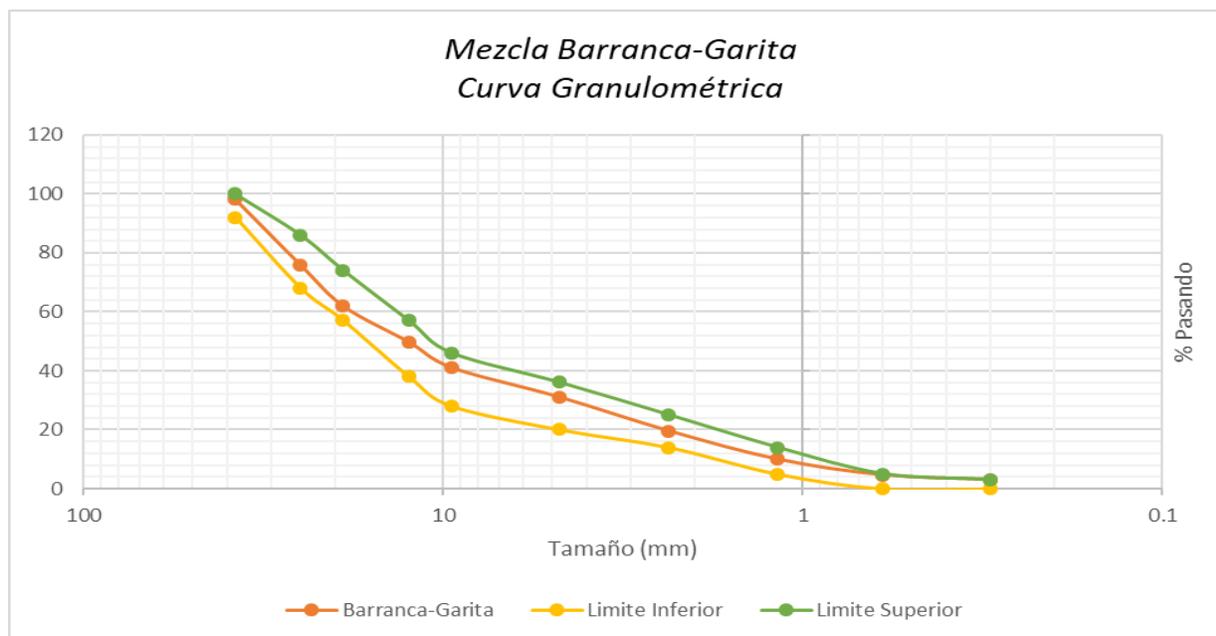
La mezcla Barranca-Garita presenta agregados provenientes del Pacífico, estos tienden a tener una alta absorción y no son tan limpios como lo esperado. Seguidamente se presentarán el porcentaje de participación de cada agregado y la curva granulométrica.

Tabla N.º 22. Porcentajes de Participación

Combinación de Agregados Barranca-Garita		
Agregados	Fuente	Porcentaje de Participación
Piedra 19 mm	Barranca	29
Piedra 12,5 mm	Barranca	21
Arena de río	Garita	31
Arena industrial	Barranca	19

Fuente: elaboración propia. (2023).

Gráfica N.º 2 Curva Granulométrica, Mezcla Barranca-Garita.



Fuente: elaboración propia (2023).

Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

Equipo. La realización de esta investigación necesita una serie de equipos especiales, lo que va a ayudar para la realización de cada ensayo. El equipo a utilizar necesita estar en óptimas condiciones para obtener los resultados de manera correcta. Se necesita verificar con las normas el equipo a utilizar.

Tabla N.º 23. Equipo

Equipo	
1	Balanzas digitales
2	Balanza análoga
3	Máquina universal
4	Cono de Abrams
5	Cucharas de albañil
6	Cronómetro
7	Baldes
8	Moldes cilíndricos
9	Batidora
10	Carretillos
11	Recipiente de peso unitario
12	Horno
13	Termómetro
14	Probetas
15	Varilla de apisonamiento
16	Paño

Fuente: elaboración propia (2023).

Técnicas e instrumentación para el procesamiento y análisis de datos

Cronograma de Ensayos Estructurados

Seguidamente se presentará el cronograma de ensayos estructurados:

Cronograma de Ensayos Estructurados			
Nombre del ensayo	Inicio	Fin	Día
Cronograma total de ensayos	9 de enero	13 de febrero	
<i>Mezcla N.º1</i>			
Contenido de humedad de agregados			9 de enero
Diseño de mezcla N.º1 y pruebas			9 de enero
Ensayo de asentamiento			9 de enero

Ensayo de temperatura			9 de enero
Ensayo de peso unitario			9 de enero
Elaboración de especímenes cilíndricos			9 de enero
Desmoldear los especímenes			10 de enero
Falla de compresión (3 días) – Mezcla N.º1 y pruebas			12 de enero
Falla de compresión (7 días) – Mezcla N.º1			16 de enero
Falla de compresión (28 días) – Mezcla N.º1 y pruebas			6 de febrero
Mezcla N.º 2			
Contenido de humedad de agregados			10 de enero
Diseño de mezcla N.º 2			10 de enero
Ensayo de asentamiento			10 de enero
Ensayo de temperatura			10 de enero
Ensayo de peso unitario			10 de enero
Elaboración de especímenes cilíndricos			10 de enero
Desmoldear los especímenes			11 de enero
Falla de compresión (3 días) – Mezcla N.º 2			13 de enero
Falla de compresión (7 días) – Mezcla N.º 2			17 de enero
Falla de compresión (28 días) – Mezcla N.º 2			7 de febrero
Mezcla N.º 3			
Contenido de humedad de agregados			11 de enero
Diseño de mezcla N.º 3			11 de enero
Ensayo de asentamiento			11 de enero
Ensayo de temperatura			11 de enero
Ensayo de peso unitario			11 de enero
Elaboración de especímenes cilíndricos			11 de enero
Desmoldear los Especímenes			12 de enero
Falla de compresión (3 días) – Mezcla N.º 3			14 de enero

Falla de compresión (7 días) – Mezcla N.º 3			18 de enero
Falla de compresión (28 días) – Mezcla N.º 3			8 de febrero
<i>Mezcla N.º 4</i>			
Contenido de humedad de agregados			16 de enero
Diseño de mezcla N.º 4			16 de enero
Ensayo de asentamiento			16 de enero
Ensayo de temperatura			16 de enero
Ensayo de peso unitario			16 de enero
Elaboración de especímenes cilíndricos			16 de enero
Desmoldear los especímenes			17 de enero
Falla de compresión (3 días) – Mezcla N.º 4			19 de enero
Falla de compresión (7 días) – Mezcla N.º 4			23 de enero
Falla de compresión (28 días) – Mezcla N.º 4			13 de febrero

Fuente: elaboración propia (2023).

Capítulo IV
Diseño de Mezcla

Elaboración de Diseño de Mezcla

El diseño de mezcla se realizó con el método descrito en el ACI 211.4, utilizando las características de los agregados que se brindaron por medio de las fichas técnicas de cada tajo. Inicialmente, se planteó elaborar un diseño de mezcla para un $f'c = 50\text{MPa}$ o 500 kg/cm^2 para ambas mezclas.

En este primer diseño de mezcla se siguió con todo lo estipulado en el método ACI 211.4. Se implementó el uso de dos aditivos, el Eucon WR75 (Tipo A) y el Plastol 5000 (Tipo F). Se realizó primeramente una mezcla de prueba con los agregados del Pacífico con todas las estipulaciones de la Norma.

En la cual se obtuvo una mezcla de concreto en estado fresco con una baja trabajabilidad, debido al contenido de agregado grueso excesivo, lo cual dificultaba su manejabilidad y compactación a la hora de realizar los ensayos. Además, se obtuvo un asentamiento de 90 mm en esta primera mezcla y se elaboraron un total de dos cilindros para observar los resultados de resistencia en las edades de 3 y 28 días.

Imagen N.º 7 Mezcla de Prueba N.º 1 Barranca-Garita

Fuente: laboratorio de la empresa AMCO (2023).

Seguidamente, se le realizó una serie de modificaciones al diseño de mezcla, apegándose un poco al implementado por la empresa AMCO. Entre las consideraciones importantes estuvo reducir la cantidad de agregado grueso, mediante el factor del volumen recomendado de agregado grueso por unidad de volumen de concreto, el cual se determina a través del tamaño máximo nominal y la reducción del porcentaje de aire del diseño de mezcla.

Conforme a la primera modificación según el método del ACI 211.4, se debía usar un factor de 0,72 y se redujo a 0,48, buscando darle una buena consistencia y proporcionamiento en cuestión de porcentaje para el agregado grueso y fino de la mezcla.

En la segunda modificación, se bajó el porcentaje de contenido de aire de 2% (valor más crítico) a 1,5%, tal cual dice el método del ACI 211.4, para un tamaño máximo nominal de 19 mm. Una vez que se tuvieron listos estos cambios, se realizó una primera mezcla Barranca-Garita para observar su comportamiento. Se obtuvo una mezcla con una consistencia bastante similar a la

primera de prueba con un valor de 80 mm, pero con una distribución más equilibrada en cuestión de porcentajes para el agregado grueso y fino, lo que terminó dándole una trabajabilidad aceptable.

Se aplicó el mismo diseño de mezcla para la realización de la primera mezcla con los agregados del Atlántico, desafortunadamente, para la arena de río se tenía que usar 16,22 kg. No se pudo emplear la misma arena de río que se había muestreado en la mañana, porque se acabó. Se tuvo que ir por más y se utilizaron alrededor de 2 kg de arena de río con diferente contenido de humedad. Se elaboró la mezcla de concreto y se dio una consistencia de 200 mm, una mezcla bastante fluida y trabajable. Se decidió moldear dos cilindros para observar los resultados de resistencia en los días 3 y 28.

Por lo mencionado anteriormente y métodos de control de calidad, se prefirió dejar como mezcla de prueba y calcular nuevamente el contenido de humedad de la nueva arena y trabajar con esta. Seguidamente, se volvió a elaborar la mezcla de concreto, obteniendo características bastante similares a la anterior, con un asentamiento de 240 mm y se tomó como la primera mezcla Guápiles-AMCO.

Tabla N.º 24. Resumen Diseño de Mezcla

Diseño de Mezcla	
A/C	0.35
Aire (%)	1.5
VCA	0.48
TMN	19 mm (3/4")
Eucon WR75 (ml)	kg de cemento * 8
Plastol 5000 (ml)	kg de cemento * 5

Fuente: elaboración propia (2023).

Contenidos de Humedad

Los contenidos de humedad se determinaron de la misma manera que se trabaja en la empresa AMCO. Se calculaban de manera más rápida por cuestiones de celeridad y así tener un dato más preciso para trabajar conforme al mismo. Cabe rescatar que nos inclinamos por el uso de este método para poder tener los resultados el mismo día de la realización de las mezclas en horas de la mañana, dado que, por medio de la investigación realizada, se entiende la importancia que juegan los contenidos de humedad en la mezcla de concreto a la hora de la corrección por humedad.

Este método consistía en meter el material en una bandeja en el horno por dos horas a una temperatura de 110 ± 5 °C. Cumplidas las dos horas, sacar la bandeja con el material del horno con cuidado y dejarla reposar por 30 minutos. Finalmente, pesar la bandeja con la muestra adjunta para determinar el contenido de humedad.

Imagen N.º 8 Contenidos de Humedad

Fuente: laboratorio de la empresa AMCO (2023).

Imagen N.º 9 Horno

Fuente: laboratorio de la empresa AMCO (2023).

Mezclas De Concreto

Se realizaron diez mezclas de concreto en total, dos de prueba para cada uno de los agregados de diferente procedencia, cuatro con agregados del Atlántico y cuatro con agregados del Pacífico. Se hicieron en un lapso de cuatro días, por día se realizaba una tanda de mezcla con agregados del Atlántico y una tanda de mezcla con agregados del Pacífico.

Se realizó de la siguiente manera para que ambas mezclas fueran comparativas. A cada una de ellas se le realizarán los ensayos de asentamiento INTE C41 (ASTM C143), temperatura INTE C43 (ASTM C1064) y densidad del concreto ASTM C138 en estado fresco. Después, se moldearon cilindros pequeños INTE C18 (ASTM C192) con dimensiones de 100 mm x 200 mm.

Para cada tanda, exceptuando las dos de prueba, se moldearán un total de diez cilindros pequeños. Se eligió la siguiente cantidad para fallar tres a los tres días, tres a los siete días y, finalmente, cuatro a los 28 días.

En total se moldearon 84 cilindros, tomando los cuatro de las dos mezclas de prueba. A todas las mezclas de concreto en estado endurecido se les realizó el ensayo de resistencia a la compresión INTE C39 (ASTM C39). Todos los ensayos se realizaron según los procedimientos de su respectiva Norma INTECO (ASTM).

Imagen N.º 10 Mezclas de Concreto

Fuente: laboratorio de la empresa AMCO (2023).

Imagen N.º 11 Ensayo de Asentamiento

Fuente: laboratorio de la empresa AMCO (2023).

Imagen N.º 12 Ensayo de Densidad del Concreto

Fuente: laboratorio de la empresa AMCO (2023).

Imagen N.º 13 Ensayo de Temperatura

Fuente: laboratorio de la empresa AMCO (2023).

Imagen N.º 14 Moldeo de Especímenes Cilíndricos

Fuente: laboratorio de la empresa AMCO (2023).

Imagen N.º 15 Cilindros Moldeados

Fuente: laboratorio de la empresa AMCO (2023).

Imagen N.º 16 Curado por Inmersión de Especímenes



Fuente: laboratorio de la empresa AMCO (2023).

Imagen N.º 17 Ensayo de Resistencia a la Compresión, edad 3 días, Mezcla N.º 3



Fuente: laboratorio de la empresa AMCO (2023).

Imagen N.º 18 Ensayo de Resistencia a la Compresión, edad 7 días, Mezcla N.º 2



Fuente: laboratorio de la empresa AMCO (2023).

Imagen N.º 19 Ensayo de Resistencia a la Compresión, edad 28 días, Mezcla N.º 4



Fuente: laboratorio de la empresa AMCO (2023).

Capítulo V

Análisis de Resultados

Seguidamente se detallan los resultados obtenidos de los ensayos al concreto en estado fresco y endurecido.

Propiedades del Concreto en Estado Fresco

Se presentarán a continuación, los resultados tabulados de los ensayos realizados para cada una de las mezclas de concreto en estado fresco de la mezcla de *Guápiles-AMCO*:

Tabla N.º 25. Propiedades del Concreto Fresco, Mezcla N.º 1

Mezcla N.º 1 Guápiles-AMCO	
Asentamiento (mm)	240
Temperatura (°C)	24,5
Peso unitario (kg/m ³)	2393
A/C	0.33

Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla N.º 26. Propiedades del Concreto Fresco, Mezcla N.º 2

Mezcla N.º 2 Guápiles-AMCO	
Asentamiento (mm)	135
Temperatura (°C)	25,5
Peso unitario (kg/m ³)	2436
A/C	0.25

Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla N.º 27. Propiedades del Concreto Fresco, Mezcla N.º 3

Mezcla N.º 3 Guápiles-AMCO	
Asentamiento (mm)	135
Temperatura (°C)	26,5
Peso unitario (kg/m ³)	2386
A/C	0.31

Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla N.º 28. Propiedades del Concreto Fresco, Mezcla N.º 4

Mezcla N.º 4 Guápiles-AMCO	
Asentamiento (mm)	210
Temperatura (°C)	25,5
Peso unitario (kg/m ³)	2386
A/C	0.34

Fuente: elaboración propia (2023).

Seguidamente se presentarán los resultados tabulados de los ensayos realizados para cada una de las mezclas de concreto en estado fresco de la mezcla de **Barranca-Garita**:

Tabla N.º 29. Propiedades del Concreto Fresco, Mezcla N.º 1

Mezcla N.º 1 Barranca-Guápiles	
Asentamiento (mm)	80
Temperatura (°C)	25,5
Peso unitario (kg/m ³)	2357
A/C	0.39

Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla N.º 30. Propiedades del Concreto Fresco, Mezcla N.º 2

Mezcla N.º 2 Barranca-Guápiles	
Asentamiento (mm)	100
Temperatura (°C)	29,5
Peso unitario (kg/m ³)	2371
A/C	0.40

Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla N.º 31. Propiedades del Concreto Fresco, Mezcla N.º 3

Mezcla N.º 3 Barranca-Guápiles	
Asentamiento (mm)	100
Temperatura (°C)	25,5
Peso unitario (kg/m ³)	2386
A/C	0.40

Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla N.º 32. Propiedades del Concreto Fresco, Mezcla N.º 4

Mezcla N.º 4 Barranca-Guápiles	
Asentamiento (mm)	95
Temperatura (°C)	27,5
Peso unitario (kg/m ³)	2364
A/C	0.40

Fuente: elaboración propia (2023).

Mezclas de Prueba

Tabla N.º 33. Propiedades del Concreto Fresco, Mezcla de Prueba

Mezcla Barranca-Garita (Prueba N.º 1)	
Asentamiento (mm)	90
Mezcla Guápiles-AMCO (Prueba N.º 2)	
Asentamiento (mm)	200

Fuente: elaboración propia (2023).

*Mezclas de Concreto - Temperatura***Tabla N.º 34. Temperatura Ambiente**

Temperatura ambiente (°C)	
9 de enero	22,5 (°C)
10 de enero	41,8 (°C) 28,4 (°C)
11 de enero	22,4 (°C)
16 de enero	24,7 (°C)

Fuente: elaboración propia (2023).

Como se ve en el cuadro anterior, se presentaron las temperaturas medidas con el termómetro de humedad. Se calculó la temperatura ambiente cada uno de los días que se realizaron mezclas y se obtuvieron los valores mostrados en el cuadro.

La temperatura ambiente para el segundo día de mezcla, el termómetro de humedad reportó 41,8 °C. Esta temperatura es un dato erróneo, porque en Costa Rica nunca se han reportado temperaturas similares y se apela a que el equipo no se encontraba calibrado en ese momento. Se consultó en el Instituto Meteorológico Nacional, el cual nos brindó que para el día 10 de enero en la región donde se encuentra ubicado el Aeropuerto Juan Santa María, bastante cerca de donde se realizaron las mezclas, la temperatura ambiente fue de 22,4 °C. La temperatura mínima tomada a las 5:45 a. m. fue de 18 °C y la máxima tomada a la 1:00 p. m. fue de 28,4 °C. Por lo que, como las mezclas de concreto se realizaron entre las 9:00 a. m. y las 2:00 p. m., se tomó la temperatura máxima como referente para el análisis.

Mezclas de Concreto – Contenido de Aire

Seguidamente se muestran los resultados de contenido de aire, calculados mediante el procedimiento que establece la Norma INTE C72 (ASTM C138) “Método para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire del concreto por el método gravimétrico”. En el que se calcula primero la densidad teórica y luego, el contenido de aire.

Tabla N.º 35. Barranca-Garita

Barranca-Garita	
Mezcla N.º 1	3,2%
Mezcla N.º 2	2,7%
Mezcla N.º 3	2,0%
Mezcla N.º 4	3,0%

Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla N.º 36. Guápiles-AMCO

Guápiles-AMCO – Contenido de aire	
Mezcla N.º 1	1,8%
Mezcla N.º 2	3,8%
Mezcla N.º 3	0,6%
Mezcla N.º 4	2,0%

Fuente: elaboración propia (2023).

Resultados del Concreto en Estado Endurecido

Se presentarán a continuación, los resultados de resistencia a compresión a las distintas edades de fallas, primeramente, se comenzará con las mezclas de *Guápiles-AMCO*:

Mezcla N.º 1

Tabla N.º 37. Resultados a Compresión, Mezcla N.º 1.

Edad de falla: 3 días			
Número de cilindro	1	2	3
Tipo de falla	-	-	-
Resistencia (kg/cm ²)	326	322	322
Esfuerzo (MPa)	32,0	31,6	31,6
<i>Promedio (MPa)</i>		31,7	

Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla N.º 38. Resultados a Compresión, Mezcla N.º 1.

Edad de falla: 7 días			
Número de cilindro	4	5	6
Tipo de falla	-	-	-
Resistencia (kg/cm ²)	492	468	474
Esfuerzo (MPa)	48,2	45,9	47,0
<i>Promedio (MPa)</i>		47,0	

Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla N.º 39. Resultados a Compresión, Mezcla N.º 1.

Edad de falla: 28 días				
Número de cilindro	7	8	9	10
Tipo de falla	2	2	2	2
Resistencia (kg/cm ²)	642	614	656	642
Esfuerzo (MPa)	63,0	60,2	64,3	63,0
<i>Promedio (MPa)</i>				62,6

Fuente: elaboración propia (2023).

Mezcla N.º 2**Tabla N.º 40. Resultados a Compresión, Mezcla N.º 2.**

Edad de falla: 3 días			
Número de cilindro	1	2	3
Tipo de falla	-	-	-
Resistencia (kg/cm ²)	461	467	461
Esfuerzo (MPa)	45,2	45,8	45,2
<i>Promedio (MPa)</i>			45,4

Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla N.º 41. Resultados a compresión, Mezcla N.º 2.

Edad de falla: 7 días			
Número de cilindro	4	5	6
Tipo de falla	2	3	2
Resistencia (kg/cm ²)	599	564	603
Esfuerzo (MPa)	58,7	55,3	59,1

Promedio (MPa) **57,7**

Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla N.º 42. Resultados a Compresión, Mezcla N.º 2.

Edad de falla: 28 días				
Número de cilindro	7	8	9	10
Tipo de falla	2	2	2	2
Resistencia (kg/cm ²)	756	727	751	686
Esfuerzo (MPa)	74,1	71,3	73,6	67,3
<i>Promedio (MPa)</i>				73,0

Fuente: elaboración propia (2023).

Nota: en la mezcla N.º 2 de Guápiles-AMCO para el cilindro N.º 10 se obtuvo un resultado de 67,3 MPa, lo cual está bastante distanciado, conforme a los otros tres cilindros, por lo que se prefirió no tomarse en cuenta para el promedio o cálculo en el análisis.

Mezcla N.º 3

Tabla N.º 43. Resultados a Compresión, Mezcla N.º 3.

Edad de falla: 3 días			
Número de cilindro	1	2	3
Tipo de falla	2	2	2
Resistencia (kg/cm ²)	505	535	527
Esfuerzo (MPa)	49,5	52,5	51,7
<i>Promedio (MPa)</i>			51,5

Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla N.º 44. Resultados a Compresión, Mezcla N.º 3.

Edad de falla: 7 días			
Número de cilindro	4	5	6
Tipo de falla	2	3	2
Resistencia (kg/cm ²)	595	592	566
Esfuerzo (MPa)	58,4	58,1	55,5
<i>Promedio (MPa)</i>		57,3	

Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla N.º 45. Resultados a Compresión, Mezcla N.º 3.

Edad de falla: 28 días				
Número de cilindro	7	8	9	10
Tipo de falla	2	2	2	2
Resistencia (kg/cm ²)	745	750	812	818
Esfuerzo (MPa)	73,1	73,6	79,6	80,2
<i>Promedio (MPa)</i>		76,6		

Fuente: elaboración propia (2023).

Mezcla N.º 4

Tabla N.º 46. Resultados a Compresión, Mezcla N.º 4.

Edad de falla: 3 días			
Número de cilindro	1	2	3
Tipo de falla	2	2	2
Resistencia (kg/cm ²)	473	479	475
Esfuerzo (MPa)	46,4	47,0	46,6
<i>Promedio (MPa)</i>		46,7	

Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla N.º 47. Resultados a Compresión, Mezcla N.º 4.

Edad de falla: 7 días			
Número de cilindro	4	5	6
Tipo de falla	2	2	2

Resistencia (kg/cm ²)	602	598	581
Esfuerzo (MPa)	59,0	58,6	57,0
<i>Promedio (MPa)</i>		58,2	

Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla N.º 48. Resultados a Compresión, Mezcla N.º 4.

Edad de falla: 28 días				
Número de cilindro	7	8	9	10
Tipo de falla	2	-	2	5
Resistencia (kg/cm ²)	678	748	728	714
Esfuerzo (MPa)	66,5	73,4	71,4	70,0
<i>Promedio (MPa)</i>		70,3		

Fuente: elaboración propia (2023).

Seguidamente, se comenzará con las mezclas de *Barranca-Garita*:

Mezcla N.º 1

Tabla N.º 49. Resultados a Compresión, Mezcla N.º 1.

Edad de falla: 3 días			
Número de cilindro	1	2	3
Tipo de falla	-	-	-
Resistencia (kg/cm ²)	294	299	291
Esfuerzo (MPa)	28,8	29,3	28,5
<i>Promedio (MPa)</i>		28,9	

Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla N.º 50. Resultados a Compresión, Mezcla N.º 1.

Edad de falla: 7 días			
Número de cilindro	4	5	6
Tipo de falla	-	-	2
Resistencia (kg/cm ²)	462	449	479
Esfuerzo (MPa)	45,3	44,0	47,0
<i>Promedio (MPa)</i>		45,4	

Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla N.º 51. Resultados a Compresión, Mezcla N.º 1.

Edad de falla: 28 días				
Número de cilindro	7	8	9	10
Tipo de falla	2	2	2	2
Resistencia (kg/cm ²)	598	581	587	589
Esfuerzo (MPa)	58,6	57,0	57,6	57,8
<i>Promedio (MPa)</i>		57,8		

Fuente: elaboración propia (2023).

Mezcla N.º 2

Tabla N.º 52. Resultados a Compresión, Mezcla N.º 2.

Edad de falla: 3 días			
Número de cilindro	1	2	3
Tipo de falla	-	-	-
Resistencia (kg/cm ²)	356	316	308
Esfuerzo (MPa)	34,9	31,0	30,2
<i>Promedio (MPa)</i>		32,0	

Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla N.º 53. Resultados a Compresión, Mezcla N.º 2.

Edad de falla: 7 días			
Número de cilindro	4	5	6
Tipo de falla	2	2	2
Resistencia (kg/cm ²)	445	458	444
Esfuerzo (MPa)	43,6	44,9	43,5
<i>Promedio (MPa)</i>		46,3	

Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla N.º 54. Resultados a Compresión, Mezcla N.º 2.

Edad de falla: 28 días				
Número de cilindro	7	8	9	10
Tipo de falla	2	2	2	2
Resistencia (kg/cm ²)	594	609	612	600
Esfuerzo (MPa)	58,3	59,7	60,0	58,8
<i>Promedio (MPa)</i>		59,2		

Fuente: elaboración propia (2023).

Mezcla N.º 3**Tabla N.º 55. Resultados a Compresión, Mezcla N.º 3.**

Edad de falla: 3 días			
Número de cilindro	1	2	3
Tipo de falla	2	2	2
Resistencia (kg/cm ²)	405	401	405
Esfuerzo (MPa)	39,7	39,3	39,7
<i>Promedio (MPa)</i>		39,6	

Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla N.º 56. Resultados a Compresión, Mezcla N.º 3.

Edad de falla: 7 días			
Número de cilindro	4	5	6
Tipo de falla	2	2	2
Resistencia (kg/cm ²)	495	460	487
Esfuerzo (MPa)	48,5	45,1	47,8
<i>Promedio (MPa)</i>		47,1	

Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla N.º 57. Resultados a Compresión, Mezcla N.º 3.

Edad de falla: 28 días				
Número de cilindro	7	8	9	10
Tipo de falla	2	2	2	2
Resistencia (kg/cm ²)	569	601	602	646
Esfuerzo (MPa)	55,8	58,9	59,0	63,4
<i>Promedio (MPa)</i>		59,3		

Fuente: elaboración propia (2023).

Mezcla N.º 4**Tabla N.º 58. Resultados a Compresión, Mezcla N.º 4.**

Edad de falla: 3 días			
Número de cilindro	1	2	3
Tipo de falla	2	3	2
Resistencia (kg/cm ²)	377	385	374
Esfuerzo (MPa)	37,0	37,8	36,7
<i>Promedio (MPa)</i>		37,2	

Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla N.º 59. Resultados a Compresión, Mezcla N.º 4.

Edad de falla: 7 días			
Número de cilindro	4	5	6
Tipo de falla	2	2	3
Resistencia (kg/cm ²)	496	464	482
Esfuerzo (MPa)	48,6	45,5	47,3
<i>Promedio (MPa)</i>		47,1	

Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla N.º 60. Resultados a Compresión, Mezcla N.º 4.

Edad de falla: 28 días				
Número de cilindro	7	8	9	10
Tipo de falla	2	2	2	2
Resistencia (kg/cm ²)	587	634	622	605
Esfuerzo (MPa)	57,6	62,2	61,0	59,3
<i>Promedio (MPa)</i>		60,0		

Fuente: elaboración propia (2023).

Mezclas de Prueba

Seguidamente se comenzará con las mezclas de *prueba*:

Tabla N.º 61. Resultados a Compresión, Mezcla de Prueba.

Edad de falla: 3 días		
Mezcla	Guápiles-AMCO	Barranca-Garita
Número de cilindro	1	1
Tipo de falla	-	-
Resistencia (kg/cm ²)	327	319

Esfuerzo (MPa)

32,1

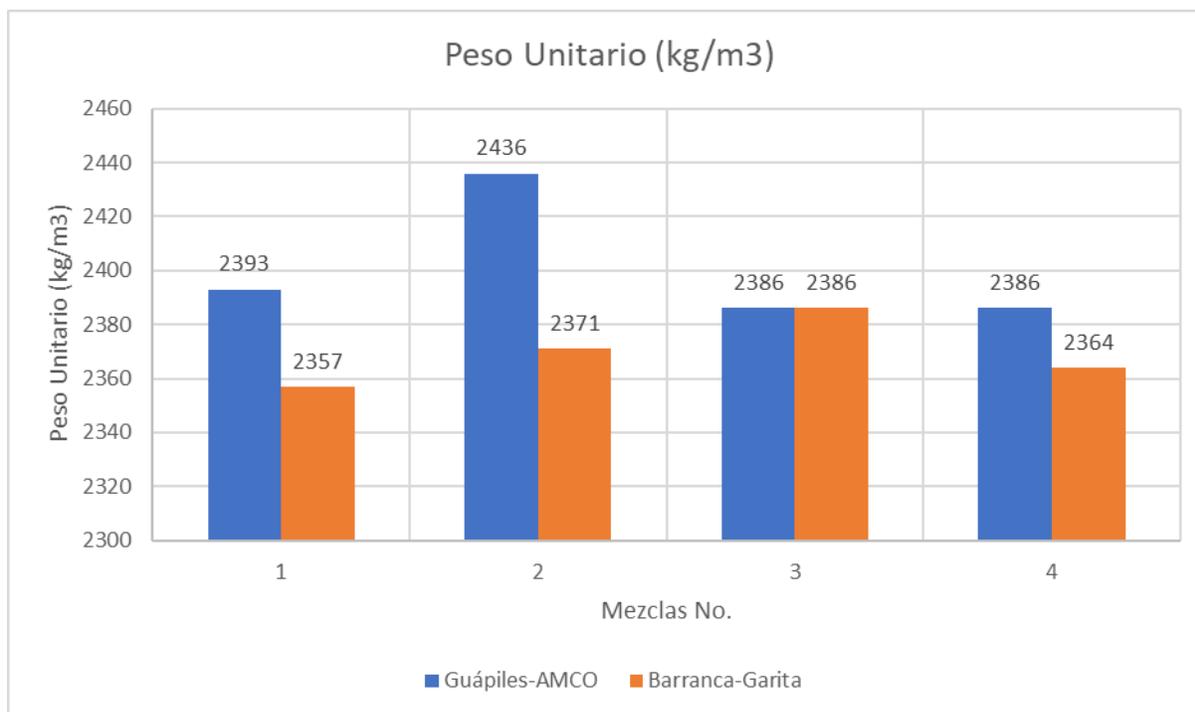
31,3

Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla N.º 62. Resultados a Compresión, Mezcla de Prueba.

Edad de falla: 28 días		
Mezcla	Guápiles-AMCO	Barranca-Garita
Número de cilindro	1	1
Tipo de falla	2	2
Resistencia (kg/cm ²)	563	507
Esfuerzo (MPa)	55,2	49,7

Fuente: elaboración propia (2023).

Análisis de Resultados**Gráfico N.º 3. Peso Unitario**

Fuente: elaboración propia (2023).

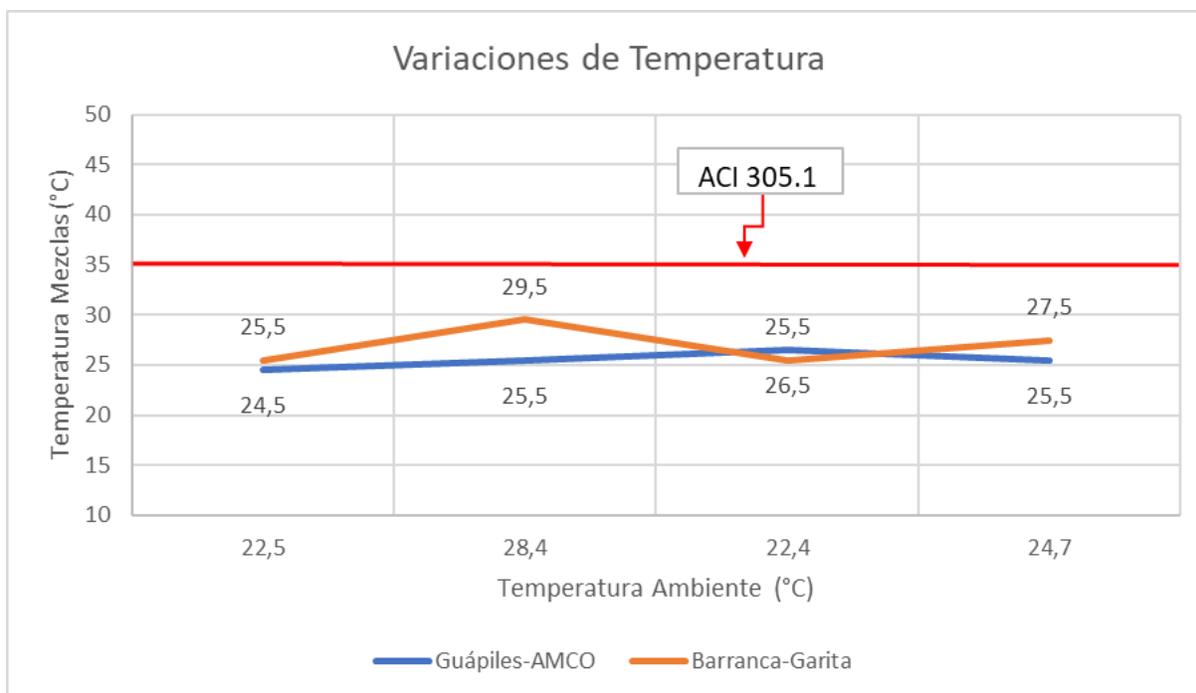
En el gráfico N.º 3 se muestran los resultados obtenidos en barras del ensayo de densidad (peso unitario) del concreto en estado fresco. Como se aprecia, las barras color azul son para los resultados de la mezcla Guápiles-AMCO y las barras color anaranjado para los resultados de la mezcla Barranca-Garita. Se observa que para la mezcla N.º 1 se obtuvo un resultado de 2393 kg/m^3 para Guápiles-AMCO y 2357 kg/m^3 para Barranca-Garita.

La mezcla N.º 2 presenta un resultado de 2436 kg/m^3 para Guápiles-AMCO y 2371 kg/m^3 para Barranca-Garita. La mezcla N.º 3 dio como resultado 2386 kg/m^3 para ambas mezclas. La mezcla N.º 4 obtuvo un resultado de 2386 kg/m^3 para la mezcla Guápiles-AMCO y 2364 kg/m^3 para la mezcla Barranca-Garita.

El rango que se establece para concretos de peso normal es entre 2200 a 2400 kg/m^3 , como se observa, la gran mayoría de los resultados se encuentran dentro de este rango, por lo que se consideran aceptables.

Únicamente en la muestra N.º 2 de Guápiles-AMCO se tiene un resultado de 2436 kg/m^3 que, a pesar de salirse ligeramente del rango, consultándole a especialistas en el tema, se toma como un resultado aceptable. Como conclusión, se observa que se tuvieron mezclas bastante densas y entre más lo sean, menor va a ser el contenido de vacíos.

Gráfico N.º 4. Variaciones de Temperatura



Fuente: elaboración propia (2023).

En el gráfico se observan las temperaturas obtenidas de cada mezcla mediante en el ensayo de medición de temperatura del concreto recién mezclado. Ambas mezclas se realizaron el mismo día entre las 9:00 a. m. a 3:00 p. m., con el fin de que sean mezclas comparativas.

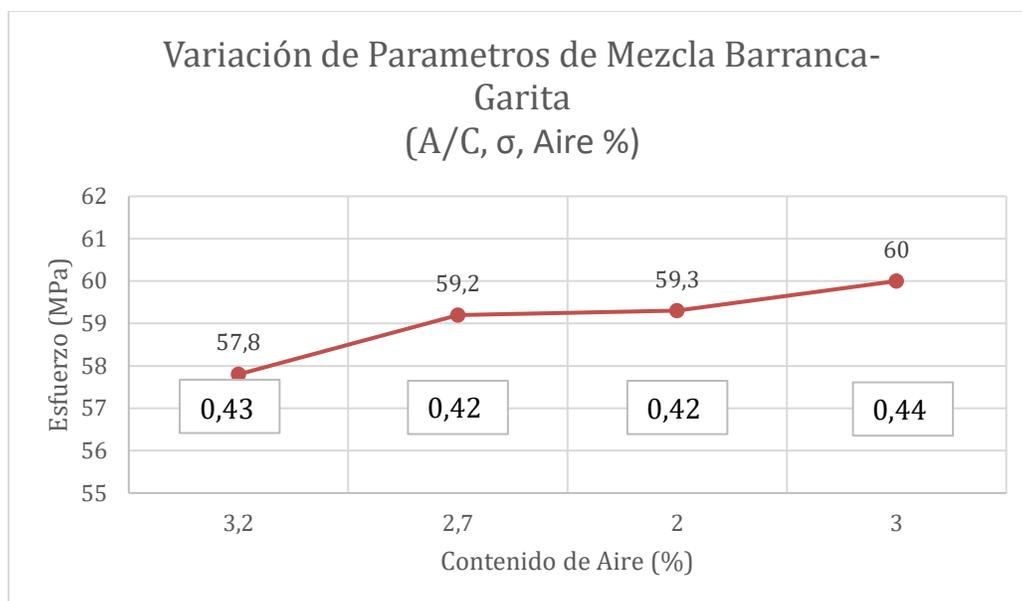
En el eje x de izquierda a derecha se muestran las temperaturas ambiente tomadas en cada uno de los días que realizaron la mezcla. Como se puede observar, la mezcla N.º 1 obtuvo una temperatura ambiente de 22,5 °C, obteniendo 24,5 °C para Guápiles-AMCO y 25,5 °C para Barranca-Garita. En la mezcla N.º 2 se consigue una temperatura ambiente de 28,4 °C para 25,5 °C para Guápiles-AMCO y 29,5 °C para Barranca-Garita. En la mezcla N.º 3 se presenta una temperatura ambiente de 22,4 °C para 26,5 °C para Guápiles-AMCO y 25,5 °C para Barranca-Garita.

En la mezcla N.º 4 se muestra una temperatura de 24,7 °C para 25,5 °C para Guápiles-AMCO y 27,5 °C para Barranca-Garita. Como conclusión, se ve que para temperaturas ambientes

mayores surge una diferencia considerable entre las temperaturas de las mezclas, así como se muestra en las mezclas 2 y 4.

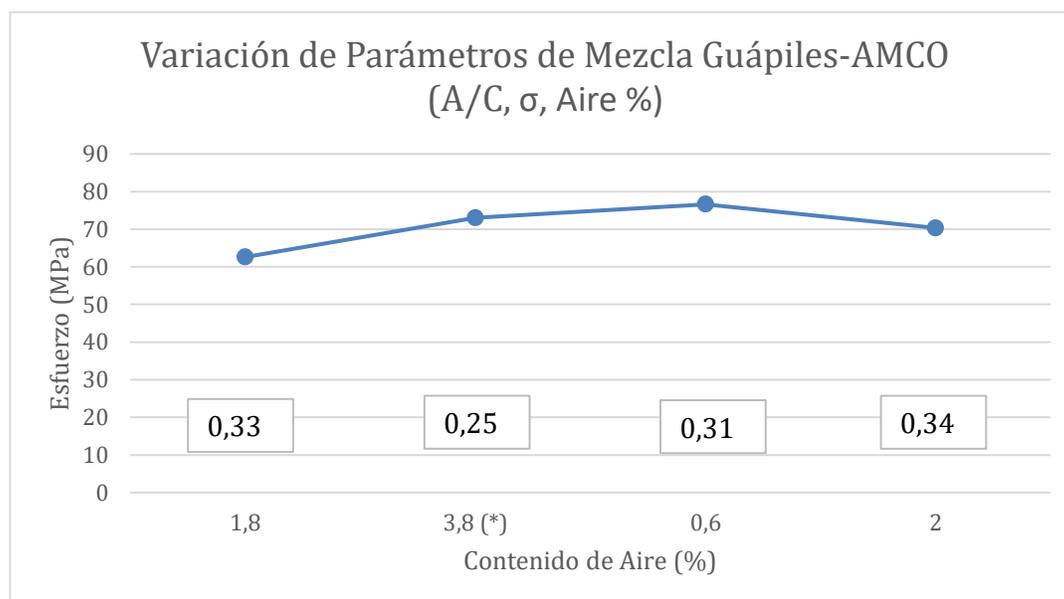
Finalmente, el ACI 305,1 establece que la temperatura máxima permitida para concreto en estado fresco es de 35 °C, por lo que vemos que ninguna temperatura superó los 30 °C, por lo que se toman como resultados aceptables.

Gráfico N.º 5. Variaciones de Parámetros de Mezcla Barranca Garita



Fuente: elaboración propia (2023).

Gráfico N.º 6. Variaciones de Parámetros de Mezcla Guápiles-AMCO

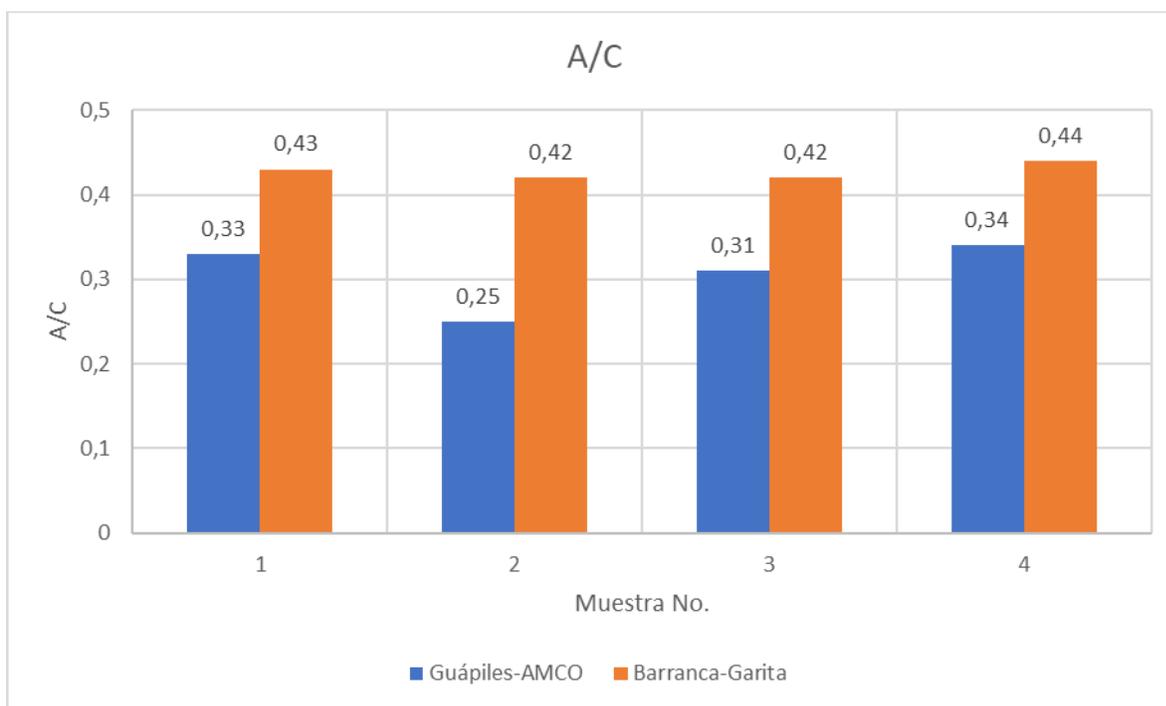


Fuente: elaboración propia (2023).

En las gráficas anteriores se puede apreciar las variaciones de parámetros de ambas mezclas en cada una de las tandas realizadas. En la mezcla Barranca-Garita, la relación agua/cemento varía entre 0,42 y 0,44 y la resistencia entre 57,8 a 60,0 MPa. En la mezcla Guápiles-AMCO, la relación

agua/cemento varía entre 0,25 y 0,34 y la resistencia entre 62,6 a 76,6 MPa. Como conclusión, los agregados provenientes del Pacífico presentan un comportamiento más estable que los del Caribe, pero los provenientes del Caribe ofrecen los resultados más elevados, tal como se aprecia en la gráfica. Al realizar las mezclas de la misma manera, la variación entre las mezclas podría ser el proceso de manufactura de los agregados en los tajos de procedencia de cada agregado.

Gráfico N.º 7. Relación A/C



Fuente: elaboración propia (2023).

Observando el gráfico anterior de la relación “agua-cemento” de ambas mezclas, en donde las barras azules representan las gráficas de la mezcla Guápiles-AMCO y las barras anaranjadas a las gráficas Barranca-Garita.

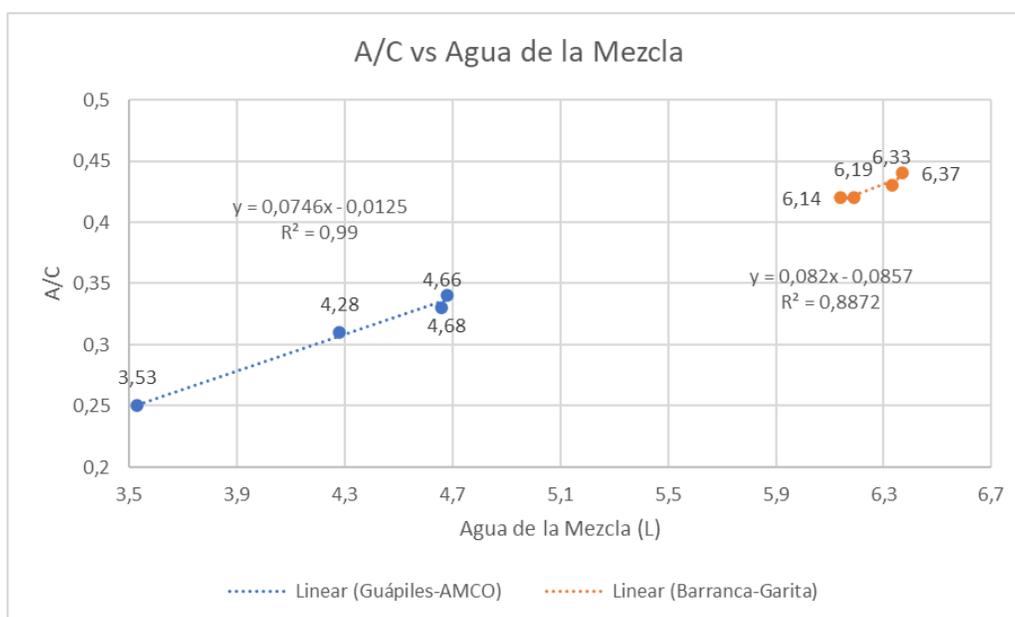
Imagen N.º 20. Porosidad



Fuente: laboratorio de la empresa AMCO (2023)

Se puede ver cómo ambas mezclas presentan relaciones bajas agua-cemento, esto significa que la mezcla de concreto presenta una porosidad considerada como aceptable como se aprecia en la imagen anterior y como conclusión, va a tener una baja permeabilidad y una alta durabilidad para ambas mezclas.

Gráfico N.º 8. Relación A/C vs Agua de la Mezcla

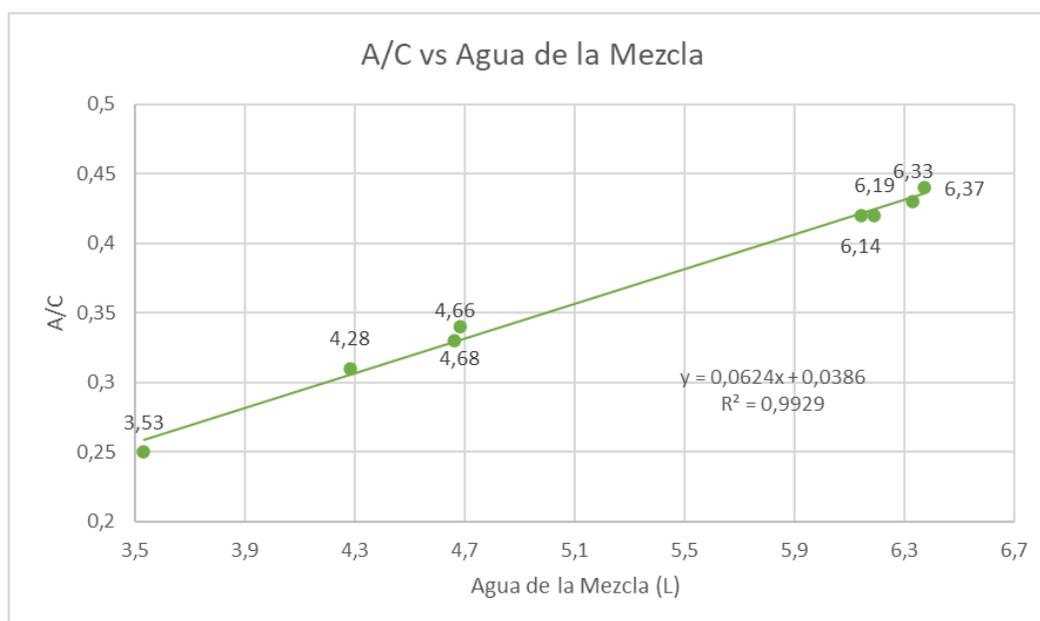


Fuente: elaboración propia (2023).

En el siguiente gráfico se muestra la relación que hay entre el agua de la mezcla y relación “Agua-Cemento”. La curva azul representa los valores de las mezclas de Guápiles-AMCO y la curva anaranjada a los valores de las mezclas Barranca-Garita. En ambas curvas se determinó la ecuación de la recta, con ello, para poder determinar de forma aproximada la relación que tienen la variable independiente en este caso denominada “Agua de la Mezcla” y la variable dependiente llamada “A/C” (relación Agua-Cemento).

Además, se determinó el coeficiente de determinación (R^2) de ambas mezclas para ver como el modelo de regresión se ajusta a los datos experimentales. Se obtuvo un $R^2 = 0,99$ para la mezcla de Guápiles-AMCO y $R^2 = 0,8872$ para la mezcla Barranca-Garita. Como se puede concluir se obtienen valores muy cercanos a 1,0, lo que se considera como ajustes casi perfectos y, por lo tanto, modelos fiables. Ambas curvas presentan un comportamiento lineal creciente. Se puede observar claramente cómo la mezcla Barranca-Garita requiere más agua que la de Guápiles-AMCO.

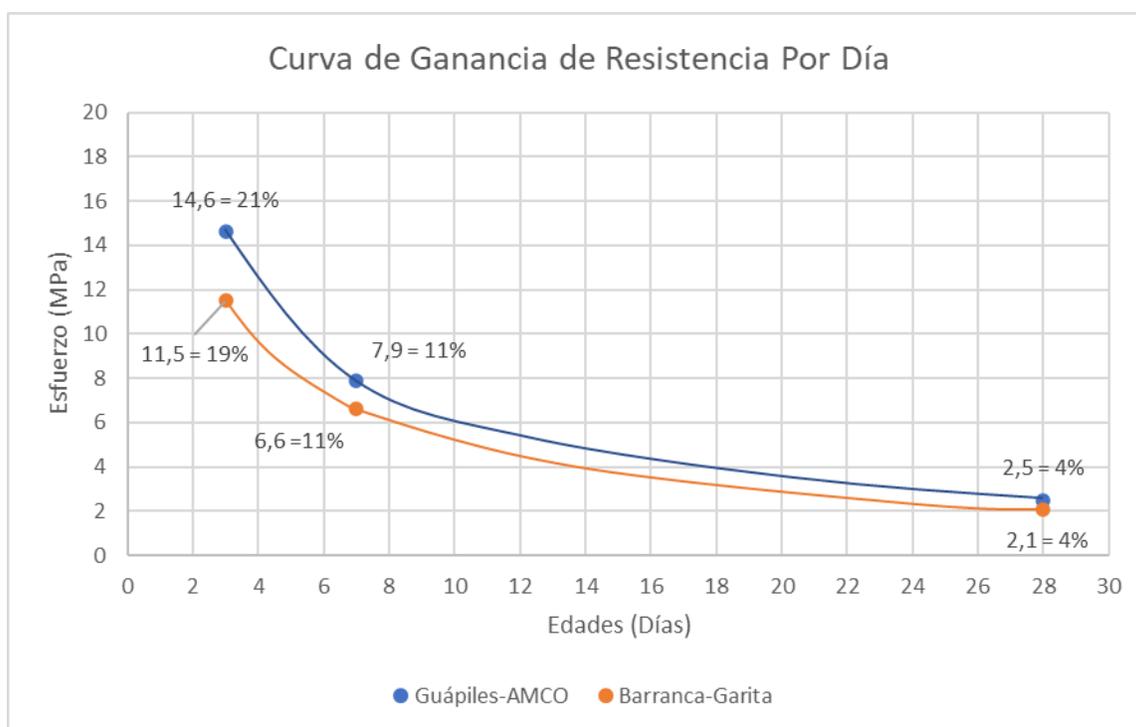
Gráfico N.º 9. Relación A/C vs Agua de la Mezcla



Fuente: elaboración propia (2023).

En el gráfico, tomando como base el anterior, se unificaron ambas mezclas buscando una relación. Se determinó la ecuación de la recta para observar la relación entre las variables dependientes e independientes. También se determinó el coeficiente de determinación (R^2), el cual dio un valor de 0,99, lo cual es considerado como un ajuste casi perfecto y un modelo fiable con respecto al modelo de regresión y los datos experimentales. Como conclusión, se observa un comportamiento lineal creciente en la curva, dado que conforme se utiliza mayor cantidad del agua de la mezcla, mayor será mayor su relación “Agua-Cemento”.

Gráfico N.º 10. Curva de Ganancia de Resistencia Por Día



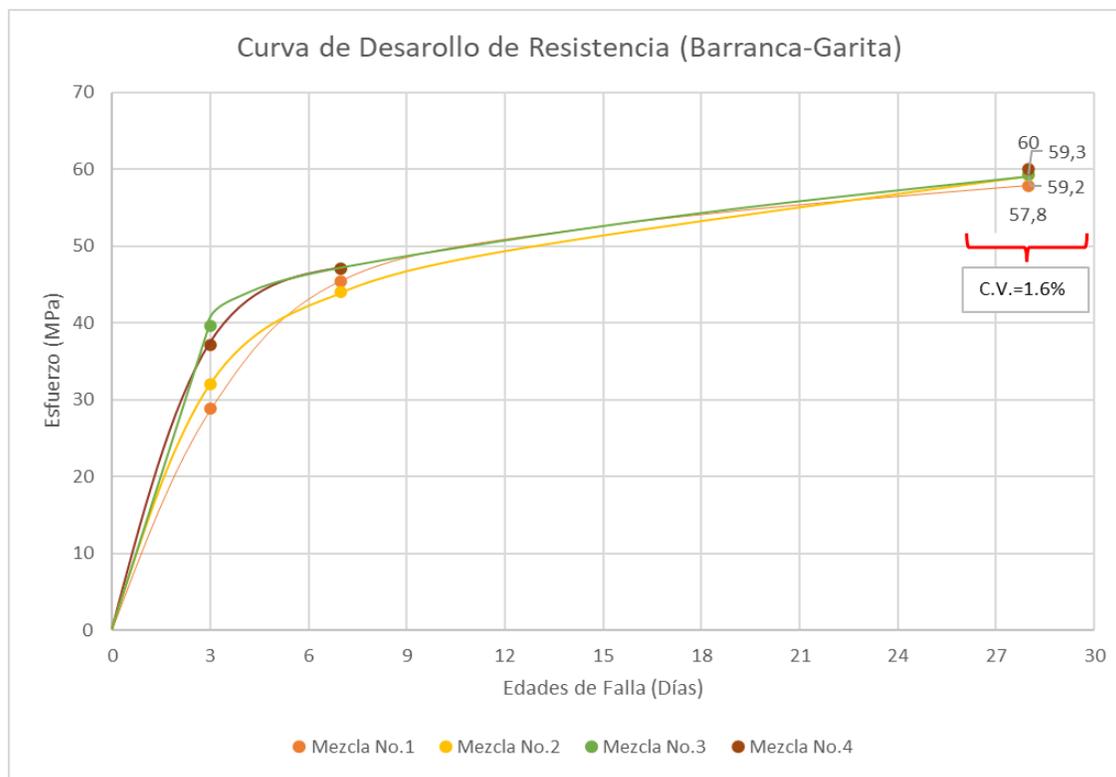
Fuente: elaboración propia (2023).

En el gráfico anterior se calculó la ganancia de resistencia constante por día, en el cual se dividió el valor promedio de resistencia entre el día de falla. Se puede observar que al día N.º 3 se logró una ganancia de resistencia constante de 14,6 MPa para la mezcla Guápiles-AMCO y de

11,5 MPa para la de Barranca-Garita. Al día N.º 7 se obtuvo una ganancia de resistencia constante de 7,9 MPa para la mezcla Guápiles-AMCO y 6,6 para la de Barranca-Garita. Finalmente, al día N.º 28 se consiguió una ganancia de resistencia constante de 2,5 MPa para Guápiles-AMCO y 2,1 MPa para Barranca-Garita.

Se puede apreciar como en los primeros días, las mezclas adquieren más resistencia, esto se da debido a la implementación de un cemento de tipo industrial y un aditivo tipo F (Plastol 5000) reductor de agua de alto rango, debido a que tanto el cemento como el aditivo presentan la característica de proveer altas resistencias iniciales a la mezcla de concreto. Como conclusión, los agregados provenientes del Atlántico poseen mejores propiedades mecánicas y físicas que los provenientes del Pacífico, porque adquieren valores de resistencia constante mayores en las tres distintas edades de falla.

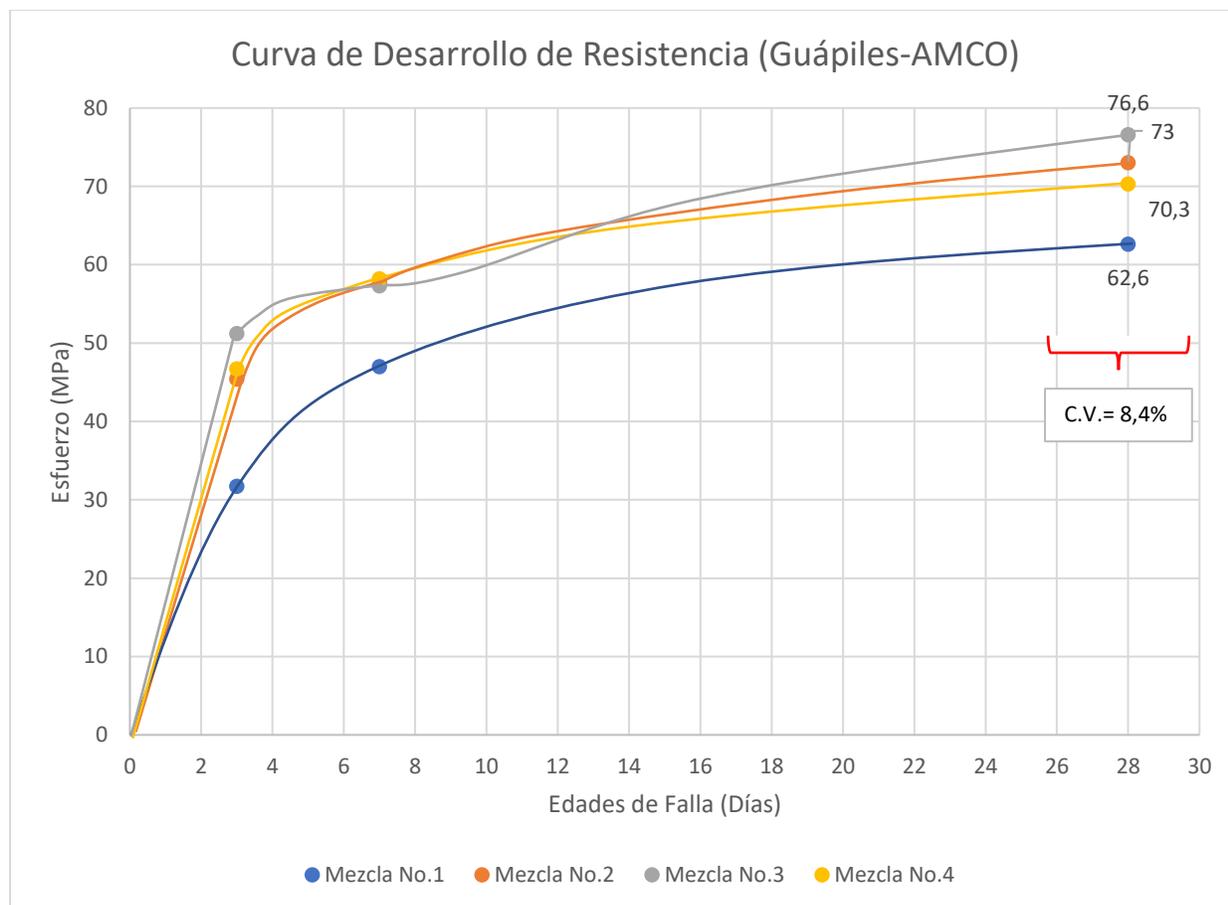
Gráfico N.º 11. Curva de Desarrollo de Resistencia (Barranca-Garita)



Fuente: elaboración propia (2023).

En este gráfico se determinó el coeficiente de variación entre las cuatro mezclas realizadas con los agregados Barranca-Garita. En el cual, la mezcla N.º1 presenta una resistencia máxima a los 28 días de falla de 57,8 MPa; la N.º 2, de 59,2 MPa; la N.º 3 de 59,3 MPa y la N.º 4, de 60 MPa. Se calculó el coeficiente de variación, el cual dio un valor de 1,6%. Según el ACI 214R-02 establece en la tabla 3.3 -Standards of concrete control – Within-Test variation – para $f'c > 34,5$ MPa, establece que un valor de C.V.= 1.6 % para ensayos de laboratorio es considerado como “Excelente” para criterios de aceptación.

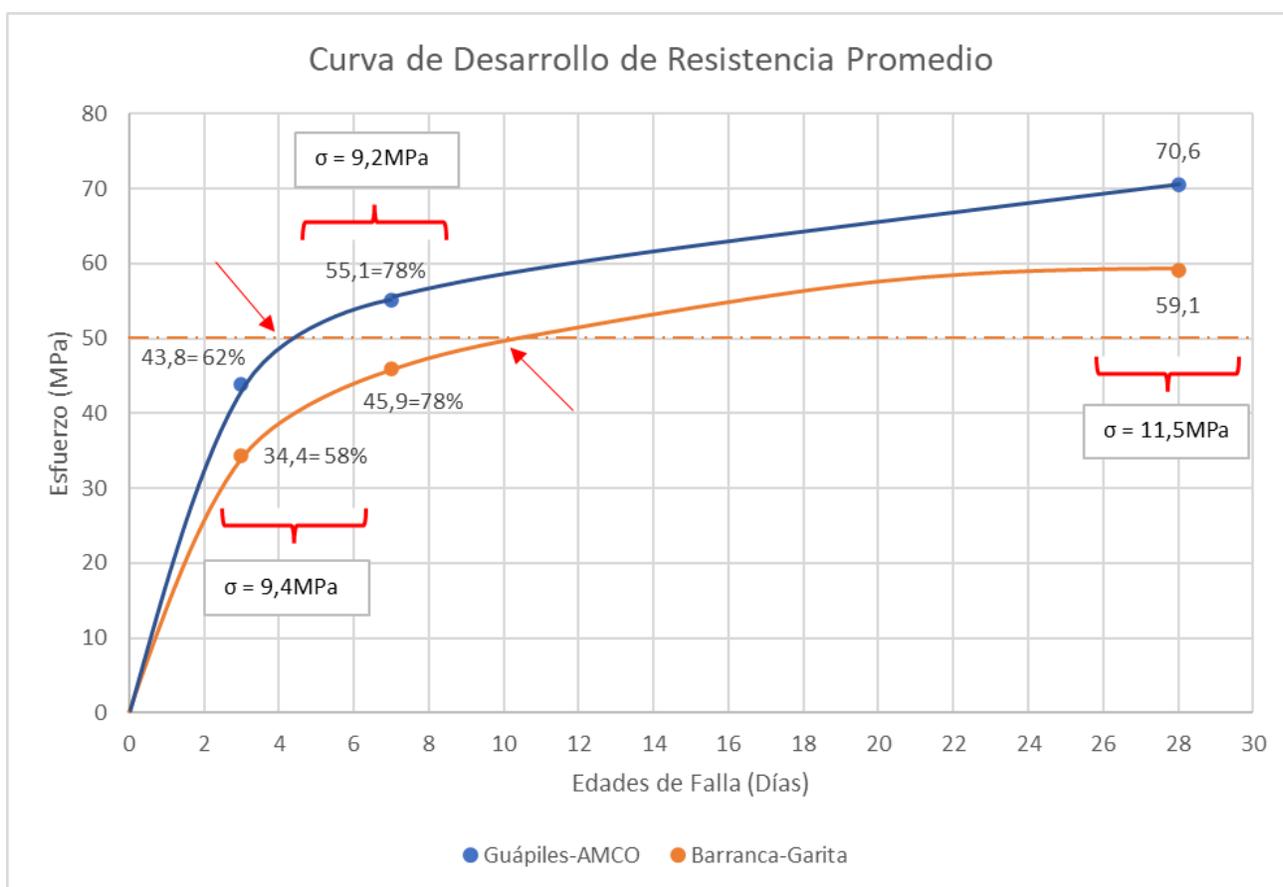
Gráfico N.º 12. Curva de Desarrollo de Resistencia (Guápiles-AMCO)



Fuente: elaboración propia (2023).

Al igual que el gráfico anterior, se determinó el coeficiente de variación para las cuatro mezclas realizadas con los agregados provenientes del Atlántico. Teniendo resultados finales de resistencia a 28 días de falla de 62,6 MPa (Mezcla N.º 1), 73,0 MPa (Mezcla N.º 2), 76,6 MPa (Mezcla N.º 3) y 70,3 MPa (Mezcla N.º 4). Se obtuvo con los valores anteriores un coeficiente de variación de 8,4%. Según el ACI 214R-02 establece en la tabla 3.3 -Standards of concrete control – Within-Test variation – para $f'c > 34,5$ MPa, establece que un valor de C.V.= 8,4 % para ensayos de laboratorio es considerado como “Pobre” para criterios de aceptación.

Gráfico N.º 13. Curva de Desarrollo de Resistencia Promedio



Fuente: elaboración propia (2023).

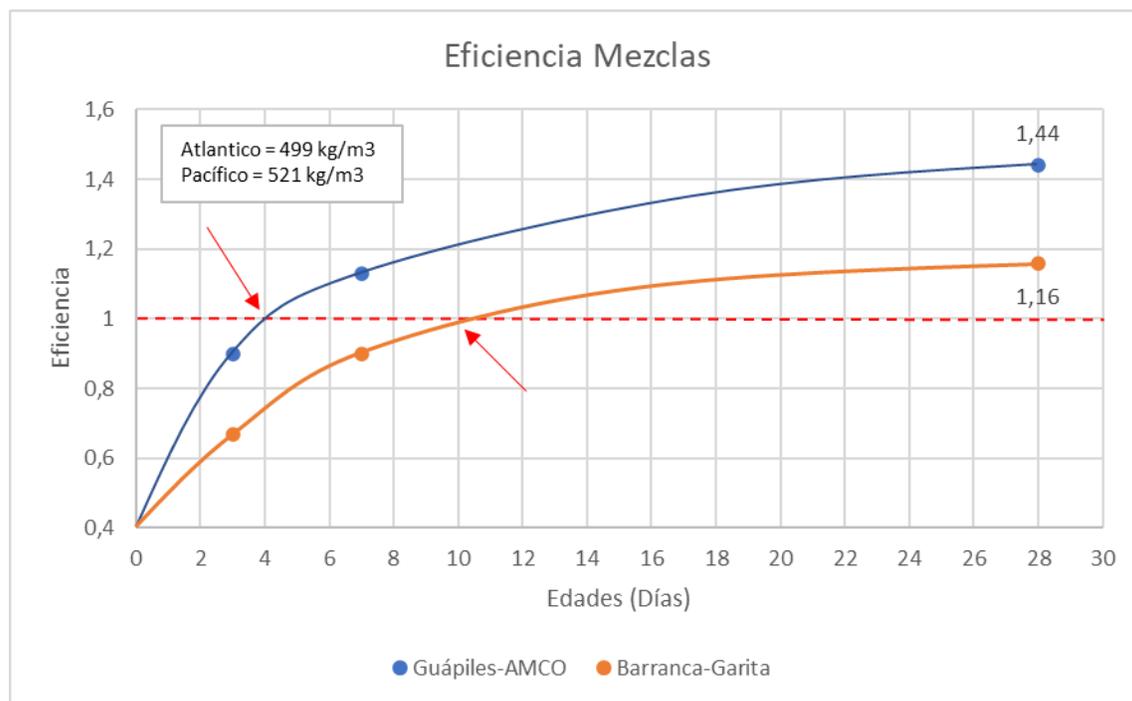
En el gráfico anterior se muestra la resistencia promedio adquirida en las tres edades de falla con su respectivo porcentaje de resistencia. La curva azul representa la mezcla de Guápiles-AMCO y la anaranjada, la mezcla de Barranca-Garita.

En la primera edad de falla (tres días) la mezcla Guápiles-AMCO presenta una resistencia de 43,8 MPa con un porcentaje de resistencia adquirida de 62%; la mezcla Barranca-Garita, un resultado de 34,4 MPa con un porcentaje de resistencia de 58%. En la segunda edad de falla (siete días) se tiene un resultado de 55,1 MPa para la mezcla Guápiles-AMCO y un 45,9 MPa para la de Barranca Garita, a esta edad ambas tienen un porcentaje de resistencia de 78%.

En la última edad de falla (28 días), la mezcla Guápiles-AMCO alcanzó una resistencia máxima de 70,6 MPa y Barranca-Garita de 59,1 MPa. Finalmente, se puede ver que ambas mezclas cumplieron con el f'_c de diseño al sobrepasar los 50MPa.

Además, se puede notar cómo la mezcla Guápiles-AMCO logra llegar al $f'_c = 50$ MPa a los cuatro días aproximadamente, en cambio la mezcla Barranca-Garita lo logra a los diez, aproximadamente. Como conclusión, los agregados provenientes del Atlántico mostraron un mejor desempeño que los provenientes del Pacífico al alcanzar el f'_c de diseño en menos cantidad de días y lograr una resistencia mayor a los 28 días de falla.

Gráfico N.º 14. Eficiencia



Fuente: elaboración propia (2023).

Se calculó en el gráfico anterior, la eficiencia de ambas mezclas a los 28 días de falla. Se dividió el contenido de cemento entre el valor promedio de resistencia a 28 días. Cabe resaltar que para que una mezcla sea considerada “eficiente” debe tener un valor de uno o mayor. La mezcla de Guápiles-AMCO presenta una eficiencia de 1,44 a los 28 días de falla y la mezcla Barranca-Garita muestra una eficiencia de 1,16 en el mismo periodo.

Finalmente, teniendo una diferencia de 0,28 de eficiencia entre ambas mezclas, además, se observa que para la mezcla Guápiles-AMCO llega a ser eficiente alrededor de los cuatro días, en cambio, la mezcla Barranca-Garita llega a ser eficiente alrededor de los diez. Como conclusión, se puede ver cómo los agregados provenientes del Atlántico son más eficientes que los provenientes del Pacífico, dado que la mezcla de Guápiles-AMCO alcanza la eficiencia en menos días y con menos contenido de cemento implementado.

Capítulo VI

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- Se observó cómo las propiedades de los agregados de diferente procedencia influyeron directamente al presentarse una diferencia de contenido de cemento de 22 kg/m^3 , una diferencia de 0.12 en la relación A/C y una diferencia de resistencia a la compresión de 11,5 MPa a los 28 días de falla entre ambas mezclas.
- Se determinó la dosificación por procedencia, utilizando el mismo porcentaje de participación de 29% de piedra, 19 mm; 21% de piedra, 12,5 mm; 31% de arena de río y 19% de arena industrial, para garantizar que la curva granulométrica cumpliera los parámetros establecidos.
- Se caracterizaron las mezclas de concreto en estado fresco en el cual, la mezcla de Barranca-Garita presenta una mayor estabilidad en asentamiento 80-100 mm que la mezcla Guápiles-AMCO (ASTM C143); la mezcla de Guápiles-AMCO, un mayor peso unitario promedio que Barranca-Garita de 30 kg/m^3 (ASTM C138) y, finalmente, ambas mezclas tuvieron temperaturas entre 24,5 y 29,5 °C (ASTM C1064).
- Al obtener los resultados a compresión de ambas mezclas de concreto de alta resistencia, la mezcla Guápiles-AMCO presentó un mejor desempeño debido a que obtuvo resistencia mayor de 10,5 MPa que la mezcla de Barranca-Garita a los 28 días de falla y, también, una eficiencia mayor de 0,28 en comparación con la mezcla Barranca-Garita.

Recomendaciones

- Mantener un adecuado almacenamiento para los materiales implementados cuando se va a realizar la parte experimental tanto para agregados como para cemento hidráulico, especialmente, para evitar cambios de humedad, porque como se puede apreciar en los resultados, un ligero cambio de humedad puede afectar significativamente la resistencia, debido a la relación agua/cemento tan baja que se utilizó para la producción de alta resistencia.
- Continuar esta investigación, implementando los ensayos de “*Método de Ensayo para la determinación del contenido de aire en el concreto fresco por el método de presión*” (INTE C42) y “*Resistencia a la tracción*” para obtención de más resultados y con ello, nuevas relaciones para analizar.
- Optimizar el diseño de mezcla para reducir costos, dado que como se puede observar ambas mezclas sobrepasaron el $f'c = 50$ MPa estipulado para esta investigación.
- Realizar ensayos a edades menores de tres días, esto para tener un panorama más claro sobre qué tan rápido es la ganancia de resistencia.
- Realizar ensayos a edades mayores de 28 días, tal como 56 días para observar cuánta más resistencia va a llegar a adquirir el concreto a estos días.

Referencias Bibliográficas

- American Concrete Institute (2002). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*. (ACI 211.1-91). Michigan. Estados Unidos.
- American Concrete Institute (2002). *Evaluation of Strength Test Results of Concrete* (ACI 214R-02). Michigan. Estados Unidos.
- American Concrete Institute (2007). *Specification for Hot Weather Concreting* (ACI 305.1-06). Michigan. Estados Unidos.
- American Concrete Institute (2008). *Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete Using Portland Cement and Other Cementitious Materials* (ACI 211.4R-08). Michigan. Estados Unidos.
- American Society for Testing and Materials (2018). *Standard Specification for Concrete Aggregates*. (ASTM C33). Pensilvania. Estados Unidos.
- Arias, A. (2019). *Determinación de la resistencia a la compresión y módulo de ruptura de concretos elaborados con dos tipos de cemento de uso comercial en Costa Rica bajo distintas condiciones de curado*. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (2014). *Código Sísmico de Costa Rica*. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica
- Kosmatka, S. Kerkhoff, B., Panarase, W. y Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Portland Cement Association. Illinois, Estados Unidos.

Shetty, M. S. y Jain, A. K. (2019). *Concrete Technology (Theory and Practice)*. S. Chand & Company LTD. Kumaon, India.

Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. (2017). *INTE C41: Método de ensayo para el asentamiento en el concreto del cemento hidráulico*. Cuarta Edición. San José. Costa Rica.

Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. (2017). *INTE C43: Medición de temperatura del concreto recién mezclado con cemento hidráulico*. Primera Edición. San José. Costa Rica.

Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. (2017). *INTE C72: Método para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire del concreto por el método gravimétrico*. Tercera Edición. San José. Costa Rica.

Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. (2018). *INTE C147: Cemento Hidráulico. Requisitos*. Segunda Edición. San José. Costa Rica.

Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. (2018). *INTE C17: Muestreo de concreto recién mezclado*. Cuarta Edición. San José. Costa Rica.

Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. (2020). *INTE C39: Resistencia a la compresión uniaxial de especímenes cilíndricos concreto. Método de ensayo*. Sexta Edición. San José. Costa Rica.

Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. (2022). *INTE C18: Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayo de laboratorio*. Quinta Edición. San José. Costa Rica.

Meseguer, L. (1987). *Producción de Concretos de Mediana Resistencia en Costa Rica*. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

Solís, B. (2021). *Evaluación de las propiedades de concretos de mediana resistencia producidos con insumo disponibles en Costa Rica*. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

Anexos

Anexo N.º 1. Fotos de las fichas técnicas de los agregados utilizados.

Imagen N.º 21. Ficha Técnica, Piedra 19 mm, Agregados Guápiles



INFORME DE ENSAYO

INF. 6574-2018

29 de Noviembre de 2018



IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	
Empresa:	Agregados Guápiles
Dirigido a:	Ing. Andrés Haug
Dirección:	Guápiles, Limón
Proyecto:	Calidad de Agregados

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA Y DATOS DE CONTROL	
Fecha de Recolección de muestra:	01 de Noviembre de 2018
Contenido:	Caracterización de Agregado Grueso
Método de Muestreo Utilizado:	Muestreo de agregados, PT-LAB-07 (AASHTO T 2, ASTM D 75)*
Descripción de la Muestra:	Piedra 19 mm
Procedencia de la Muestra:	Proyecto
Lugar de realización de los ensayos:	Laboratorio Central
Fecha Recepción de la Muestra:	01 de Noviembre de 2018
Fecha de Realización del Ensayo:	Noviembre 2018

Aclaración: Los resultados que se presentan a continuación se refieren solo a las muestras ensayadas y/o pruebas de campo realizadas y al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. No se permite la reproducción parcial del Informe de Ensayo sin previa autorización escrita de CACISA. Este Informe de Ensayo no es válido sin la firma de aprobación respectiva.



CACISA cuenta con Ensayos acreditados por el Ente Costarricense de Acreditación (ECA), según los requerimientos de la Norma INTE-ISO/IEC 17025:2005. Los ensayos acreditados cuentan con su respectivo cálculo de incertidumbre. En caso de requerirlo, favor solicitarlo. También se tiene Actividades de Inspección acreditadas por el ECA según los requerimientos de la Norma INTE-ISO/IEC 17020:2012.

Cualquier comentario acerca de nuestros servicios, favor enviarlo a info@cacisa.cr

RESULTADOS
CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL

Piedra 19 mm
Procedencia de la muestra: Proyecto

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO, AASHTO T-27/11 (ASTM 117/136)*	
Tamices	% Pasando
Tamiz 25 mm (1")	100
Tamiz 19 mm (3/4")	99
Tamiz 12.5 mm (1/2")	37
Tamiz 9.5 mm (3/8")	2
Tamiz No. 4	1
Tamiz No. 8	0
Tamiz No. 16	0
Tamiz No. 30	0
Tamiz No. 50	0
Tamiz No. 100	0
Tamiz No. 200	0,2

PÉRDIDA POR ABRASIÓN (AASHTO T 96)*- TIPO B		
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL (mm)	19	---
% PERDIDA	21	---

PESOS UNITARIOS, AASHTO T 19 (ASTM C29)*		
PESO UNITARIO SECO ENVARILLADO (kg/m ³)	1546	---
PESO UNITARIO SECO SIN ENVARILLAR (kg/m ³)	1471	---

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO, AASHTO T-85*		
GRAVEDAD ESPECÍFICA BRUTA	2,648	---
GRAVEDAD DE SUPERFICIE SATURADA SECA	2,710	---
ABSORCIÓN (%)	2,4	---

PARTÍCULAS FRIABLES AASHTO T 112 (ASTM C 142)*		
PARTICULAS FRIABLES (%):	0	---

ÍNDICE DE DURABILIDAD DE GRUESOS (AASHTO T-210)*		
DURABILIDAD	90	---

Nota: En la realización del ensayo de durabilidad se utiliza agua destilada

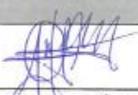
PÉRDIDA POR SANIDAD CON SULFATO DE SODIO (AASHTO T 104)*		
TIPO DE SOLUCIÓN	Nueva	---
PERDIDA GRUESOS (%)	1	Máximo 12

DETERMINACIÓN % DE CARAS FRACTURADAS, (ASTM D 5821)* - Porcentaje de partículas fracturadas determinado por masa de la muestra.		
MASA TOTAL DE LA MUESTRA (g):	3000	----
1 CARA FRACTURADA (%)	100	Mínimo 50 %
2 Ó MÁS CARAS FRACTURADAS (%)	100	----
CARAS REDONDEADAS (%)	0	----

* ENSAYO ACREDITADO, Ver alcance en www.eca.or.cr

** ENSAYO NO ACREDITADO

APROBACIÓN DE INFORME DE ENSAYO



Ing. Carlos Solís Molina
Gerente Técnico de Laboratorio

cc: Archivo, RCN

Nulo sin sello blanco

Imagen N.º 22. Ficha Técnica, Piedra 12,5 mm, Agregados AMCO

FICHA TÉCNICA

PIEDRA QUINTILLA

12.5 mm



DESCRIPCIÓN

La piedra de 12,5 mm se obtiene del quebrado de piedra de río por medio de primario y cono y se le da forma con un impactor de eje vertical.

APLICACIONES

- Material ideal para la producción de concreto premezclado.
- Sello para adoquín permeable.
- Concretos lanzados y finos.

ESPECIFICACIONES

Tabla 11. Granulometría de la piedra quintilla.

Malla	Especificación ASTM E11 (mm)	Retenido Acumulado (%)	Pasando (%)	Especificación ASTM C33	
				Mínimo	Máximo
3/4"	19	0	100	100	100
5/8"	16	0	100	100	100
1/2"	12,5	3	97	90	100
3/8"	9,5	31	69	40	70
No.4	4,75	93	7	0	15
No.8	2,36	98	2	0	5
No.200	0,075	99	1	-	-
Charola	-	100	0	-	-

Tabla 12. Resultados de ensayos de densidad de la piedra quintilla según ASTM C128.

Densidad bruta (G _b)	2,61
Densidad Superficie Saturada Seca (G ₂₀₀)	2,67
Densidad aparente (G _a)	2,77
Absorción	2,19 %

Tabla 13. Resultados de ensayos de peso volumétrico de la piedra quintilla según ASTM C29.

Peso Volumétrico Suelto	1450 kg/m ³
Peso Volumétrico Envarillado	1530 kg/m ³

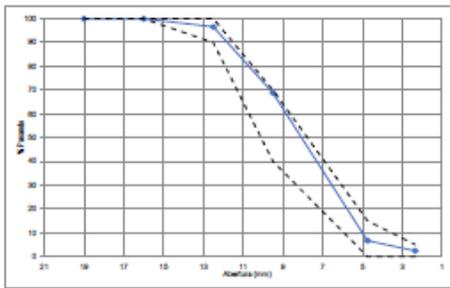
Tabla 14. Resultados de ensayos de sanidad de agregados con sulfato de sodio o sulfato de magnesio de la piedra quintilla según ASTM C88.

Porcentaje de pérdida total	0 %
-----------------------------	-----

Tabla 15. Resultados de ensayo de desgaste por abrasión de Los Ángeles de la piedra quintilla según ASTM C131.

Porcentaje de pérdida (Graduación C)	21 %
--------------------------------------	------

Gráfico 3. Curva granulométrica de la piedra quintilla.



 **2509-9800**
 Email: ventas@amco.co.cr / www.amcoor.com

Fuente: empresa AMCO. (2023).

Imagen N.º 23. Ficha Técnica, Arena de río, Agregados AMCO

FICHA TÉCNICA

ARENA LAVADA

6.25 mm



DESCRIPCIÓN

Arena de Río lavada por un sistema hidrociclónico que nos asegura la eliminación de impurezas y lodos.

APLICACIONES

- Material ideal para la producción de concreto premezclado
- Construcción en general

ESPECIFICACIONES

Tabla 1. Granulometría de la arena lavada de río.

Malla	Especificación ASTM E11 (mm)	Retenido Acumulado (%)	Pasando (%)	Especificación ASTM C33	
				Mínimo	Máximo
3/8"	9.5	0.0	100	100	100
No.4	4.75	0.3	100	95	100
No.8	2.36	15.2	85	80	100
No.16	1.18	39.7	60	50	85
No.30	0.6	63.5	36	25	60
No.50	0.3	83.1	17	5	30
No.100	0.15	93.7	6	0	10
No.200	0.075	97.3	3	0	5
Charola	-	100.0	0	-	-

Gráfico 1. Curva granulométrica de la arena de río.

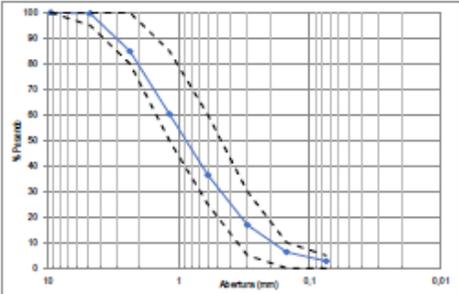


Tabla 2. Resultados de ensayos de densidad de la arena de río según ASTM C128.

Densidad bruta (G_b)	2,45
Densidad Superficie Saturada Seca (G_{bs})	2,55
Densidad aparente (G_a)	2,71
Absorción	3,91 %

Tabla 3. Resultados de ensayos de peso volumétrico de la arena de río según ASTM C29.

Peso Volumétrico Suelto	1470 kg/m ³
Peso Volumétrico Envarillado	1551 kg/m ³

Tabla 4. Resultados de ensayos de sanidad de agregados con sulfato de sodio de la arena de río según ASTM C88.

Porcentaje de pérdida total	0 %
-----------------------------	-----

Tabla 5. Resultados de ensayos de partículas friables y arcillosas de la arena de río según ASTM C142.

Porcentaje de pérdida	0,35 %
-----------------------	--------

CONTROL DE CALIDAD

- Muestras diarios y ensayos en el laboratorio de control de calidad para verificar cumplimientos.
- Los módulos de finura para la arena lavada de río son de $3,0 \pm 0,2$.
- Muestras y ensayos por parte de laboratorios externos de forma trimestral para validación.

☎ 2509-9800

Email: ventas@amco.co.cr / www.amco.cr

Fuente: empresa AMCO. (2023).

Imagen N.º 24. Ficha Técnica, Arena industrial, Agregados AMCO

FICHA TÉCNICA



ARENA INDUSTRIAL

6.25 mm

DESCRIPCIÓN

La arena industrial se obtiene del quebrado de piedra de río por medio de primario y cono y se le da forma con un impactor de eje vertical.

APLICACIONES

- Material ideal para la producción de concreto premezclado y mezcla asfáltica.
- Elaboración de prefabricados.
- Concretos lanzados

ESPECIFICACIONES

Tabla 6. Granulometría de la arena industrial.

Malla	Especificación ASTM E11 (mm)	Retenido Acumulado (%)	Pasando (%)	Especificación INTE C15	
				Mínimo	Máximo
3/8"	9,5	0,0	100	100	100
No.4	4,75	4,9	95	80	100
No.8	2,36	30,4	70	60	100
No.16	1,18	52,6	47	40	85
No.30	0,6	72,3	28	20	60
No.50	0,3	80,6	19	10	45
No.100	0,15	87,2	13	0	30
No.200	0,075	90,2	10	0	18
Charola	-	100,0	0	-	-

Gráfico 2. Curva granulométrica de la arena industrial.

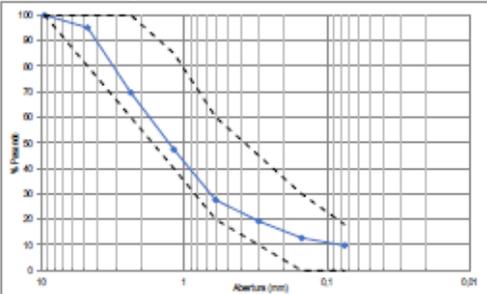


Tabla 7. Resultados de ensayos de densidad de la arena industrial según ASTM C128.

Densidad bruta (G_b)	2,55
Densidad Superficie Saturada Seca (G_{bs})	2,64
Densidad aparente (G_a)	2,79
Absorción	3,31 %

Tabla 8. Resultados de ensayos de peso volumétrico de la arena industrial según ASTM C29.

Peso Volumétrico Suelto	1590 kg/m^3
Peso Volumétrico Envarillado	1770 kg/m^3

Tabla 9. Resultados de ensayos de sanidad de agregados con sulfato de sodio de la arena industrial según ASTM C88.

Porcentaje de pérdida total	0 %
-----------------------------	-----

Tabla 10. Resultados de ensayos de partículas friables y arcillosas de la arena industrial según ASTM C142.

Porcentaje de pérdida	0,51 %
-----------------------	--------

CONTROL DE CALIDAD

- Muestras diarios y ensayos en el laboratorio de control de calidad para verificar cumplimientos.
- Los módulos de finura para la arena lavada de río son de $3,3 \pm 0,2$.
- Muestras y ensayos por parte de laboratorios externos de forma trimestral para validación.

 **2509-9800**

Email: ventas@amco.co.cr / www.amco.cr

Fuente: empresa AMCO. (2023).

Imagen N.º 25. Ficha Técnica, Piedra 19 mm, Agregados Barranca

	ICOMA INFORME DE ENSAYO	Página: 4 de 6
		Nº Informe 01-0055-2021

Anexo No. 1
 Calidad de piedra cuarta
 Fuente: Quebrador Barranca
 Material: Piedra cuarta

Tabla 1
 Método utilizado: AASHTO T-11, AASHTO T-27
 Método de ensayo para el Análisis granulométricos de agregados
 (*) "Ensayo acreditado"

Fecha de Ejecución	14-01-2021
Muestra	01-0103-2021
Estación	Apilamiento
Tamiz	Pasando (%)
38,1mm	100
25,4 mm	100
19,0 mm (3/4")	94
12,5 mm (1/2")	19
9,5 mm (3/8")	2
4,75 mm (Nº4)	1
2,36 mm (Nº8)	1
2,00 mm (Nº10)	1
1,180 mm (Nº16)	1
0,600 mm (Nº30)	1
0,425 mm (Nº40)	1
0,300 mm (Nº50)	1
0,200 mm (Nº80)	1
0,150 mm (Nº100)	1
0,075 mm (Nº 200)	0,7

Tabla 2
 Método utilizado: AASHTO T-19
 Método de ensayo para los Pesos unitarios en agregados
 (*) "Ensayo acreditado"

Muestra	01-0103-2021	
Fecha de Ejecución	Pesos Unitarios de los agregados	
14-01-2021	Peso unitario suelto (kg/m ³)	1350
14-01-2021	Peso unitario envarillado (kg/m ³)	1480

	ICOMA INFORME DE ENSAYO	Página: 5 de 6
		N° Informe 01-0055-2021

Tabla 3
 Método utilizado: AASHTO T-85
 Método de ensayo para la gravedad específica y absorción en agregado grueso
 (*) "Ensayo acreditado"

Fecha de Ejecución	14-01-2021
Muestra	01-0103-2021
Parámetro	Resultado
Gravedad Específica Bruta	2,626
Gravedad Específica S.S.S	2,680
Gravedad Específica Aparente	2,777
Absorción %	2,08

Tabla 4
 Método utilizado: AASHTO T-96, ASTM C-131
 Método de ensayo para la Resistencia a la degradación de agregado grueso menor a 37,5 mm por
 abrasión e impacto en la máquina Los Ángeles
 (*) "Ensayo acreditado"

Muestra		01-0103-2021
Fecha de Ejecución	Resultado Promedio	Tipo de abrasión
16-01-2021	15,5	A

Tabla 5
 Método utilizado: INTE C-65, AASHTO T-112
 Método de ensayo para el porcentaje de partículas friables y arcillosas en agregados gruesos
 (**) "Ensayo no acreditado"

Muestra	01-0103-2021
Fecha de Ejecución	14-01-2021
Fracción	Resultado %
Grueso	0,68

Imagen N.º 26. Ficha Técnica, Piedra 12,5 mm, Agregados Barranca

	ICOMA INFORME DE ENSAYO	Página: 4 de 5
		Nº Informe 01-0980-2021

Anexo No. 1

Material Polvo Piedra ½"

Material: río, triturado, gris

Tabla 1

Método utilizado: AASHTO T-11, AASHTO T-27

Método de ensayo para el Análisis granulométricos de agregados

(*) "Ensayo acreditado"

Fecha de Ejecución	04-09-2021
Muestra	01-5891-2021
Tamiz	Pasando (%)
25,4 mm	100
19,0 mm	100
12,7 mm	97
9,5 mm	54
4,75 mm (Nº4)	1
2,36 mm (Nº8)	1
0,075 mm (Nº200)	0,5

Tabla 2

Método utilizado: AASHTO T-85

Método de ensayo para la gravedad específica y absorción en agregado grueso

(*) "Ensayo acreditado"

Fecha de Ejecución	09-09-2021
Muestra	01-5891-2021
Parámetro	Resultado
Gravedad Específica Bruta	2,653
Gravedad Específica S.S.S	2,710
Gravedad Específica Aparente	2,814
Absorción %	2,15

	ICOMA INFORME DE ENSAYO	Página: 5 de 5
		N° Informe 01-0980-2021

Tabla 3
 Método utilizado: AASHTO T-19
 Método de ensayo para los Pesos unitarios en agregados
 (*) "Ensayo acreditado"

Muestra	01-5891-2021	
Fecha de Ejecución	Pesos Unitarios de los agregados	
17-09-2021	Peso unitario suelto (kg/m ³)	1330
17-09-2021	Peso unitario envarillado (kg/m ³)	1540

-----Última línea-----

Fuente: Tajo Barranca. (2023).

Imagen N.º 27. Ficha Técnica, Arena industrial, Agregados Barranca

	<p style="text-align: center;">ICOMA INFORME DE ENSAYO</p>	Página: 4 de 5
		Nº Informe 01-0941-2021

Anexo No. 1

Material Polvo Piedra Lajilla

Material: río, triturado, gris

Tabla 1

Método utilizado: AASHTO T-11, AASHTO T-27

Método de ensayo para el Análisis granulométricos de agregados

(*) "Ensayo acreditado"

Fecha de Ejecución	04-09-2021
Muestra	01-5889-2021
Tamiz	Pasando (%)
9,5 mm	100
4,75 mm (Nº4)	96
2,36 mm (Nº8)	65
1,18 mm (Nº16)	43
0,600 mm (Nº30)	30
0,300 mm (Nº50)	22
0,150 mm (Nº100)	15
0,075 mm (Nº200)	11,0

Tabla 2

Método utilizado: AASHTO T-19

Método de ensayo para los Pesos unitarios en agregados

(*) "Ensayo acreditado"

Muestra	01-5889-2021	
Fecha de Ejecución	Pesos Unitarios de los agregados	
17-09-2021	Peso unitario suelto (kg/m ³)	1450
17-09-2021	Peso unitario envarillado (kg/m ³)	1630

	ICOMA INFORME DE ENSAYO	Página: 5 de 5
		N° Informe 01-0941-2021

Tabla 3
Método utilizado: AASHTO T-84
Método de ensayo para la gravedad específica y absorción en agregado Finos
(*) "Ensayo acreditado"

Fecha de Ejecución	06-09-2021
Muestra	01-5889-2021
Parámetro	Resultado
Gravedad Específica Bruta	2,621
Gravedad Específica S.S.S	2,668
Gravedad Específica Aparente	2,751
Absorción %	1,81

Tabla 4
Método utilizado: AASHTO T-21
Método de ensayo para el contenido de impureza orgánicas en agregado fino
(**) "Ensayo no acreditado"

Muestra	01-5889-2021
Fecha de Ejecución	07-09-2021
Material	Resultado
Agregado fino	1 más claro que el color patrón

-----Última línea-----

Imagen N.º 28. Ficha Técnica, Arena de río, Agregados Tajo La Garita

	ICOMA INFORME DE ENSAYO	Página: 4 de 6
		Nº Informe 01-0389-2020

Anexo No. 1
Aceptación del material de Arena
Fuente: Tajo La Garita
Material: Arena, río, café

Tabla 1
Método utilizado: AASHTO T-11, AASHTO T-27
Método de ensayo para el Análisis granulométricos de agregados
() "Ensayo no acreditado"**

Fecha de Ejecución	23-07-2020
Muestra	01-3031-2020
Estación	Apilamiento
Tamiz	Pasando (%)
25,4 mm	100
19,0 mm	100
12,7 mm	100
9,5 mm	100
4,75 mm (Nº 4)	100
2,36 mm (Nº 8)	91
1,18 mm (Nº 16)	72
0,60 mm (Nº 30)	43
0,200 mm (Nº 80)	17
0,150 mm (Nº 100)	4
0,075 mm (Nº 200)	1,6

Tabla 2
Método utilizado: AASHTO T-19
Método de ensayo para los Pesos unitarios en agregados
(*) "Ensayo acreditado"

Muestra	01-3031-2020	
Fecha de Ejecución	Pesos Unitarios de los agregados	
23-07-2020	Peso unitario suelto (kg/m ³)	1430
23-07-2020	Peso unitario envarillado (kg/m ³)	1560

	ICOMA INFORME DE ENSAYO	Página: 5 de 6
		Nº Informe 01-0389-2020

Tabla 3
Método utilizado: AASHTO T-84
Método de ensayo para la Gravedad específica y absorción en agregado fino
(**) "Ensayo no acreditado"

Muestra	01-3031-2020	
Fecha de Ejecución	Parámetro	Resultado
23-07-2020	Gravedad Específica Bruta	2,388
23-07-2020	Gravedad Específica S.S.S	2,515
23-07-2020	Gravedad Específica Aparente	2,735
23-07-2020	Absorción (%)	5,32

Tabla 4
Método utilizado: AASHTO T-21
Método de ensayo para el contenido de impureza orgánicas en agregado fino
(**) "Ensayo no acreditado"

Muestra	01-3031-2020
Fecha de Ejecución	23-07-2020
Material	Resultado %
Agregado fino	2 más claro que el color patrón

Tabla 5
Método utilizado: AASHTO T-176
Método de ensayo para el equivalente de arena
(**) "Ensayo no acreditado"

Muestra	01-3031-2020
Fecha de Ejecución	23-07-2020
Parámetro	Resultado %
Equivalente de Arena	75

Imagen N.º 29. Grading Requirements For Fine Aggregate

or coarse

ivity (see
(see 8.1)
um sulfate

referenced on
rom American
HTO), 444 N.
isportation.org.

CTN 06/SC 01

USO EXCLUSIVO DE ESTE DOCUMENTO A
CTN 06/SC 01
DISTRIBUCIÓN NO AUTORIZADA Y USO WEB

TABLE 1 Grading Requirements for Fine Aggregate

Sieve (Specification E11)	Percent Passing
9.5-mm (3/8-in.)	100
4.75-mm (No. 4)	95 to 100
2.36-mm (No. 8)	80 to 100
1.18-mm (No. 16)	50 to 85
600- μ m (No. 30)	25 to 60
300- μ m (No. 50)	5 to 30
150- μ m (No. 100)	0 to 10
75- μ m (No. 200)	0 to 3.0 ^{A,B}

^A For concrete not subject to abrasion, the limit for material finer than the 75- μ m (No. 200) sieve shall be 5.0 % maximum.

^B For manufactured fine or other recycled aggregate, if the material finer than the 75- μ m (No. 200) sieve consists of the dust of fracture, essentially free of clay or shale, this limit shall be 5.0% for concrete subject to abrasion, and 7% maximum for concrete not subject to abrasion.

Fuente: ASTM C33. (2023).

Anexo N.º 2. Fotos de los ensayos realizados y resultados obtenidos.

Se presentarán a continuación, las fotos de los ensayos realizados y los resultados obtenidos. Cabe recordar que, en esta investigación, su parte experimental se llevó a cabo en la empresa AMCO.

Imagen N.º 30. Asentamiento

Fuente: elaboración propia (2023).

Imagen N.º 31. Recipiente de Peso Unitario

Fuente: elaboración propia (2023).

Imagen N.º 32. Ensayo de Peso Unitario

Fuente: elaboración propia (2023).

Imagen N.º 33. Temperatura

Fuente: elaboración propia (2023).

Imagen N.º 34. Condiciones Ambientales

Fuente: elaboración propia (2023).

Imagen N.º 35. Elaboración de Especímenes

Fuente: elaboración propia (2023).

Imagen N.º 38. Muestreo de Mezcla de Concreto



Fuente: elaboración propia (2023).

Imagen N.º 39. Desmoldeo de Cilindros



Fuente: elaboración propia (2023).

Imagen N.º 40. Máquina De Fallas



Fuente: elaboración propia (2023).

Imagen N.º 41. Porosidad Cilindros



Fuente: elaboración propia (2023).

Imagen N.º 42. Fallas de Cilindros



Fuente: elaboración propia (2023).

Imagen N.º 43. Fallas de Cilindros



Fuente: elaboración propia (2023).

Imagen N.º 44. Fallas de Cilindros



Fuente: elaboración propia (2023).

Imagen N.º 45. Fallas de Cilindros



Fuente: elaboración propia (2023).

Imagen N.º 46. Fallas de Cilindros



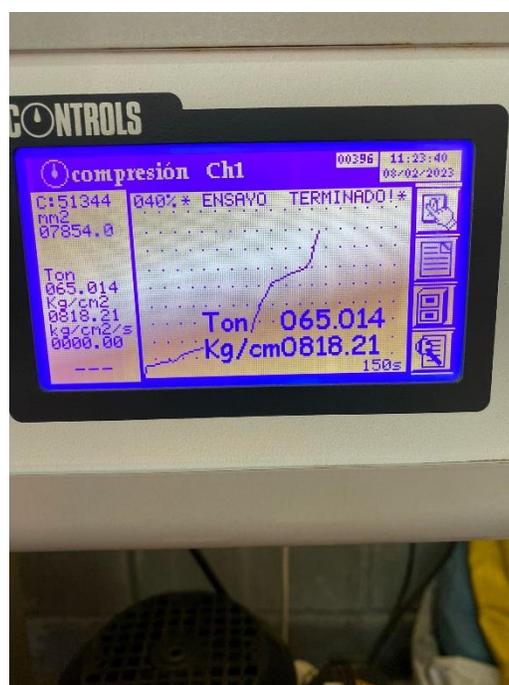
Fuente: elaboración propia (2023).

Imagen N.º 47. Fallas de Cilindros



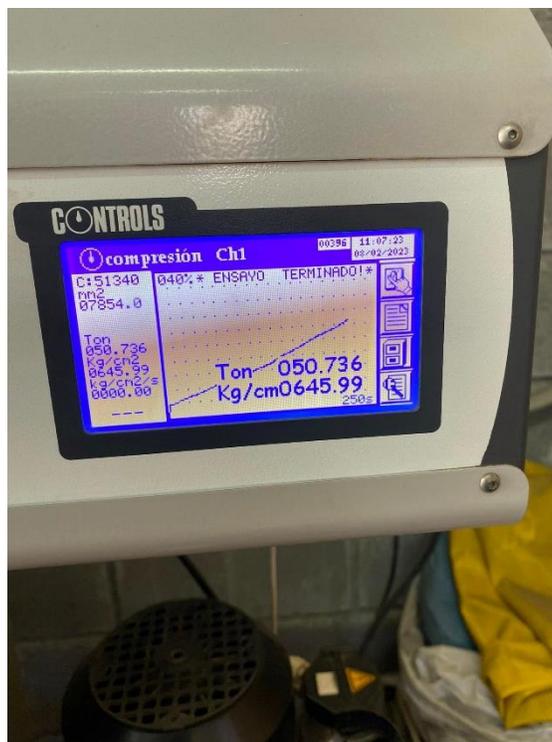
Fuente: elaboración propia (2023).

Imagen N.º 48. Resistencia a la Compresión



Fuente: elaboración propia (2023).

Imagen N.º 49. Resistencia a la Compresión



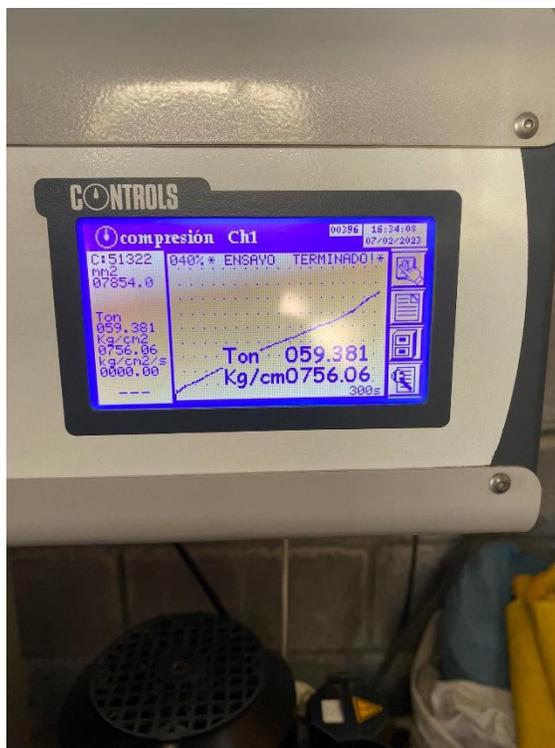
Fuente: elaboración propia (2023).

Imagen N.º 50. Resistencia a la Compresión



Fuente: elaboración propia (2023).

Imagen N.º 51. Resistencia a la Compresión



Fuente: elaboración propia (2023).

Anexo N.º 3. Respuesta a las Entrevistas.

Se mostrarán a continuación, las respuestas de la encuesta realizada a varios ingenieros, los cuales tienen bastante relación con respecto al tema de los concretos de mediana y alta resistencia.

Encuesta Tesis Alta Resistencia – Laureano Sáenz González.

Nombre: Bryan Solís Madrigal

1. ¿Conoce el método ACI 211.4?

R/ Sí.

2. ¿Qué piensa sobre la utilización de concreto de alta resistencia en las obras de hoy?

R/ Son concretos con diversas ventajas tanto de diseño como constructivas, optimizando espacios mediante la reducción de dimensiones de columnas, vigas, muros y losas. Facilitando el rápido avance de las obras, gracias a la alta resistencia inicial de las

estructuras. En Costa Rica su aplicación no es tan amplia en la construcción convencional por las tendencias de diseño; sin embargo, es un área en crecimiento que el mercado ya puede atender en el país gracias a los nuevos desarrollos de tecnología del concreto.

- 3. Si se planea diseñar un concreto con un $f'c = 50\text{MPa}$. ¿Considera indispensable implementar el uso de aditivos? Justifique su respuesta.**

R/ Sí, para alcanzar resistencias altas es necesario que los contenidos de cemento sean altos y la relación A/C baja (bajos contenidos de agua), lo que afecta directamente la trabajabilidad de las mezclas, creando limitaciones importantes en la producción, transporte y colocación. Los aditivos permiten alcanzar la trabajabilidad necesaria y dar el tiempo adecuado a las mezclas para su transporte y colocación, permitiendo también la optimización de costos, bajando los contenidos de cemento.

- 4. Si se planea diseñar un concreto con un $f'c = 50\text{MPa}$. ¿Utilizaría cemento de uso general o cemento de uso industrial? Justifique su respuesta.**

R/ Para producción industrial donde se requieren diversos controles tanto de calidad como de costos, utilizaría cemento de uso industrial con adiciones de puzolanas para un mejor control en las curvas de ganancia de resistencia, altas resistencias iniciales y mayor durabilidad del concreto.

- 5. En esta tesis se va a comparar agregados de procedencia de río del Pacífico (Barranca-Garita) y río del Caribe (AMCO-Guápiles) a alta resistencia para observar cuál tiene mejor desempeño. De acuerdo con su experiencia y conocimiento. ¿Cuál cree usted vaya a ser la mezcla con mejor desempeño? Justifique su respuesta.**

R/ Agregados de río del Caribe, la procedencia petrográfica y las características de dureza y composición de los materiales del Caribe han probado ser mejores para la resistencia del

concreto en condiciones comparativas de producción. Adicionalmente, el quebrado del material permite una mejor forma que aporta también a la trabajabilidad y apariencia de las mezclas.

- 6. ¿Considera usted que, utilizando los agregados anteriormente mencionados, implementando la utilización de un cemento industrial y aditivos, llegará a superar los 50MPa a los 28 días? Justifique su respuesta**

R/ Sí, con una relación agua-cemento adecuada y esta combinación de materiales primas controladas correctamente es posible sin problemas, debido a sus condiciones y funcionamiento.

- 7. ¿Cuál considera usted que deberían ser las edades de falla para las mezclas?**

R/ 3,7 y 28 días.

Nombre: Luis Carlos Meseguer Quesada

- 1. ¿Conoce el método ACI 211?4?**

R/ Sí

- 2. ¿Qué piensa sobre la utilización de concreto de alta resistencia en las obras de hoy?**

R/ Importante. Más sostenible y mejor costo aplicado.

- 3. Si se planea diseñar un concreto con un $f'c = 50\text{MPa}$. ¿Considera indispensable implementar el uso de aditivos? Justifique su respuesta.**

R/ Si. Por las bajar A/C meta.

- 4. Si se planea diseñar un concreto con un $f'c = 50\text{MPa}$. ¿Utilizaría cemento de uso general o cemento de uso industrial? Justifique su respuesta.**

R/ Industrial. Mejor desempeño

5. **En esta tesis se va a comparar agregados de procedencia de río del Pacífico (Barranca-Garita) y río del Caribe (AMCO-Guápiles) a alta resistencia para observar cuál tiene mejor desempeño. De acuerdo con su experiencia y conocimiento. ¿Cuál cree usted vaya a ser la mezcla con mejor desempeño? Justifique su respuesta.**

R/ Río Caribe. Más densos, limpios y mejor Gbs.

6. **¿Considera usted que, utilizando los agregados anteriormente mencionados, implementando la utilización de un cemento industrial y aditivos, llegará a superar los 50MPa a los 28 días? Justifique su respuesta**

R/ Sí. Es un tema de control de calidad y baja A/C.

7. **¿Cuál considera usted deberían ser las edades de falla para las mezclas?**

R/ 18 horas, 7 y 28 días.

Nombre: Minor Murillo Chacón

1. **¿Conoce el método ACI 2114?**

R/ Sí.

2. **¿Qué piensa sobre la utilización de concreto de alta resistencia en las obras de hoy?**

R/ El diseño estructural ha evolucionado en busca de la reducción de costos y optimizar la geometría de los elementos aquí, los CAR tienen un papel muy importante.

3. **Si se planea diseñar un concreto con un $f'c = 50\text{MPa}$. ¿Considera indispensable implementar el uso de aditivos? Justifique su respuesta.**

R/ Son indispensables.

4. **Si se planea diseñar un concreto con un $f'c = 50\text{MPa}$. ¿Utilizaría cemento de uso general o cemento de uso industrial? Justifique su respuesta.**

R/ Uso industrial. Es muy poco probable que se logre esa resistencia sin utilizar altos contenidos de cemento que son perjudiciales por la contracción autógena.

- 5. En esta tesis se va a comparar agregados de procedencia de río del Pacífico (Barranca-Garita) y río del Caribe (AMCO-Guápiles) a alta resistencia para observar cuál tiene mejor desempeño. De acuerdo con su experiencia y conocimiento. ¿Cuál cree usted vaya a ser la mezcla con mejor desempeño? Justifique su respuesta.**

R/ Los de la Zona Atlántica, porque tienen mejores características geológicas.

- 6. ¿Considera usted que, utilizando los agregados anteriormente mencionados, implementando la utilización de un cemento industrial y aditivos llegara a superar los 50MPa a los 28 días? Justifique su respuesta**

R/ Definitivamente.

- 7. ¿Cuál considera usted deberían ser las edades de falla para las mezclas?**

R/ Para este tipo de elementos, se requiere conocer la resistencia a edades tempranas: 3,7 y 28 días.

Anexo N.º 4. Entrevista al Ing. Douglas Sáenz.

Se le realizó la entrevista al Ing. Douglas Sáenz, el cual es un referente en el tema de concretos de alta resistencia. Don Douglas Sáenz es en gerente de la División de Concreto en la Empresa AMCO, que dicha sea de paso, fue donde se llevó a cabo la parte experimental de esta investigación. Además, don Douglas realizó su tesis con el mismo método que esta investigación que es el ACI 211.4 y también se basó en concretos de alta resistencia con la implementación de un aditivo. Don Douglas cuenta con más de 25 años de experiencia en el Área de Concretos de Mediana y Alta Resistencia.

Don Douglas mencionó que cuando se va a realizar un concreto de alta resistencia, se deben tener estos cuatro factores:

- Excelente arena, preferiblemente con baja absorción.
- Buenos agregados gruesos,
- Implementación de aditivos. (Dependiendo la aplicación que se le vaya a dar)
- Cemento extrafino o bien, con puzolanas.

Según el ACI 211.4, se establece que la cantidad de agregado grueso utilizado debe de ser aproximadamente el doble que el agregado fino, don Douglas sugirió que él no estaría de acuerdo con ello, porque esto puede afectar la consistencia de la mezcla y ocasionar una porosidad alta causando hormigueros en el mismo.

Además, mencionó importante utilizar como tamaño máximo nominal, 19 mm, porque agregados con mayor diámetro no benefician la resistencia del concreto. El ingeniero resaltó que es de carácter indispensable el uso de aditivos, sugiere la implementación de dos aditivos y que el tipo de aditivo a implementar va a depender mucho de aplicación que se le vaya a dar al concreto.

Se le consultó al profesional sobre una relación agua-cemento de 0.35, si la veía idónea y contestó que consideraba que es una relación muy baja y aconsejó subirla a 0.40. Consideró correcto utilizar una cantidad cercana a los 500 kg/m^3 para lograr un concreto de alta resistencia.

Don Douglas sugirió para las edades de fallas por ser concreto de “alta resistencia”, fallas a una edad menor de tres días, considerado lo usual para estos concretos. Estableció que, para un concreto normal de alta resistencia con aditivos implementados sería ideal un asentamiento de $160 \pm 20 \text{ mm}$. Con respecto al ensayo de peso unitario, dijo que el rango de $2200\text{-}2400 \text{ kg/cm}^2$ está bien y añadió que los resultados ligeramente por encima de 2400 kg/cm^2 no están malos, siempre y cuando fueran congruentes que su relación agua-cemento y resistencia.

Comentó sobre la implementación de un cemento industrial como algo indispensable, dado que un cemento de uso general que para estos concretos se vuelve costoso y poco manejable. Al curado por inmersión le dio el visto bueno, siempre y cuando, se tenga cuidado con las temperaturas. Respecto al tipo de falla que se debería de presentar, dijo que el piramidal.

Finalmente, se habló de las propiedades de los agregados a utilizar y nos mencionó que los agregados provenientes del Atlántico cuentan con mejores propiedades que los del Pacífico. Mencionó que puede que los agregados del Pacífico tiendan a tener mayor absorción y a las mezclas se les llegue a adicionar más agua. Para terminar, mencionó una vieja frase, la cual dice que siempre se debe tener presente de un ingeniero suizo: *“Dame una buena arena y te doy un buen concreto”*.