



# UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DESEMPEÑO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA PARA  
AMBIENTES MARINOS UTILIZANDO EL MÉTODO DE DISEÑO ACI 211

1

FARGALLO TENEMAZA JOSELYN SCARLETH  
INGENIERA CIVIL

MACHALA  
2023



# UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DESEMPEÑO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA PARA  
AMBIENTES MARINOS UTILIZANDO EL MÉTODO DE DISEÑO  
ACI 211 1

FARGALLO TENEMAZA JOSELYN SCARLETH  
INGENIERA CIVIL

MACHALA  
2023



# UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO TITULACIÓN  
PROPUESTAS TECNOLÓGICAS

DESEMPEÑO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA PARA AMBIENTES  
MARINOS UTILIZANDO EL MÉTODO DE DISEÑO ACI 211 1

FARGALLO TENEMAZA JOSELYN SCARLETH  
INGENIERA CIVIL

ZARATE ENCALADA JOSE MARCELO

MACHALA, 14 DE MARZO DE 2023

MACHALA  
2023

# Entrega3

## INFORME DE ORIGINALIDAD

8%

INDICE DE SIMILITUD

6%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Continental	1%
	Trabajo del estudiante	
2	doaj.org	1%
	Fuente de Internet	
3	Submitted to Universidad de Cádiz	<1%
	Trabajo del estudiante	
4	www.monografias.com	<1%
	Fuente de Internet	
5	www.dspace.uce.edu.ec	<1%
	Fuente de Internet	
6	Submitted to Universidad Técnica de Machala	<1%
	Trabajo del estudiante	
7	repository.ugc.edu.co	<1%
	Fuente de Internet	
8	www.kryton.mx	<1%
	Fuente de Internet	
9	"Proposed Revision of ACI 613-54* Recommended Practice for Selecting	<1%

---

INFORME DE ORIGINALIDAD

---

8%

INDICE DE SIMILITUD

6%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

---

FUENTES PRIMARIAS

---

1

Submitted to Universidad Continental

Trabajo del estudiante

1%

2

doaj.org

Fuente de Internet

1%

3

Submitted to Universidad de Cádiz

Trabajo del estudiante

<1%

4

www.monografias.com

Fuente de Internet

<1%

5

www.dspace.uce.edu.ec

Fuente de Internet

<1%

6

Submitted to Universidad Técnica de Machala

Trabajo del estudiante

<1%

7

repository.ugc.edu.co

Fuente de Internet

<1%

8

www.kryton.mx

Fuente de Internet

<1%

9

"Proposed Revision of ACI 613-54\*  
Recommended Practice for Selecting

<1%

## Proportions for Normal Weight Concrete", ACI Journal Proceedings, 1969

Publicación

---

10	<a href="https://tvd.wiki">tvd.wiki</a> Fuente de Internet	<1 %
11	<a href="http://www.cotecno.cl">www.cotecno.cl</a> Fuente de Internet	<1 %
12	<a href="http://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %
13	<a href="http://civilgeeks.com">civilgeeks.com</a> Fuente de Internet	<1 %
14	<a href="http://repositorio.uam.es">repositorio.uam.es</a> Fuente de Internet	<1 %
15	Marcos Vinicius Martinez Sylvério. "Método de avaliação do risco de lascamento em concreto projetado para revestimento de túneis.", Universidade de Sao Paulo, Agencia USP de Gestao da Informacao Academica (AGUIA), 2022 Publicación	<1 %
16	Submitted to Universidad Autónoma de Nuevo León Trabajo del estudiante	<1 %
17	<a href="http://go.gale.com">go.gale.com</a> Fuente de Internet	<1 %

---

[www.uclm.es](http://www.uclm.es)

18	Fuente de Internet	<1 %
19	patents.google.com Fuente de Internet	<1 %
20	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
21	www.scielo.br Fuente de Internet	<1 %
22	zagan.unizar.es Fuente de Internet	<1 %
23	Submitted to Universidad Militar Nueva Granada Trabajo del estudiante	<1 %
24	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	<1 %
25	O. A. Cabrera, L. P. Traversa, N. F. Ortega. "Estado fresco de morteros y hormigones con arenas de machaqueo", Materiales de Construcción, 2011 Publicación	<1 %
26	derechos.org.ve Fuente de Internet	<1 %
27	repositorio.utmachala.edu.ec Fuente de Internet	<1 %

28	<a href="http://vsip.info">vsip.info</a> Fuente de Internet	<1 %
29	<a href="http://www.ceal.org">www.ceal.org</a> Fuente de Internet	<1 %
30	<a href="http://www.cedex.es">www.cedex.es</a> Fuente de Internet	<1 %
31	<a href="http://www.giardinotours.com">www.giardinotours.com</a> Fuente de Internet	<1 %
32	<a href="http://www.thefind.com">www.thefind.com</a> Fuente de Internet	<1 %
33	<a href="http://www3.satnet.net">www3.satnet.net</a> Fuente de Internet	<1 %
34	Carmen Andrade. "Diseño y evaluación de la vida útil a través de resistividad eléctrica concreta", Revista ALCONPAT, 2018 Publicación	<1 %
35	Y. Hernández, O. Troconis de Rincón, A. Torres, S. Delgado, J. Rodríguez, O. Morón. "Relación entre la velocidad de corrosión de la armadura y el ancho de fisuras en vigas de concreto armado expuestas a ambientes que simulan el medio marino", Revista ALCONPAT, 2016 Publicación	<1 %
36	<a href="http://www.clubensayos.com">www.clubensayos.com</a> Fuente de Internet	<1 %

37

[www.constru-yendo.com](http://www.constru-yendo.com)

Fuente de Internet

<1 %

---

38

[doku.pub](http://doku.pub)

Fuente de Internet

<1 %

---

## CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

La que suscribe, FARGALLO TENEMAZA JOSELYN SCARLETH, en calidad de autora del siguiente trabajo escrito titulado DESEMPEÑO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA PARA AMBIENTES MARINOS UTILIZANDO EL MÉTODO DE DISEÑO ACI 211 1, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

La autora declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

La autora como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 14 de marzo de 2023



FARGALLO TENEMAZA JOSELYN SCARLETH  
0704270297

## ***DEDICATORIA***

El siguiente trabajo de investigación se lo dedico principalmente a Dios y a mis queridos padres, ellos han sabido guiarme e inculcarme valores éticos y morales. Esto me ha permitido poder conseguir todas las metas propuestas, agradezco a mis familiares y amigos que me han aconsejado y apoyado cuando más lo necesite, siempre dándome fuerzas para poder continuar y nunca rendirme hasta alcanzar mi mayor sueño, ser Ing. Civil.

Otra de las personas a quien le dedico mi tesis es a mi querida hermana, ella ha sido uno de los principales motivos para poder superarme y enfrentar cada dificultad, sin el apoyo de estas personas no habría sido posible llegar hasta donde estoy ahora, estaré eternamente agradecido con ellos.

## ***AGRADECIMIENTO***

Los resultados plasmados en este trabajo son una forma de expresar mi gratitud a todas las personas que han estado conmigo en este proceso; a mis padres y hermana por nunca dejarme sola y ser fortaleza, a mis docentes por haber compartido sus conocimientos y experiencias, las cuales serán de gran utilidad al momento de ejercer mi profesión.

Agradezco a mi tutor de tesis por haber creído en mis capacidades, orientarme y resolver cualquier duda presentada en el transcurso del trabajo y a la empresa que me brindo su ayuda proporcionándome las herramientas para poder realizar todas las actividades necesarias para cumplir los objetivos de este proyecto.

## **RESUMEN**

El cemento es un elemento aglutinante que, al combinarse con agua, experimenta un proceso de hidratación que origina una pasta moldeable con propiedades cohesivas de gran calidad. Después de un breve tiempo, el cemento empieza a endurecerse y a adquirir una textura similar a la de la roca, lo que constituye su principal virtud y razón por la que se ha convertido en el elemento aglutinante más comúnmente utilizado en la construcción actual, gracias a su versatilidad y precio económico.

En la actualidad, la producción de cemento Portland tiene lugar a través de la incineración de materiales mezclados artificialmente de calizas y arcillas a una temperatura aproximada de 1.500 grados Celsius. Este proceso da lugar al Clinker, que es posteriormente molido y mezclado con una cantidad apropiada de regulador de fraguado, por lo general piedra de yeso natural. [1]. Los componentes principales son los óxidos de calcio, silicio, aluminio e hierro, que se combinan para formar los silicatos, aluminatos y ferritoaluminatos previamente definidos.

Louis Joseph Vicat, un divulgador y científico francés, es conocido como el fundador del cemento. Durante su estudio sobre el impacto destructivo del agua marina en el mortero y el hormigón, inventó en 1817 el sistema de fabricación de vía húmeda que todavía se utiliza en la actualidad. En 1818 publicó su obra "Recherches expérimentales" y en 1828 "Mortiers et ciments calcaires", estableciendo así los fundamentos para la producción del cemento mediante la combinación adecuada y la molienda conjunta de calizas y arcillas. Vicat ha dejado un legado invaluable para la industria del cemento al desarrollar un material fuerte y duradero que se emplea en las edificaciones en todo el mundo [2].

A lo largo del tiempo se han creado distintos tipos de cemento, tales como el cemento Portland con aditivo estimulantes, los cementos siderúrgicos, los puzolánicos, los aluminosos y los cementos especiales. Estos cementos especiales, que incluyen el de alta resistencia inicial, el resistente a los sulfatos, el de bajo calor de hidratación y el cemento blanco, suelen ser variantes especiales del cemento Portland que restringen o refuerzan alguno de los cuatro componentes fundamentales del clinker.

Este trabajo presenta el desempeño de resistencia a la compresión a lo largo del tiempo de curado para mezclas de concreto elaboradas con dos tipos de cemento distintos: de uso general y de alta resistencia a los sulfatos. Se tomó como referencia un diseño de mezcla establecido en ACI 211-1, caracterizando los materiales según la normativa vigente NET INEN ASTM, empleando agregado nacional proveniente de la mina Sánchez en Santa

Isabel y aditivos Master Glenium 7970, 7935 y MCI2005 , característicos para desarrollar diseños más resistentes en un ambiente con alto porcentaje de sulfatos.

En los hormigones frescos se ensayaron pruebas de asentamiento, mientras que en hormigones endurecidos se ensayaron pruebas de resistencia a la compresión. Para los ensayos de resistencia se usaron 48 especímenes cilíndricos de 100mm x 200mm con edades de falla de 7, 14 y 28 días, además, 12 de estos cilindros fueron sumergidos en agua salada durante 23 días con el fin de determinar cómo se afecta su capacidad de resistencia a la compresión.

Palabras Claves: Hormigones, alta resistencia a la compresión, ambiente marinos, ensayos de hormigones.

## **ABSTRACT**

Cement is a binding element that, when combined with water, undergoes a hydration process that produces a moldable paste with high-quality cohesive properties. After a short time, the cement begins to hold up and acquire a texture similar to that of rock, which is its main virtue and the reason why it has become the most widely used binding element used in today's construction, thanks to its versatility and economic price.

Currently, the production of Portland cement takes place by incineration of artificially mixed materials of limestone and clay at a temperature of approximately 1,500 degrees Celsius. This process gives rise to clinker, which is subsequently ground and mixed with an appropriate amount of setting regulator, usually natural gypsum stone. [1]. The main components are oxides of calcium, silicon, aluminum and iron, which combine to form the previously defined silicates, aluminates and ferritoaluminates.

Louis Joseph Vicat, a French popularizer and scientist, is known as the founder of cement. During his study of the destructive impact of seawater on mortar and concrete, he invented in 1817 the wet process manufacturing system that is still in use today. In 1818 he published his work "Recherches expérimentales" and in 1828 "Mortiers et ciments calcaires", thus providing the foundations for the production of cement through the appropriate combination and joint grinding of limestone and clay. Vicat has left an invaluable legacy for the cement industry by developing a strong and durable material that is used in buildings around the world [2].

Over time, different types of cement have been created, such as Portland cement with stimulating additives, steel cements, pozzolanic, aluminous and special cements. These special cements, which include high initial strength, sulfate resistant, low heat of hydration, and white cement, are usually special variants of Portland cement that restrict or strengthen one of the four fundamental components of clinker.

This work presents the compressive strength performance over the curing time for concrete mixes made with two different types of cement: general purpose and high sulfate resistant. A mix design established in ACI 211-1 was used as a reference, characterizing the materials according to current NET INEN ASTM standards, using national aggregate from the Sanchez mine in Santa Isabel and Master Glenium 7970, 7935 and MCI2005 admixtures, characteristic to develop more resistant designs in an environment with a high percentage of sulfates.

Slump tests were carried out on fresh concrete, while compressive strength tests were carried out on hardened concrete. For the strength tests, 48 cylindrical specimens of 100mm x 200mm with failure ages of 7, 14 and 28 days were used. In addition, 12 of these cylinders were immersed in salt water for 23 days in order to determine how their compressive strength capacity is affected.

Key words: Concrete, high compressive strength, marine environment, concrete tests.

## **ÍNDICE DE CONTENIDO**

DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTO.....	4
RESUMEN .....	5
ABSTRACT .....	7
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	9
ÍNDICE DE TABLAS .....	11
INTRODUCCIÓN .....	12
1. DIAGNÓSTICO DE LAS NECESIDADES Y REQUERIMIENTOS .....	13
1.1    Ámbito de aplicación: descripción del contexto y hechos de interés.....	13
1.2    Establecimiento de requerimiento .....	14
1.3    Justificación de requerimiento a Satisfacer .....	15
1.4    Objetivos del prototipo .....	15
2.1    Definición del prototipo tecnológico.....	16
2.2    Fundamentación teórica del prototipo .....	17
El tamaño máximo nominal del árido.....	17
La absorción .....	17
Seco al horno (SH).....	17
Saturado superficialmente seco (SSS).....	17
La densidad .....	17
Calculo de densidades .....	17
El diseño de mezclas de hormigón.....	19
2.3    Diseño de prototipo.....	21
2.3.1    Caracterización de los materiales.....	21
2.3.1.1    Agregado Grueso.....	21
2.3.1.2    Agregado fino .....	21
2.3.1.3    Agua. ....	21
2.3.1.4    Cemento .....	22
2.3.1.5    Aditivo.....	22

2.4 Ejecución del prototipo.....	22
2.4.1 Procedimiento de diseño de mezcla de hormigón. Método ACI 211-1. ....	22
2.4.1.1 Paso 1. Elección de Asentamiento .....	23
2.4.1.2 Paso 2. Elección del tamaño máximo de agregado .....	23
2.4.1.3 Paso 3. Estimación de la mezcla de agua y aire contenido .....	24
2.4.1.4 Paso 4. Selección de agua-cemento .....	25
2.4.1.6 Paso 6. Estimación del contenido de agregado grueso .....	27
2.4.1.7 Paso 7. Estimación del contenido de agregado fino. ....	27
2.4.1.8 Paso 8. Ajustes por humedad del agregado .....	28
2.4.1.9 Paso 9. Ajustes a la mezcla de prueba.....	29
2.5 RESUMEN DE DISEÑOS DE MEZCLA A UTILIZAR EN LA INVESTIGACIÓN ..	30
3. EVALUACIÓN DEL PROTOTIPO .....	33
3.1 Plan de evaluación.....	33
3.1.1 Ensayos realizados al concreto de alta resistencia.....	35
3.1.1.2 Determinación del asentamiento – NTE INEN 1578 - ASTM C143.....	35
3.2 Evaluación .....	36
3.3 Conclusiones .....	39
3.4 Recomendaciones .....	40
CAPÍTULO IV. BIBLIOGRAFÍA .....	41
REFERENCIAS NORMATIVAS.....	42
CAPÍTULO V. ANEXOS .....	44
5.1. Memoria fotográfica .....	44
5.3. Ficha técnica de la piedra triturada. ....	54
5.4 Ficha técnica de la arena zarandeada .....	56
5.5 Ficha técnica del cemento HE-HS .....	58
5.6 Ficha técnica de los aditivos .....	59
5.8 Dosificación de concreto por saco de cemento y parihuela.....	63

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de las mezclas de hormigón. ....	16
Tabla 2. Tipo de Cemento según la norma NTE INEN 2380. ....	18
Tabla 3. Tipo de aditivos según la norma ASTM 494 C. ....	19
Tabla 4. Características de los agregados usados en la mezcla de hormigón. ....	21
Tabla 5. Asentamiento recomendado para varios tipos de construcción ....	23
Tabla 6. Requerimientos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado. ....	25
Tabla 7. Relación Agua/Cemento (A/C) y la resistencia a la compresión del concreto. ....	26
Tabla 8. Máximas relaciones A/C permisibles para concreto expuesto a condiciones severas. ....	26
Tabla 9. Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto. ....	27
Tabla 10. Primera estimación del peso del concreto fresco. ....	28
Tabla 11. Datos de los ensayos de los materiales para cada mezcla. ....	30
Tabla 12. Ensayo de asentamiento y contenido de aire. ....	30
Tabla 13. Dosificación de concreto por metro cúbico. ....	31
Tabla 14. Dosificación de concreto para 20 litros. ....	32
Tabla 15. Cronograma curado de hormigón en relación a la resistencia obtenida. ....	34
Tabla 16. Cronograma de inmersión de probetas en agua salada en relación a la resistencia obtenida. ....	34
Tabla 17. Resistencia a la compresión a los 7 días. ....	36
Tabla 18. Resistencia a la compresión a los 14 días. ....	36
Tabla 19. Resistencia a la compresión a los 28 días. ....	37
Tabla 20. Resistencia a la compresión a los 23 días de la inmersión en el agua salada. ...	37

## **INTRODUCCIÓN**

El hormigón es el material estructural más utilizado en la construcción de infraestructuras costeras y marinas, como presas, puentes, alcantarillas y acueductos, entre otros. Sin embargo, estas estructuras están constantemente expuestas al agua del mar y a suelos contaminados con cloruros y sulfatos, lo que puede deteriorar el hierro y disminuir el tiempo de servicio del hormigón. La corrosión del refuerzo en el concreto es una preocupación importante en el ambiente costero y marino, y los ingenieros se enfrentan a grandes desafíos en el control y monitoreo de la corrosión [2] [3].

Los investigadores han llevado a cabo numerosos estudios sobre la corrosión y el hormigón de alto rendimiento. Agbede y Obam (2008) estudiaron la resistencia a la compresión de bloques de cemento y arena de ceniza de arroz y encontraron que estos bloques tenían una mayor resistencia a la compresión y durabilidad. Alhassan (2008) investigó el potencial de la ceniza de cáscara de arroz para mejorar la resistencia del suelo y encontró que era efectiva para este propósito. Almenares et al. (2017) estudiaron la calcinación industrial de arcillas caoliníticas para producir puzolanas reactivas, y descubrieron que podrían usarse para mejorar las propiedades mecánicas del concreto. Ambedkar et al. (2017) investigaron la mejora de las propiedades mecánicas y la durabilidad del hormigón de cemento utilizando RHA como sustituto del cemento, y encontraron que esto mejoraba la resistencia y durabilidad del hormigón. La norma ASTM C618 (2015) especifica las cenizas volantes de carbón y la puzolana natural cruda o calcinada para su uso en el concreto y concluyó que estas podían mejorar significativamente el desempeño del concreto [4] [5].

En el presente trabajo los hormigones frescos se ensayaron mediante la prueba de asentamiento, mientras que el hormigón endurecido se sometió a la prueba de resistencia a la compresión. En relación a estos ensayos se observó que, tanto la trabajabilidad como el rendimiento del concreto disminuyeron sin la incorporación de aditivos y dependiendo del tipo del cemento, para que influya en el asentamiento requerido. En cuanto al impacto en periodo tan reducido, se descubrió que el concreto de control expuesto a la solución de cloruro presentó la misma resistencia a la compresión con un grado de deterioro mayor en comparación con el concreto de control expuesto al agua normal [6].

En cuanto a futuras líneas de investigación, se ha identificado el análisis del costo del ciclo de vida como una herramienta importante para la toma de decisiones en el diseño de estructuras costeras duraderas en relación a la protección contra la corrosión.

## **1. DIAGNÓSTICO DE LAS NECESIDADES Y REQUERIMIENTOS**

### *1.1 Ámbito de aplicación: descripción del contexto y hechos de interés*

En ambientes costeros y marinos, la corrosión es un problema importante que afecta la durabilidad de las estructuras de concreto. La pérdida del área de refuerzo y la reducción de la tensión de adherencia son consecuencias comunes de la corrosión en estas estructuras, y la acción del oleaje y las corrientes puede empeorar el problema [7]. Los productos de la corrosión pueden provocar el agrietamiento de la cubierta de hormigón o el descascarillado [2].

Para abordar la necesidad de optimizar la durabilidad de las construcciones en ambientes costeros y marinos, han investigado con el propósito de diseñar elementos de concreto reforzado sostenibles mediante técnicas de optimización. Algunos estudios han utilizado el método de recocido simulado aumentado (SA) en conjunto con el algoritmo genético (GA) para reducir el costo estructural total, como en el diseño de estructuras de concreto reforzado propuesto por Lepš y Šejnoha [8]. Otros estudios, como el de Jayasinghe et al., han investigado cómo minimizar la huella de carbono de las losas planas de concreto reforzado utilizando un algoritmo de diseño paramétrico implementado en MATLAB [9]. Estos enfoques de diseño optimizado pueden contribuir a mejorar la durabilidad de las estructuras y promover la sustentabilidad a largo plazo.

En el estudio de Olawuyi (2016) se examinó el comportamiento mecánico del hormigón de alto rendimiento con polímeros superabsorbentes, encontrando que esta técnica podría mejorar la resistencia y durabilidad del material. Fapohunda et al. (2017) también estudiaron el efecto de materiales alternativos en el hormigón, descubriendo que la ceniza de cascarilla de arroz podría mejorar la resistencia y durabilidad del hormigón. Además, Ganesan et al. (2008) y Gastaldini et al. (2014) investigaron la utilización de cenizas de cáscara de arroz para mejorar la resistencia y rendimiento del hormigón. Por último, Ghafari et al. (2016) estudiaron los efectos de los materiales cementicios suplementarios en el rendimiento del hormigón de ultra alto rendimiento [8] [3].

## *1.2 Establecimiento de requerimiento*

Las estructuras expuestas al agua de mar comúnmente experimentan problemas de durabilidad, siendo la corrosión la causa principal del acortamiento en el servicio de las estructuras de hormigón armado. Esto genera la necesidad de costosos mantenimientos y reparaciones. La carbonatación del hormigón y/o la difusión de cloruros, especialmente en ambientes marinos, son las principales causas de corrosión en estructuras de hormigón armado [10] [11].

Además, los efectos de la corrosión son bien conocidos, como el agrietamiento, el desconchado del recubrimiento de hormigón, la pérdida de adherencia y la disminución de la sección transversal, que pueden llevar a la fragilidad de las estructuras y su eventual rotura. Para extender la durabilidad de las estructuras, se pueden utilizar diversas alternativas, como la protección catódica o el uso de aceros inoxidable [11] [12].

Es importante tener en cuenta que normalmente, los poros de la pasta de cemento están llenos de una solución altamente alcalina, lo que hace que cualquier ambiente con un valor de pH más bajo sea agresivo para la matriz de cemento. Aunque los sulfatos suelen dañar la matriz de pasta de cemento, la gravedad del daño depende de varios factores, incluyendo los tipos de cemento (aglomerante) utilizados, la naturaleza y concentraciones de las soluciones de sulfato, la calidad del concreto y las condiciones ambientales. Normalmente, los poros de la pasta de cemento están llenos de una solución altamente alcalina (por ejemplo,  $\text{pH} > 12,5$ ), lo que hace que cualquier ambiente con un valor de pH más bajo sea agresivo para la matriz de cemento [13]. El hormigón expuesto al ataque de sulfatos sufre de expansión, agrietamiento, pérdida de resistencia y, finalmente, desintegración [14] [15].

Por esta razón, es fundamental implementar medidas preventivas y correctivas adecuadas para minimizar los efectos de la corrosión y el ataque de sulfatos en las estructuras de hormigón armado expuestas al agua de mar, ya que esto puede generar la necesidad de costosos mantenimientos y reparaciones.

### *1.3 Justificación de requerimiento a Satisfacer*

Un gran número de estructuras construidas con hormigón, como presas, puentes, alcantarillas, sifones, reguladores y acueductos, están expuestas constantemente al agua del mar, y en algunos casos, a suelos contaminados con cloruros y sulfatos [16]. Por lo tanto, el concreto se utiliza como material estructural para la construcción de edificios, muelles, puertos, etc., en muchas ubicaciones costeras y marinas. Sin embargo, el refuerzo utilizado en el concreto es susceptible a la corrosión, lo que resulta en la pérdida de área de acero, pérdida de adherencia, expansión del volumen de refuerzo que conduce a la fisuración o descascarillado del concreto [17].

El tipo de suelo que presenta un factor crítico de corrosión afecta a las estructuras de concreto armado. Las características químicas y físicas del suelo, como el tipo y la cantidad de sustancias corrosivas, el pH, la textura, la porosidad y el contenido de agua, pueden influir en la capacidad del suelo para disolver iones de sal corrosiva y, por lo tanto, en la corrosión de las estructuras de hormigón armado [18] [19]. En China, por ejemplo, el suelo salino es común en las zonas costeras y del noroeste, y se puede clasificar en dos tipos, tierra adentro y costero, dependiendo de la ubicación geográfica. El suelo salino cubre una superficie total de aproximadamente el 4,88% del suelo disponible en la nación [20] [21].

Por lo tanto, el análisis del tipo de suelo y su impacto en deterioro de las estructuras de hormigón armado es fundamental en la planificación y diseño de estructuras costeras y marinas duraderas. La investigación ha demostrado que la durabilidad de estas estructuras puede mejorarse mediante la selección adecuada de materiales de construcción, el uso de tecnologías de protección contra la corrosión y el análisis del costo del ciclo de vida para la toma de decisiones de diseño.

### *1.4 Objetivos del prototipo*

Analizar la eficiencia de dos diferentes tipos de cementos Portland, considerando aditivos anticorrosivos en el hormigón, evaluando el desempeño tanto estado fresco como en estado endurecido para ambientes marinos. Este análisis se llevará a cabo utilizando las normas INEN, ASTM y ACI correspondientes a cada uno de los ensayos respectivos.

## 2. DESARROLLO DEL PROTOTIPO

### 2.1 Definición del prototipo tecnológico

En este estudio se elaboró 6 diferentes modelos de mezclas experimentando con 2 tipos de cemento clasificados como GU y HE-HS, como especifica la norma NTE INEN 2380 y modificando las mezclas con aditivos, observando la variación de las características mecánicas que estos nos ofrecen.

La NET INEN 1576 establece que los moldes utilizados para la preparación de los especímenes que serán sometidos a ensayos de resistencia a la compresión o tracción, deben tener forma cilíndrica y cumplir con las dimensiones de 150 mm x 300mm o 100mm x 200mm. En caso de que se utilice un molde con una relación longitud-diámetro diferente, la longitud del molde debe ser el doble del diámetro y el diámetro del cilindro debe ser al menos 3 veces el tamaño nominal del árido grueso utilizado en la mezcla.

Analizando lo anterior se elaboró los especímenes con agregado grueso es de  $\frac{3}{4}$ " equivalente a 19.05 mm, multiplicado 3 veces su tamaño corresponde a 57.15 mm, por ello optamos por las medidas de un diámetro de 100mm y una longitud de 200 mm.

Con cada una de las 6 mezclas se elaboraron 8 cilindros, obteniendo 48 especímenes en total. Cuyas características se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de las mezclas de hormigón.

Características	Código	Nomenclatura
Cemento HS, Piedra Triturada con diámetro nominal $\frac{3}{4}$ ", Arena Zarandeada, Aditivo 7970, 7935 y mci 2005, Agua.	10010	Prototipo HS
Cemento HS, Piedra Triturada con diámetro nominal $\frac{3}{4}$ ", Arena Zarandeada, Aditivo 7970, 7935 y Agua.	10020	Prototipo HS sin MCI
Cemento HS, Piedra Triturada con diámetro nominal $\frac{3}{4}$ ", Arena Zarandeada, Agua.	10030	Prototipo HS sin Aditivos
Cemento GU, Piedra Triturada con diámetro nominal $\frac{3}{4}$ ", Arena Zarandeada, Aditivo 7970, 7935, mci 2005 y Agua.	10040	Prototipo GU
Cemento GU, Piedra Triturada con diámetro nominal $\frac{3}{4}$ ", Arena Zarandeada, Agua	10050	Prototipo GU sin Aditivos
Cemento GU+ % cemento GU, Piedra Triturada con diámetro nominal $\frac{3}{4}$ ", Arena Zarandeada, Aditivo 7970, 7935, mci 2005 y Agua.	10060	Prototipo GU + % GU

## 2.2 Fundamentación teórica del prototipo

La especificación para la obtención de calidad del hormigón se tomó de la norma NTE INEN, y en ciertos casos que no se halló existencia de la misma, se utilizó la norma ASTM, siempre teniendo en cuenta las consideraciones expuestas en la ACI.

Se usa diferentes normativas de NTE INEN que explican de manera precisa cada escenario.

*El tamaño máximo nominal del árido* se refiere a la abertura más pequeña de tamiz que permite el paso total del árido según la norma técnica NTE INEN 695.

*La absorción* es el proceso por el cual un líquido llena los poros permeables de un cuerpo sólido poroso, según la norma técnica NTE INEN 694.

*Seco al horno (SH)*. Es un estado que consiste en secar los áridos empleando un horno a  $110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  por un tiempo considerable. NTE INEN 857

*Saturado superficialmente seco (SSS)*. Es un estado donde los poros del árido se encuentran completamente cargado de agua, pero superficialmente libre de agua, lo expuesto por la norma NTE INEN 857.

*La densidad* se define como la masa por unidad de volumen de un material y se expresa en kilogramos por metro cúbico según la norma NTE INEN 857. Es esencial conocer la densidad y absorción para calcular la dosificación y diseño de hormigones.

Es importante conocer los valores de densidad y absorción con la finalidad de calcular el diseño y dosificación de hormigones. En el ensayo que nos indica la norma NTE INEN 857 es necesario secar la muestra previamente después de sumergirla durante 24 h aproximadamente. Mediante un paño absorbente es secado el material de manera superficial. Posteriormente pesamos la muestra en estado saturado superficialmente seca, así se obtiene la masa en aire. Seguidamente colocamos el árido en un recipiente con agua para conseguir el peso aparente en agua, es decir, es la diferencia entre la masa en aire y la masa en agua.

### *Calculo de densidades*

Con el fin de conocer la densidad es necesario aplicar la ecuación 1.

$$\text{Densidad Relativa} = \frac{A}{(B - C)} \quad (1)$$

### Calculo de absorción

Para la obtención de la absorción se aplica la ecuación 2

$$\text{Absorción \%} = \frac{(B - A)}{A} \times 100\% \quad (2)$$

Donde;

A = masa en aire de la muestra seca al horno, (g)

B = masa en aire de la muestra saturada superficialmente seca, (g)

C = masa aparente en agua de la muestra saturada, (g)

Granulometría de áridos. La norma NTE INEN 696 nos describe que para este un ensayo es necesario que la muestra esta seca y además seleccionar los tamices adecuados, se ordenaran de forma decreciente dependiendo del tamaño de abertura que tenga. Se coloca la muestra y se agita los tamices de manera manual o con algún dispositivo mecánico.

También es importante conocer el cemento hidráulico, que en combinación con el agua se endurece, así como el cemento portland puzolánico, que es una mezcla de cemento portland, cemento portland de escoria de altos hornos y puzolana fina. El endurecimiento prematuro se produce cuando se pierde rápidamente la plasticidad o se desarrolla rápidamente la rigidez en mezclas frescas de pasta, mortero u hormigón de cemento hidráulico, mientras que el falso fraguado es una reacción con poco desarrollo de calor que puede dispersarse con un mezclado posterior sin agregar agua. Por otro lado, el fraguado instantáneo se produce con un desarrollo considerable de calor que no se puede dispersar por mezclado posterior sin agregar agua, lo que expresa la norma NTE INEN 151.

La norma NTE INEN 2380 clasifica los cementos como indica la Tabla 2.

Tabla 2. Tipo de Cemento según la norma NTE INEN 2380.

Tipo	Uso de cemento
GU	Uso general, para todo tipo de construcción.
HE	Alta resistencia inicial
MS	Moderada resistencia a los sulfatos
HS	Alta resistencia a los sulfatos
MH	Moderado calor de Hidratación
LH	Bajo calor de hidratación

Fuente: NTE INEN 2380

Los aditivos son materiales que permiten modificar ciertas características de la mezcla en estado fresco, ya sea fraguado o endurecimiento. El aditivo acelerante acelera el tiempo de fraguado y/o el desarrollo temprano de la resistencia del hormigón, mientras que el aditivo incorporador de aire causa el desarrollo de un sistema de burbujas de aire microscópicas en el hormigón o mortero durante el mezclado. Finalmente, el aditivo reductor de agua permite aumentar el asentamiento en mezclas de mortero u hormigón frescos sin aumentar el contenido de agua o mantener el asentamiento con una menor cantidad de agua debido a diversos factores que no sean el incremento de aire según la norma NTE INEN 694.

La ASTM C494 clasifica los aditivos descritos en la Tabla 3.

*Tabla 3. Tipo de aditivos según la norma ASTM 494 C.*

<b>Tipo</b>	<b>Característica</b>
A	Reductores de agua.
B	Reductor de fraguado.
C	Acelerador de fraguado, además acelera la resistencia edades tempranas.
D	Reductor de agua y Retardador de fraguado.
E	Reductor de agua, acelerador de fraguado y resistencia a edades tempranas.
F	Plastificante. Reductor de agua de alto rango.
G	Reductor de agua de alto rango y retardador.
S	Aditivos con características especiales.

*Fuente: Norma ASTM 494 C.*

*El diseño de mezclas de hormigón* puede definirse como el proceso mediante el cual se escogen cuidadosamente los materiales apropiados y se determinan las proporciones adecuadas para lograr un concreto económico que ofrezca el requerimiento de docilidad, resistencia y durabilidad necesarios. Es decir, se trata de una técnica que busca obtener una combinación óptima de materiales para elaborar un concreto con las propiedades mínimas requeridas, garantizando al mismo tiempo un costo razonable en su producción [22].

El uso de una cantidad moderada de cemento presenta una ventaja técnica al reducir el riesgo de agrietamiento en los hormigones masivos, que requieren un control riguroso de la generación de calor durante la hidratación, así como en los hormigones estructurales que presentan problemas de retracción [23]. Sin embargo, es importante destacar que el volumen de cemento debe ser superior a los valores establecidos en las especificaciones,

ya que esto puede afectar negativamente la durabilidad del material. En resumen, la selección adecuada del contenido de cemento es esencial para garantizar la calidad [24].

Los *elementos prefabricado* se emplean en distintas construcciones, desde edificios residenciales y comerciales hasta puentes, túneles, estadios, muelles, diques, para construcciones en zonas costeras es muy viable ya que implica la fabricación de las partes estructurales fuera del lugar de construcción, para luego ser trasladadas e instaladas en el sitio correspondiente [25]. Este método permite disminuir el tiempo y la cuantía de mano de obra necesarios para la construcción. Además, estos componentes prefabricados pueden ser diseñados para tolerar cargas sísmicas y de viento. Además, los elementos prefabricados son útiles para la construcción de muelles, atracaderos, puertos marítimos y diques [20].

Existen varios sistemas estructurales que utilizan elementos prefabricados de hormigón y el tipo de sistema prefabricado puede variar de un país a otro. Los sistemas estructurales prefabricados básicos se pueden clasificar como: sistemas de grandes paneles, sistemas de pórticos, sistemas de losa-columna con muros y sistemas mixtos [26].

En los sistemas de pórticos, las vigas suelen ser prefabricadas en longitudes específicas para encajar en los espacios libres entre las columnas. Las columnas, por su parte, pueden ser moldeadas in situ o prefabricadas en el lugar. Las conexiones entre los elementos prefabricados pueden diseñarse para ofrecer al pórtico uniones rígidas en caso de someterse a fuerzas sísmicas y cargas vivas. También es posible diseñar la conexión entre las vigas prefabricadas y las columnas para que sea articulada [27] [26].

Los sistemas de losa-columna con muros se caracterizan por su método de construcción, el cual puede llevarse a cabo de dos formas distintas. La primera implica el uso de losas de hormigón armado vertidas in situ y columnas de hormigón armado prefabricadas, mientras que la segunda consiste en el uso de losas y columnas de hormigón armado prefabricadas que se pretensan después de su montaje [27] [26].

## 2.3 Diseño de prototipo

### 2.3.1 Caracterización de los materiales

#### 2.3.1.1 Agregado Grueso

El tipo de agregado grueso que se utilizó es la piedra triturada #67 extraída de la mina Sánchez en Santa Isabel. Pasó por un proceso de ensayos para garantizar su conformidad con los parámetros que exigen la norma NTE INEN 872. Los ensayos que se ejecutaron son la determinación de la densidad, absorción de agua que, y granulometría los cuales se llevaron a cabo de acuerdo a las especificaciones de las normas NET INEN 857 y NET INEN 696.

#### 2.3.1.2 Agregado fino

Se empleó arena de río lavada y zarandeada extraída de la mina Sánchez en Santa Isabel como agregado fino en este proyecto. Los ensayos que se ejecutaron son la determinación de la densidad, absorción de agua para finos donde podemos encontrar en la NTE INEN 856 y granulometría de agregado fino NTE INEN 696. Las características de los áridos fino y grueso utilizadas en este trabajo se encuentran en la Tabla 4.

Tabla 4. Características de los agregados usados en la mezcla de hormigón.

<b>Características de los agregados</b>					
<b>Material</b>	<b>Tamaño máximo.</b>	<b>Peso Volumétrico</b>	<b>Módulo de finura</b>	<b>Absorción (%)</b>	<b>Humedad (%)</b>
Piedra triturada	3/4" (19,05mm)	2460 kg/m <sup>3</sup>	6,45	3,1	3,01
Arena zarandeada	Tamiz.N°8 (2,36mm)	2390 kg/m <sup>3</sup>	2,57	4,2	10,07

#### 2.3.1.3 Agua.

Los requerimientos que debe obedecer el agua para mezcla de hormigones son las normas NTE INEN 2617, donde nos indica que el uso de agua potable es el más recomendado además no es de carácter obligatorio realizar ensayos para este tipo. En cambio, si se utiliza agua combinada o parcialmente potable se llevará a cabo los ensayos para probar que esta agua satisface los parámetros de calidad.

#### 2.3.1.4 Cemento

En esta investigación se usó cementos de tipo general y cementos de alta resistencia a los sulfatos, según la clasificación de la norma NTE INEN 2380 son cementos tipo GU y HS respectivamente. Se puso a prueba la eficiencia de estos materiales conjuntamente con aditivos en ambientes donde se encuentran grandes concentraciones de sulfatos. Los cementos escogidos para este trabajo cumplen con la normativa NTE INEN 490 y NTE INEN 2380.

#### 2.3.1.5 Aditivo

Los aditivos que se implementaron para el diseño de hormigones son la MasterGlenium 7935, MasterGlenium® 7970 y MCI® 2005. El MasterGlenium 7935, satisface la demanda establecidos en la norma ASTM C494 para los aditivos del tipo A, que reducen el agua en el concreto, y del tipo F, que son reductores de agua de alto rango. Los beneficios que ofrece son retenedores de asentamiento, súper plastificante, reductor de agua de alta actividad de nueva generación y estabilizador del contenido de aire en concreto. La dosis recomendada es de 150 a 1200 ml/100 kg de material cementante, es decir entre el 0.15% y 1.2% del peso del material cementante. El MasterGlenium® 7970 también desempeña los requisitos de la norma ASTM C494, con la clasificación descrita. La dosis recomendada es de 0.15% - 1.0% del peso del material cementante.

El MCI®2005 es un inhibidor de corrosión orgánico. Este aditivo es eficaz para aumentar la durabilidad y extiende la vida de servicio para las edificaciones de hormigón expuestas a entornos corrosivos. La dosis recomendada es una porción de 0.6 l/m<sup>3</sup>.

### 2.4 Ejecución del prototipo

#### 2.4.1 Procedimiento de diseño de mezcla de hormigón. Método ACI 211-1.

La norma ACI 211-1 nos describe el desarrollo de las dosificaciones de mezclas de concreto de manera secuencial y lógica, donde se ajusta a las características de los materiales. La idoneidad de las proporciones de materiales no solo depende del ingeniero o técnico a cargo, también hay que considerar las especificaciones del trabajo que como lo indica la norma pueden ser algunas o todas las siguiente:

- ✓ Máxima relación agua/cemento.
- ✓ Máximo contenido de cemento.
- ✓ Contenido de aire.
- ✓ Revenimiento.
- ✓ Tamaño máximo de agregado.
- ✓ Resistencia.

Otros requerimientos relacionados con aspectos de sobre-diseño de resistencia, aditivos y tipos especiales de cemento o agregado. Lo más recomendado para lograr el establecimiento de pesos de lote por yd<sup>3</sup> o m<sup>3</sup> de concreto es proseguir con la siguiente secuencia:

#### 2.4.1.1 Paso 1. Elección de Asentamiento

Si el revenimiento no es especificado, se puede seleccionar un valor apropiado para el trabajo de acuerdo a la Tabla 5. Los rangos de asentamiento que se muestran se aplican cuando se usa vibración para una eficiente compactación. Para que el asentamiento puede incrementarse es necesario manejar aditivos químicos, además debe desempeñarse la misma o menor relación agua-cemento y que no muestre potencial de segregación o excesivo sangrado. En este proyecto se utilizó 22 cm de asentamiento para el prototipo de muestra principal debido al usó 3 tipos diferentes de aditivos con el fin de llegar a tan alto revenimiento, empleado para la construcción de elementos prefabricados, capiteles, vigas y losas para un muelle.

Tabla 5. Asentamiento recomendado para varios tipos de construcción

TIPOS DE CONSTRUCCIÓN	Asentamiento, cm (in)	
	Máximo	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas reforzadas	7.5 (3)	2.5 (1)
Zapatas, campanas y muros de subestructura.	7.5 (3)	2.5 (1)
Vigas y muros armados	10 (4)	2.5 (1)
Columnas para edificios	10 (4)	2.5 (1)
Pavimentos y losas	7.5 (3)	2.5 (1)
Concreto masivo	5 (2)	2.5 (1)

Fuente: Norma ACI 211.1- Tabla 6.3.1.

#### 2.4.1.2 Paso 2. Elección del tamaño máximo de agregado

Es fundamental tener en cuenta que los agregados más grandes en el hormigón requieren menos pasta de cemento por unidad de volumen de concreto. Esto se debe a que el agregado con mayor tamaño presenta menos vacíos que el agregado con menor tamaño. Por lo regular la elección del árido grueso va ligada a la disponibilidad económica y a la correlación con la dimensión de la estructura. La norma indica que de ninguna manera se debe exceder las siguientes limitaciones y solo se deben pasar por alto si la trabajabilidad y los métodos de compactación permiten que el concreto sea colado sin cavidades o huecos.

- ✓ 1/5 de la menor dimensión entre los costados de las cimbras.
- ✓ 1/3 del espesor de las losas.
- ✓ 3/4 del espaciamiento mínimo libre entre varillas o alambres individuales de refuerzo, paquetes de varillas, cables o ductos de pretensado

Cuando se desea hormigón de alta resistencia, se pueden obtener mejores resultados con tamaños nominales máximos de agregado reducidos, ya que estos producen mayores resistencias a una relación agua-cemento determinada. Producto de esto, se decidió por un tamaño nominal de 19.05 mm (3/4 in).

#### 2.4.1.3 Paso 3. *Estimación de la mezcla de agua y aire contenido*

Con el propósito de una estimación inicial para cantidad de agua por unidad de volumen de hormigón requerido, la norma describe de los siguientes aspectos fundamentales que se deben conocer:

- ✓ El tamaño máximo nominal.
- ✓ La forma de las partículas y la clasificación de los agregados.
- ✓ La temperatura del hormigón.
- ✓ La cantidad de aire incorporado.
- ✓ Uso de aditivos químicos.

La textura y forma de los agregados utilizados en una mezcla de concreto pueden influir en la cantidad de agua necesaria para lograr una consistencia adecuada. Los valores tabulados en la Tabla 6, para la cantidad de agua necesaria son suficientemente precisos para realizar una estimación inicial en la mayoría de los casos.

Es necesario tener en cuenta que la forma de la partícula no indica que un agregado aumente o disminuya de la resistencia de mezcla, independientemente del factor de cemento y relación agua/cemento que se considere.

Con el objetivo de modificar las características del hormigón elaborándolos con mayor trabajabilidad, más duradero y económico, aumentar o disminuir el tiempo e fraguado, acelerar ganancia de resistencia y controlar temperatura, es fundamental el uso de aditivos químicos. Al utilizar aditivos reductores de agua y/o controladores de fraguado solos o combinados con otros aditivos químicos hay que tener en cuenta que cumplan con los requisitos de ASTM C 494. Es muy importante a la hora de la dosificación de agua considerar que el volumen significativo de aditivos líquidos debe ser parte del agua de amasado.

Tabla 6. Requerimientos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado

<b>Asentamiento, cm</b>	<b>Agua, kg/m<sup>3</sup> para el concreto de agregado de tamaño nominal máximo (mm) indicado</b>							
	9.5	12.5	19	25	38	50	75	150
<i>Concreto sin aire incluido</i>								
2.5 a 5	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 a 10	228	216	205	193	181	169	145	124
15 a 17.5	243	228	216	202	190	178	160	-
<i>Cantidad aproximada de aire atrapado en concreto, %</i>	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
<i>Concreto con aire incluido</i>								
2.5 a 5	108	175	165	160	145	140	135	120
7.5 a 10	200	190	180	175	160	155	150	135
15 a 17.5	215	205	190	185	170	165	160	-
<i>Promedio recomendado del contenido total de aire, porcentaje de acuerdo con el nivel de exposición</i>								
<i>Exposición ligera</i>	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
<i>Exposición moderada</i>	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
<i>Exposición Severa</i>	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

Fuente: Norma ACI 211.1- Tabla 6.3.3

Usar la cantidad normal de aire incorporado en concreto de alta resistencia con resistencias mayores a 350 kg/cm<sup>2</sup> es posible que no sea factible, porque cada porcentaje adicional de aire reduce la resistencia máxima obtenido por una cierta combinación de materiales.

#### 2.4.1.4 Paso 4. Selección de agua-cemento

Los factores que determina la relación A/C es la durabilidad y la resistencia. Dado que todos los distintos tipos de materiales empleados en una mezcla nos ofrece diversas resistencias incluso manejando la misma A/C. Por ello es recomendable obtener o desarrollar la relación A/C de los materiales que se están empleando en la mezcla. En ausencia de estos datos, se pueden tomar los valores aproximados y conservadores para hormigón que contiene Portland Tipo I de la Tabla 7.

Tabla 7. Relación Agua/Cemento (A/C) y la resistencia a la compresión del concreto.

<b>Resistencia a la compresión a los 28 días, Kg/ m<sup>2</sup></b>	<b>Relación agua/cemento (A/C) por peso</b>	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0.41	-
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

Fuente: Norma ACI 211.1- Tabla 6.3.4(a).

Existen otros valores límites de relación agua/ cemento con adiciones de puzolanas naturales, cenizas volantes, escoria GBFS (escoria granulada de alto horno (GBFS, subproducto de la industria del acero) y sílice humo, denominados materiales puzolánicos, estos valores se encuentran en la Tabla 8.

Tabla 8. Máximas relaciones A/C permisibles para concreto expuesto a condiciones severas.

<b>Tipo de estructura</b>	<b>Estructura Continua o frecuentemente mojada y expuestas a congelación y deshielo.</b>	<b>Estructuras expuestas al agua de mar o sulfatos.</b>
<i>Secciones esbeltas (barandales, umbrales, ménsula, trabajos ornamentales) y secciones con menos de 3cm de recubrimiento sobre el acero de refuerzo.</i>	0.45	0.40
<i>Todas las demás estructuras.</i>	0.5	0.45

Fuente: Norma ACI 211.1- Tabla 6.3.4 (b)

#### 2.4.1.5 Paso 5. Cálculo del contenido de cemento

Una vez realizado los pasos 3 y 4 (estimación del contenido de agua y selección de la relación A/C), el contenido de cemento es determinada por la ecuación 3. Si las Especificaciones del trabajo nos indica un mínimo de cemento se deberá escoger a la mayor cantidad de cemento.

$$C = \frac{A}{(A/C)} \quad (3)$$

Donde

- ✓ C; cantidad de cemento por unidad de volumen
- ✓ A; La estimación del agua obtenida en el paso 3.
- ✓ A/C; La selección de la relación agua/cemento del paso 4.

#### 2.4.1.6 Paso 6. Estimación del contenido de agregado grueso

La granulometría y el tamaño máximo nominal de los agregados son puntos esenciales para elaborar hormigones de trabajabilidad satisfactoria, sobre todo cuando se emplea un volumen dado de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón, con base en el Peso Unitario Seco Varillado.

La norma plantea en la Tabla 9 una cuantificación de volúmenes apropiados de agregado en metros cúbicos, con base al varillado en seco, para un metro cúbico de concreto. Cabe resaltar que para una elección de Volumen es elemental conocer el tamaño máximo nominal y módulo de finura del agregado fino. A pesar de las irregularidades en forma y clasificación de las partículas, estas son compensadas por las diferencias en el contenido de vacíos.

Tabla 9. Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto.

<b>Tamaño máximo nominal de agregado, Pulg. (mm)</b>	<b>Volumen de agregado grueso varillado en seco, por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de arena</b>			
	<b>2.40</b>	<b>2.60</b>	<b>2.80</b>	<b>3.00</b>
3/8 (10)	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2 (12.5)	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4 (20.0)	0.66	0.64	0.62	0.60
1 (25.0)	0.70	0.69	0.67	0.65
1 ½ (40.0)	0.75	0.73	0.71	0.69
2 (50.0)	0.78	0.76	0.74	0.72
3 (70.0)	0.82	0.80	0.78	0.76
6 (150.0)	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: Norma ACI 211.1- Tabla 6.3.6

#### 2.4.1.7 Paso 7. Estimación del contenido de agregado fino.

En función de concluir con los 6 pasos descritos con anterioridad, cada material ha sido cuantificado excepto el agregado fino, para ello lo podemos determinar mediante una diferencia de peso o de volúmenes, la norma nos describe los siguientes métodos:

1. Método de Peso del concreto por unidad de volumen
2. Método de volumen absoluto ocupado por los ingredientes del concreto.

*1. Método de Peso del concreto por unidad de volumen*

Este método se aplica una resta entre el peso del hormigón en estado fresco y el peso total de los demás materiales que componen la mezcla. Por lo general el peso unitario del concreto es conocido con una exactitud razonable obtenida de experiencias con los materiales. En ausencia de esta información la norma nos ofrece valores aproximados en la Tabla 10 como primera estimación.

*Tabla 10. Primera estimación del peso del concreto fresco.*

<b>Tamaño máximo de agregado, Pulg. (mm)</b>	<b>Primera estimación del peso del concreto fresco, kg/m<sup>3</sup></b>	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
3/8 (10)	2285	2190
1/2 (12.5)	2315	2235
3/4 (20.0)	2355	2280
1 (25.0)	2375	2315
1 ½ (40.0)	2420	2355
2 (50.0)	2445	2375
3 (70.0)	2465	2400
6 (150.0)	2505	2435

*Fuente: Norma ACI 211.1- Tabla 6.3.7.1*

2. Método de volumen absoluto ocupado por los ingredientes del concreto.

En este proceso, es la diferencia entre la unidad de volumen de hormigón y el contenido total de los materiales, agua, aire, materiales cementicios y agregado grueso; obteniendo así el volumen de agregado fino. El volumen ocupado en el concreto por cualquier material es igual a su peso dividido por la densidad de ese material.

*2.4.1.8 Paso 8. Ajustes por humedad del agregado*

Las cantidades de agregado que realmente se pesarán para el concreto deben tener en cuenta la humedad en los agregados. Generalmente, los áridos estarán húmedos y su peso seco deberá incrementarse en el porcentaje de agua que contengan, tanto absorbidos como superficiales. La cuantificación de agua seleccionada en el paso 3, dependerá de la absorción y humedad de los agregados reduciendo su cantidad, es decir, la humedad total menos absorción.

#### *2.4.1.9 Paso 9. Ajustes a la mezcla de prueba*

Los ensayos expuestos en la norma, determinaran si la dosificación inicial cumple con los estándares de calidad para una estructura. Es fundamental verificar la producción del revenimiento requerido, la trabajabilidad apropiada, ausencia de segregación, así como las propiedades de acabado. Si fuese necesario efectuarse algún ajuste en la mezcla seguir el siguiente procedimiento que indica la norma ACI 211-1:

- a) Volver a estimar el agua de la mezcla requerida, si el asentamiento de la prueba no es el correcto. Debe incrementarse o disminuir el nuevo contenido estimando 2kg de agua por metro cúbico de concreto para cada centímetro de incremento o reducción del revenimiento.
- b) Si no se obtiene el contenido de aire deseado (para concreto con aire incluido), debe estimarse de nuevo el contenido requerido de aditivo para lograr el contenido apropiado de aire y reducirse o incrementarse el contenido de agua de mezclado que se indica en el (a), en 3kg por cada 1% en que debe reducirse o incrementarse el contenido de aire respecto al de la mezcla de prueba previa.
- c) El Peso Unitario de concreto fresco estimado nuevamente para el ajuste de las proporciones de la mezcla de prueba, es igual al peso unitario en kg/m<sup>3</sup> medido en la mezcla de prueba, reducido o incrementado por el porcentaje de incremento o reducción del contenido de aire de la mezcla ajustada respecto a la primera mezcla de prueba.
- d) Deben calcularse nuevos pesos de mezcla si es necesario, se modificará el volumen de agregado grueso para obtener una trabajabilidad adecuada.

## 2.5 RESUMEN DE DISEÑOS DE MEZCLA A UTILIZAR EN LA INVESTIGACIÓN

Tabla 11. Datos de los ensayos de los materiales para cada mezcla.

	Código de la mezcla	Relación Agua/Cemento (a/c)	Concreto F'cr (kg/cm <sup>2</sup> )	DATOS DE LOS ENSAYOS DE MATERIALES								
				Cemento	Piedra triturada				Arena			
				Densidad específica (g/m <sup>3</sup> )	Tamaño máximo nominal	Densidad específica (g/m <sup>3</sup> )	Absorción (%)	Humedad (%)	Módulo de finura	Densidad específica (g/m <sup>3</sup> )	Absorción (%)	Humedad (%)
NETINEN 2380 TIPO HS	10010	0,35	400	2,99	3/4"	2,46	3,1	3,2	2,63	2,39	4,2	13,5
	10020	0,45	400	2,99	3/4"	2,46	3,1	3,2	2,63	2,39	4,2	13,5
	10030	0,52	400	2,99	3/4"	2,46	3,1	3,2	2,63	2,39	4,2	13,5
NETINEN 2380 TIPO GU	10040	0,35	400	2,88	3/4"	2,46	3,1	3,01	2,63	2,39	4,2	10,7
	10050	0,58	400	2,88	3/4"	2,46	3,1	3,01	2,63	2,39	4,2	10,7
	10060	0,35	400	2,88	3/4"	2,46	3,1	3,01	2,63	2,39	4,2	10,7

Tabla 12. Ensayo de asentamiento y contenido de aire.

	Diseño	Asentamiento cm	Contenido de Aire (%)
NETINEN 2380 TIPO HS	10010	23	0,9
	10020	23	0,8
	10030	22	1
NETINEN 2380 TIPO GU	10040	23	0,9
	10050	22	1,1
	10060	23	0,9

Tabla 13. Dosificación de concreto por metro cúbico.

<b>DOSIFICACIÓN DE CONCRETO POR METRO CÚBICO</b>								
	Código de la mezcla	Cemento (kg/m <sup>3</sup> )	Agua (L/m <sup>3</sup> )	Arena (kg/m <sup>3</sup> )	Piedra triturada (kg/m <sup>3</sup> )	MCI (L/m <sup>3</sup> ) <sup>1</sup>	Aditivo 7970 0,9% (kg) <sup>2</sup>	Aditivo 7935 0,9% (kg) <sup>3</sup>
NETINEN 2380 TIPO HS	10010	445	83,41	873,58	928,8	0,68	4,01	4,01
	10020	445	83,41	873,58	928,8	0	4,01	4,01
	10030	445	83,41	873,58	928,8	0	0	0
NETINEN 2380 TIPO GU	10040	445	106,84	820,16	920,09	0,68	4,01	4,01
	10050	445	106,84	820,16	920,09	0	0	0
	10060	580	168,32	541,81	935	0,68	5,22	5,22

<sup>1</sup> El MCI®2005 es un inhibidor de corrosión orgánico.

<sup>2</sup> El MasterGlenium® 7970 aditivos reductores de agua de alto rango (tipo A y F). Este aditivo aporta diferentes niveles de manejabilidad.

<sup>3</sup> El MasterGlenium 7935 aditivos reductores de agua de alto rango (tipo A y F). Es súper plastificante, reductor de agua y estabilizador del contenido de aire.

Tabla 14. Dosificación de concreto para 20 litros.

		<b>DOSIFICACIÓN DE CONCRETO PARA 20 LITROS</b>						
	Código de la mezcla	Cemento (kg)	Agua (L)	Arena (kg)	Piedra triturada (kg)	MCI (L) <sup>1</sup>	Aditivo 7970 0,9% (kg) <sup>2</sup>	Aditivo 7935 0,9% (kg) <sup>3</sup>
NETINEN 2380 TIPO HS	10010	8,9	1,67	17,47	18,58	0,014	0,08	0,08
	10020	8,9	1,67	17,47	18,58	0	0,08	0,08
	10030	8,9	1,67	17,47	18,58	0	0	0
NETINEN 2380 TIPO GU	10040	8,9	2,14	16,4	18,4	0,014	0,08	0,08
	10050	8,9	2,14	16,4	18,4	0	0	0
	10060	11,6	3,37	10,84	18,7	0,014	0,104	0,104

<sup>1</sup> El MCI@2005 es un inhibidor de corrosión orgánico.

<sup>2</sup> El MasterGlenium® 7970 aditivos reductores de agua de alto rango (tipo A y F). Este aditivo aporta diferentes niveles de manejabilidad.

<sup>3</sup> El MasterGlenium 7935 aditivos reductores de agua de alto rango (tipo A y F). Es súper plastificante, reductor de agua y estabilizador del contenido de aire.

### **3. EVALUACIÓN DEL PROTOTIPO**

#### *3.1 Plan de evaluación*

Se ejecutó un cronograma de elaboración de las mezclas con sus respectivos ensayos en estado fresco, ensayos de temperatura y asentamiento. La fabricación de los cilindros comenzó el 27 de diciembre de 2022 para las mezclas 10010, 10020 y 10030. El día 28 de diciembre de 2022 se llevó a cabo para las mezclas 10040, 10050 y 10060, como se observa en la Tabla 1 y Tabla 15.

Los ensayos para obtener la resistencia a compresión a los 7, 14 y 28 días se realizaron en los laboratorios de la planta de hormigón premezclado de Holcim Machala ubicada en el km 4.5 de la vía Machala –Pasaje.

Después de obtener los resultados de la resistencia a la compresión de los 28 días, el 1 de febrero del 2023 se llevó a cabo la inmersión de las probetas restantes de cada mezcla en agua salada, en las inmediaciones del muelle del Comando Sur de la Armada Nacional, Ubicado en la Av. Bolívar Madero Vargas, en Puerto Bolívar.

Tabla 15. Cronograma curado de hormigón en relación a la resistencia obtenida.

Diseño	Fecha de Elaboració	Cantidad	CRONOGRAMA CURADO DEL HORMIGÓN EN RELACION A LA RESISTENCIA OBTENIDA																											
			Diciembre									Enero																		
			26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
10010	27/12/2022	8	35,9 MPa >									40,8 MPa >									45,7 MPa >									
			35,7 MPa >									40,4 MPa >									46,0 MPa >									
10020	27/12/2022	8	33,6 MPa >									38,2 MPa >									43,2 MPa >									
			33,7 MPa >									38,5 MPa >									43,5 MPa >									
10030	27/12/2022	8	11,5 MPa >									13,8 MPa >									17,7 MPa >									
			11,8 MPa >									13,9 MPa >									17,7 MPa >									
10040	28/12/2022	8	29,2 MPa >									33,8 MPa >									38,8 MPa >									
			29,2 MPa >									34,1 MPa >									38,9 MPa >									
10050	28/12/2022	8	6,2 MPa >									8,7 MPa >									13,0 MPa >									
			6,4 MPa >									8,8 MPa >									13,0 MPa >									
10060	28/12/2022	8	51,7 MPa >									63,0 MPa >									69,8 MPa >									
			52,1 MPa >									63,2 MPa >									69,4 MPa >									

Tabla 16. Cronograma de inmersión de probetas en agua salada en relación a la resistencia obtenida.

Diseño	Fecha de inmersión	Cantidad	CRONOGRAMA DE INMERSIÓN DE PROVETAS EN AGUA SALADA																						
			FEBRERO																						
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
10010	24/1/2023	8																					45,7 MPa >		
																							45,9 MPa >		
10020	24/1/2023	8																					41,1 MPa >		
																							41,1 MPa >		
10030	24/1/2023	8																					16,4 MPa >		
																							16,6 MPa >		
10040	25/1/2023	8																					38,9 MPa >		
																							38,8 MPa >		
10050	25/1/2023	8																					13,0 MPa >		
																							13,3 MPa >		
10060	25/1/2023	8																					67,8 MPa >		
																							68,2 MPa >		

### *3.1.1 Ensayos realizados al concreto de alta resistencia*

Según lo establecido en la norma NTE INEN 1763, para llevar a cabo de las pruebas del concreto en estado fresco, es necesario que el tiempo transcurrido entre la primera y la última obtención de la muestra sea menor a 15 minutos. Asimismo, es fundamental transportar la muestra al lugar donde se llevarán a cabo los ensayos y mezclarla con una pala para mantener la uniformidad.

Al obtener la última porción de muestra se debe esperar 5 min para proceder con los ensayos de asentamiento, temperatura y contenido de aire. Una vez realizado esto volver a mezclar y 15 min después de obtención de mezcla, se inicia con el moldeo de especímenes para el ensayo de resistencia con un volumen mínimo de 28 litros o el tamaño de la muestra también puede ser definido por el tamaño máximo del árido.

#### *3.1.1.2 Determinación del asentamiento – NTE INEN 1578 - ASTM C143*

El conocer el asentamiento del hormigón nos permite dar el seguimiento de la consistencia del mismo en estado plástico. Mediante diversas pruebas de laboratorio, la NET INEN 1578 expresa que el asentamiento aumenta conforme el aumento de contenido de agua y por ello es inversamente proporcional a su resistencia. Los equipos que se emplean para este ensayo son:

- Cucharón
- Metro
- Varilla
- Cono de Abraham

La varilla utilizada para compactar el cono de Abraham debe ser de acero, lisa y recta, con dos extremos redondeados de 16 mm de diámetro y una longitud aproximada de 600 mm.

El molde de cono de Abraham debe ser de metal y tener una forma de cono truncado con un espesor de 1.5 mm, diámetros internos de 200 mm en la base, 100 mm en la parte superior, una altura de 300 mm y dos estribos para apoyar los pies. Las dimensiones del molde tienen una tolerancia de  $\pm 3$  mm, lo que especifica la norma NET INEN 1578.

Para realizar el procedimiento, se debe humedecer el molde y colocarlo sobre una superficie plana, húmeda y no absorbente. A continuación, el técnico debe pararse en los estribos del cono, mantenerlo fijo y comenzar con el llenado. Se deben colocar tres capas a un tercio del volumen del cono y se debe compactar cada capa con 25 golpes utilizando la varilla.

### 3.2 Evaluación

Los resultados de la prueba de resistencia a la compresión a los 7 días de las probetas elaboradas se pueden observar en la Tabla 17. La rotura de estos cilindros se la realizó el 3 de enero 2023 a las mezclas elaboradas con cemento HS y para las mezclas elaboradas con cemento GU el 4 de enero del 2023, ensayando 2 probetas por cada mezcla.

Tabla 17. Resistencia a la compresión a los 7 días.

<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS</b>								
<b>Diseño</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Fecha de Ensayo</b>	<b>Cantidad a Ensayar</b>	<b>Dimensiones del Cilindro(mm)</b>	<b>Resistencia</b>			
					kN	MPa	kN	MPa
10010	Prototipo HS	3/1/2023	2	Diámetro: 100 Altura: 200	281,8	35,9	280,5	35,7
10020	Prototipo HS sin MCI	3/1/2023	2	Diámetro: 100 Altura: 200	263,8	33,6	264,9	33,7
10030	Prototipo HS sin Aditivos	3/1/2023	2	Diámetro: 100 Altura: 200	90,1	11,5	92,8	11,8
10040	Prototipo GU	4/1/2023	2	Diámetro: 100 Altura: 200	229,3	29,2	228,9	29,2
10050	Prototipo GU sin Aditivos	4/1/2023	2	Diámetro: 100 Altura: 200	48,9	6,2	50,1	6,4
10060	Prototipo GU + % GU	4/1/2023	2	Diámetro: 100 Altura: 200	406,2	51,7	408,6	52,1

Los resultados de la prueba de resistencia a la compresión a los 14 días de las probetas elaboradas se pueden observar en la Tabla 18. La rotura de estos cilindros se la realizó el 10 de enero 2023 a las mezclas elaboradas con cemento HS y para las mezclas elaboradas con cemento GU el 11 de enero del 2023, ensayando 2 probetas por cada mezcla.

Tabla 18. Resistencia a la compresión a los 14 días.

<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS</b>								
<b>Diseño</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Fecha de Ensayo</b>	<b>Cantidad a Ensayar</b>	<b>Dimensiones del Cilindro (mm)</b>	<b>Resistencia</b>			
					kN	MPa	kN	MPa
10010	Prototipo HS	10/1/2023	2	Diámetro: 100 Altura: 200	320,3	40,8	317	40,4
10020	Prototipo HS sin MCI	10/1/2023	2	Diámetro: 100 Altura: 200	300,1	38,2	302,08	38,5
10030	Prototipo HS sin Aditivos	10/1/2023	2	Diámetro: 100 Altura: 200	108,09	13,8	109,05	13,9
10040	Prototipo GU	11/1/2023	2	Diámetro: 100 Altura: 200	265,6	33,8	267,7	34,1
10050	Prototipo GU sin Aditivos	11/1/2023	2	Diámetro: 100 Altura: 200	68,04	8,7	69,06	8,8
10060	Prototipo GU + % GU	11/1/2023	2	Diámetro: 100 Altura: 200	494,6	63,0	495,8	63,2

Los resultados de la prueba de resistencia a la compresión a los 28 días de las probetas elaboradas se pueden observar en la Tabla 19. La rotura de estos cilindros se la realizó el 24 de enero 2023 a las mezclas elaboradas con cemento HS y para las mezclas elaboradas con cemento GU el 25 de enero del 2023, ensayando 2 probetas por cada mezcla.

Tabla 19. Resistencia a la compresión a los 28 días.

<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS</b>								
<b>Diseño</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Fecha de Ensayo</b>	<b>Cantidad a Ensayar</b>	<b>Dimensiones del Cilindro (mm)</b>	<b>Resistencia</b>			
					kN	MPa	kN	MPa
10010	Prototipo HS	24/1/2023	2	Diámetro: 100 Altura: 200	359,1	45,7	360,8	46,0
10020	Prototipo HS sin MCI	24/1/2023	2	Diámetro: 100 Altura: 200	339,2	43,2	341,3	43,5
10030	Prototipo HS sin Aditivos	24/1/2023	2	Diámetro: 100 Altura: 200	138,9	17,7	139,2	17,2
10040	Prototipo GU	25/1/2023	2	Diámetro: 100 Altura: 200	304,3	38,8	305,6	38,9
10050	Prototipo GU sin Aditivos	25/1/2023	2	Diámetro: 100 Altura: 200	102,3	13,0	101,8	13,0
10060	Prototipo GU + % GU	25/1/2023	2	Diámetro: 100 Altura: 200	541,7	69,0	542,1	69,1

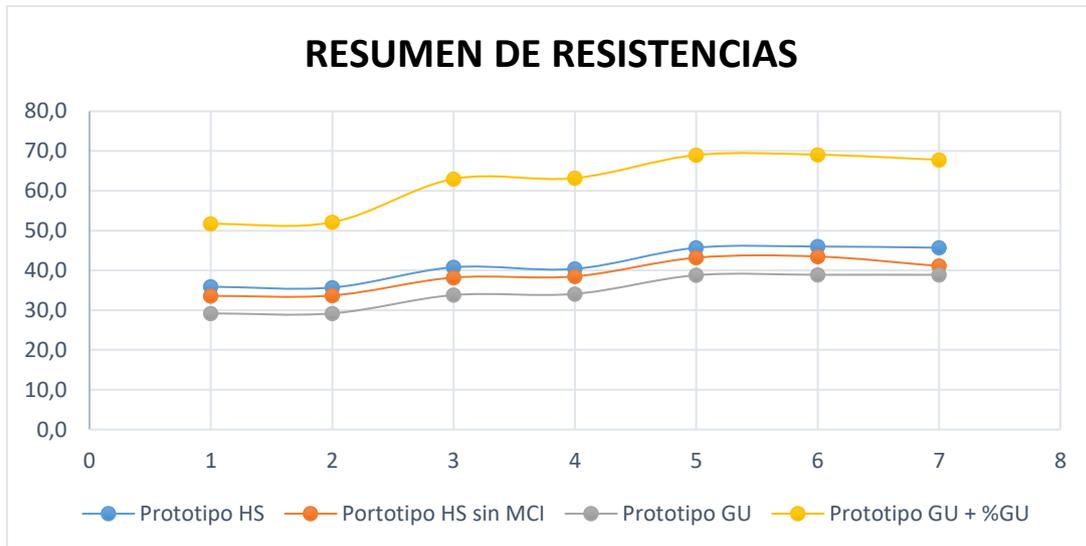
na vez pasado 28 días de curado se sumergió 12 probetas en agua salada. La fecha de inmersión fue el 1 de febrero de 2023, y el ensayo de rotura se lo realizó el 23 de febrero del 2023, como se muestra en la Tabla 20.

Tabla 20. resistencia a la compresión a los 23 días de la inmersión en el agua salada.

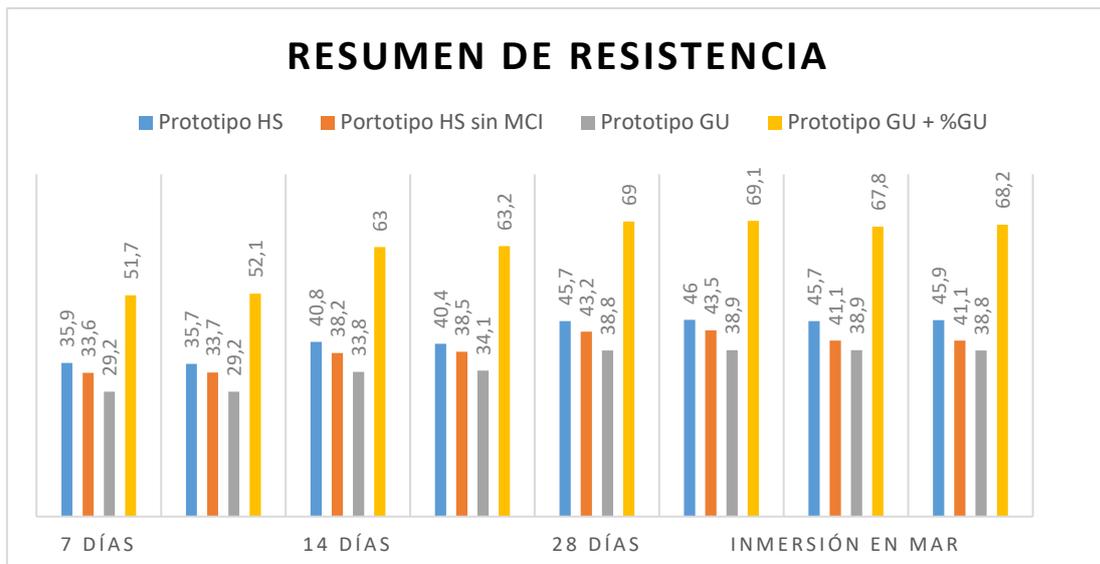
<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 23 DÍAS SUMERGIDOS EN AGUA SALADA</b>								
<b>Diseño</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Fecha de Ensayo</b>	<b>Cantidad a Ensayar</b>	<b>Dimensiones del Cilindro (mm)</b>	<b>Resistencia</b>			
					kN	MPa	kN	MPa
10010	Prototipo HS	23/2/2023	2	Diámetro: 100 Altura: 200	358,8	45,7	360,2	45,9
10020	Prototipo HS sin MCI	23/2/2023	2	Diámetro: 100 Altura: 200	323	41,1	322,3	41,1
10030	Prototipo HS sin Aditivos	23/2/2023	2	Diámetro: 100 Altura: 200	129,1	16,4	130,4	16,6
10040	Prototipo GU	23/2/2023	2	Diámetro: 100 Altura: 200	305	38,9	304,5	38,8
10050	Prototipo GU sin Aditivos	23/2/2023	2	Diámetro: 100 Altura: 200	102	13,0	104,1	13,3
10060	Prototipo GU + % GU	23/2/2023	2	Diámetro: 100 Altura: 200	532,6	67,8	535,2	68,2

En la Ilustración 1 e Ilustración 2 podemos observar un resumen de resistencias de cada uno de los especímenes elaborados en relación con el tiempo de curado.

*Ilustración 1. Gráfica de evaluación de resistencia por cada mezcla elaborada.*



*Ilustración 2. Gráfica de evaluación de resistencia en relación con el tiempo de curado.*



### 3.3 Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran que la mezcla 10020 cuya composición incluye cemento portland tipo HS, agregados nacionales, agua y aditivos Master Glenium 7970 y 7935, curados en agua durante un periodo de falla de 28 días sometidos a pruebas de resistencia soportaron 43,20 MPa superando la resistencia prevista en la tabla 11 de 40 MPa, además se puede apreciar que los cilindros curados en agua de mar se vieron afectados con una disminución de 5% (2MPa).

Además, la variación de la mezcla caracterizada por el número 10010, que incluye el aditivo MCI2005 útil para inhibir la corrosión orgánica según su ficha técnica, muestra un incremento en su resistencia a la compresión del 5,8%(2,5 MPa) respecto a la mezcla 10020. Se ha de señalar que los cilindros sumergidos en agua sal presentaron una diferencia despreciable frente a los sumergidos en agua en laboratorio.

La mezcla 10030 cuya composición incluye cemento portland tipo HS, agregados nacionales, agua y que carece de aditivos presenta una resistencia de 17,70 MPa en cilindros curados en laboratorio y de 16,40 MPa en cilindros curados en agua de mar. A pesar de contar con el mismo volumen de agregados se ha visto afectada en sus niveles de resistencia por haberse aumentado el volumen de agua en su dosificación para cumplir con el asentamiento dispuesto en la tabla 12.

Los resultados obtenidos en la mezcla 10040 cuya composición incluye cemento portland tipo GU, agregados nacionales, agua y aditivos Master Glenium 7970 y 7935, curados en agua durante un periodo de falla de 28 días sometidos a pruebas de resistencia soportaron 38,8 MPa no alcanzando la resistencia prevista en la tabla 11 de 40 MPa.

Por otro lado, las mezclas 10060, cuya composición incluye cemento portland tipo GU, agregados nacionales, agua y aditivos Master Glenium 7970 y 7935, logra cumplir con éxito la resistencia deseada, alcanzando valores de 69 MPa. El incremento de la resistencia obedece a una variación en la dosificación contando esta con un incremento de 135 kg en el volumen de cemento respecto a la mezcla 10040. Para efectos constructivas no sería viable la utilización esta dosificación al elevarse el costo por m<sup>3</sup>.

La mezcla 10050 cuya composición incluye cemento portland tipo GU, agregados nacionales, agua y que carece de aditivos presenta una resistencia de 13,0 MPa en cilindros curados en laboratorio y de 13,0 MPa en cilindros curados en agua de mar. A pesar de contar con el mismo volumen de agregados se ha visto afectada en sus niveles

de resistencia por haberse aumentado el volumen de agua en su dosificación para cumplir con el asentamiento dispuesto en la tabla 12.

### *3.4 Recomendaciones*

Se recomienda que para obtener resultados más precisos acerca de las diferencias entre la resistencia de elementos de hormigón fundidos con cemento GU y HS se elabore una mayor cantidad de especímenes y extender el tiempo de curado, es importante tener en cuenta los factores específicos de cada proyecto y adaptar el tiempo de evaluación de la resistencia en consecuencia. Es decir, se necesita tener un equilibrio entre el tiempo de curado adecuado y el tiempo suficiente para realizar una evaluación precisa de la resistencia.

Durante la elaboración de los especímenes es importante tener cuidado al agregar agua a para cumplir con el asentamiento requerido, ya que esto puede tener un impacto significativo en la resistencia del material y, por lo tanto, puede afectar la precisión del análisis. Agregar agua en exceso puede provocar una disminución en la resistencia del material y una variación en las propiedades mecánicas, esto complica la apreciación del análisis. Es importante seguir las proporciones y los procedimientos adecuados para garantizar que el material cumpla con los objetivos del proyecto.

Los hormigones elaborados con cemento GU presentan menor resistencia a agentes salinos frente a los elaborados con HS, sin embargo en ciudades cercanas al mar es común que se use el tipo GU por la comercialidad y menor costo, el agua salada o los ambientes húmedos con elevado grado de salinidad pueden afectar la resistencia del hormigón produciendo agrietamiento y descascarillado durante el proceso de curado por lo que se recomienda la utilización de cemento con alta resistencia a los sulfatos y aditivos inhibidores de corrosión orgánica.

## CAPÍTULO IV. BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. M. Carmona-Quiroga *et al.*, «Characterisation and diagnosis of heritage concrete: case studies at the Eduardo Torroja Institute, Madrid, Spain», *Materiales de Construcción*, vol. 71, n.º 344, Art. n.º 344, nov. 2021, doi: 10.3989/mc.2021.11021.
- [2] E. I. Ogunjiofor, «Possibility of Usage of Seawater for Mixing and Curing of Concrete in Salty Water Localities», *JERR*, pp. 19-27, dic. 2020, doi: 10.9734/jerr/2020/v19i317234.
- [3] S. Harahap, S. D. Puspitasari, y A. A. Muhaimin, «Seawater-mixed concrete in Indonesia and anti-corrosive materials: A review», presentado en INTERNATIONAL CONFERENCE ON BIOMEDICAL ENGINEERING (ICoBE 2021), Perlis, Malaysia, 2023, p. 050002. doi: 10.1063/5.0110946.
- [4] P. Vila, H. Bonjour, L. Díaz, y M. N. Pereyra, «Potencialidad reactiva de agregados para hormigón en Uruguay. Correlación entre la metodología de la barra de mortero y el prisma de hormigón (acelerada y tradicional)», *Revista ALCONPAT*, vol. 13, n.º 1, Art. n.º 1, 2023, doi: 10.21041/ra.v13i1.608.
- [5] S. Cheng, Z. Shui, T. Sun, Y. Huang, y K. Liu, «Effects of seawater and supplementary cementitious materials on the durability and microstructure of lightweight aggregate concrete», *Construction and Building Materials*, vol. 190, pp. 1081-1090, nov. 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.09.178.
- [6] Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, M. H. Ismail, M. A. Adnan, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, R. Deraman, y Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, «Short-Term Effect on Mechanical Strength and Water Absorption of Concrete Containing Palm Oil Fuel Ash Exposed to Chloride Solution», *IJSCET*, vol. 12, n.º 3, oct. 2021, doi: 10.30880/ijscet.2021.12.03.026.
- [7] Y. F. Silva Urrego, S. Delvasto Arjona, Y. F. Silva Urrego, y S. Delvasto Arjona, «Influencia del residuo de mampostería en la resistencia de concretos autocompactantes al ataque por sulfato de sodio», *Revista EIA*, vol. 17, n.º 33, pp. 168-181, jun. 2020, doi: 10.24050/reia.v17i33.1361.
- [8] D. V. Val y M. G. Stewart, «Life-cycle cost analysis of reinforced concrete structures in marine environments», *Structural Safety*, vol. 25, n.º 4, pp. 343-362, oct. 2003, doi: 10.1016/S0167-4730(03)00014-6.
- [9] M. Sahebi y M. Dehestani, «Sustainability assessment of reinforced concrete beams under corrosion in life-span utilizing design optimization», *Journal of Building Engineering*, vol. 65, p. 105737, abr. 2023, doi: 10.1016/j.jobbe.2022.105737.
- [10] U. Nürnberger, «Corrosion induced failure mechanisms of prestressing steel», *Materials and Corrosion-werkstoffe Und Korrosion - MATER CORROS*, vol. 53, pp. 591-601, ago. 2002, doi: 10.1002/1521-4176(200208)53:8<591::AID-MACO591>3.0.CO;2-X.
- [11] A. Frare, E. A. Langaro, D. J. de Souza, y M. H. F. de Medeiros, «Revisão sistemática sobre reação álcali-agregado: panorama comparativo dos estudos realizados no Canadá e no Brasil», *Revista ALCONPAT*, vol. 13, n.º 1, Art. n.º 1, 2023, doi: 10.21041/ra.v13i1.628.
- [12] M. Kioumarsi, A. Benenato, B. Ferracuti, y S. Imperatore, «Residual Flexural Capacity of Corroded Prestressed Reinforced Concrete Beams», *Metals*, vol. 11, n.º 3, Art. n.º 3, mar. 2021, doi: 10.3390/met11030442.
- [13] C. Baldermann *et al.*, «Mineralogical and microstructural response of hydrated cement blends to leaching», *Construction and Building Materials*, vol. 229, p. 116902, dic. 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.116902.
- [14] D. Kanaan, A. M. Soliman, y A. R. Suleiman, «Zero-Cement Concrete Resistance to External Sulfate Attack: A Critical Review and Future Needs», *Sustainability*, vol. 14, n.º 4, p. 2078, feb. 2022, doi: 10.3390/su14042078.

- [15]I. Galan, A. Baldermann, W. Kusterle, M. Dietzel, y F. Mittermayr, «Durability of shotcrete for underground support– Review and update», *Construction and Building Materials*, vol. 202, pp. 465-493, mar. 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.12.151.
- [16]S. Dauji, «Reinforcement corrosion in coastal and marine concrete: A review», *CJCRL*, vol. 9, n.º 2, p. 62, jun. 2018, doi: 10.20528/cjcr.2018.02.003.
- [17]X. Feng *et al.*, «Corrosion Performance of Stainless Steel Reinforcement in the Concrete Prepared with Seawater and Coral Waste and Its Ecological Effects», *Journal of Renewable Materials*, vol. 8, n.º 5, pp. 513-534, 2020, doi: 10.32604/jrm.2020.09549.
- [18]M. Orozco, Y. Avila, S. Restrepo, y A. Parody, «Factores influyentes en la calidad del concreto: una encuesta a los actores relevantes de la industria del hormigón Factors influencing concrete quality: a survey to the principal actors of the concrete industry», vol. 33, 2018.
- [19]W. Chalee, T. Cheewaket, y C. Jaturapitakkul, «Enhanced durability of concrete with palm oil fuel ash in a marine environment», *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 13, pp. 128-137, jul. 2021, doi: 10.1016/j.jmrt.2021.04.061.
- [20]L. Jule, H. Zhuye, M. Cedric, y J. Xiaosheng, «Structural Installation of Precast Concrete Elements», *JEA*, vol. 8, n.º 2, 2020, doi: 10.15640/jea.v8n2a1.
- [21]M. E. Sosa *et al.*, «Efficiency of cement-admixture systems in mortars with binary and ternary Portland cements», *DYNA*, vol. 85, n.º 204, pp. 134-142, mar. 2018, doi: 10.15446/dyna.v85n204.66468.
- [22]A. H. Oroza y J. R. C. Ricardo, «Evaluación de modelos SonReb para la estimación de la resistencia a compresión en hormigones de cemento y áridos cubanos», *Revista ALCONPAT*, vol. 13, n.º 1, Art. n.º 1, 2023, doi: 10.21041/ra.v13i1.602.
- [23]Z. Li, D. Lu, y X. Gao, «Multi-objective optimization of gap-graded cement paste blended with supplementary cementitious materials using response surface methodology», *Construction and Building Materials*, vol. 248, p. 118552, jul. 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118552.
- [24]A. AlKhatib, M. Maslehuddin, y S. U. Al-Dulaijan, «Development of high performance concrete using industrial waste materials and nano-silica», *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 9, n.º 3, pp. 6696-6711, may 2020, doi: 10.1016/j.jmrt.2020.04.067.
- [25]F. Ramírez-Cervantes, F. García-Lamont, D. G. Maxinez, J. Ayala, y R. García, «Sistema embebido basado en reglas aplicado a la determinación de la salud estructural en edificios de varios niveles», *Revista ALCONPAT*, vol. 13, n.º 1, Art. n.º 1, 2023, doi: 10.21041/ra.v13i1.611.
- [26]L. B. Vargas, A. Lübeck, y A. B. da S. S. Neto, «Avaliação dos efeitos das ações térmicas e de retração do concreto sobre uma edificação em paredes de concreto moldadas in Loco», *Revista ALCONPAT*, vol. 13, n.º 1, Art. n.º 1, 2023, doi: 10.21041/ra.v13i1.591.
- [27]X. Chen, Z. Sun, y J. Pang, «A Research on Durability Degradation of Mineral Admixture Concrete», *Materials*, vol. 14, n.º 7, p. 1752, abr. 2021, doi: 10.3390/ma14071752.

#### REFERENCIAS NORMATIVAS

NET INEN 872. Áridos para hormigones. Requisitos. 2011.

NTE INEN 490. Cementos hidráulicos compuestos. Requisitos. 2011.

NET INEN 1576. Hormigón de cemento hidráulico. Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo. 2011.

NTE INEN 695. Áridos. Muestreo.2010.

NTE INEN 694. Hormigón y áridos para elaborar hormigón. Terminología. 2010.

NTE INEN 151. Cemento hidráulico. Definición de términos. 2010.

NTE INEN 857. Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso. 2010.

NTE INEN 856. Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino. 2010.

NET INEN 862. Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad.2011

NTE INEN 696. Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso. 2011

NTE INEN 2617. Hormigón de cemento hidráulico. Agua para mezcla. Requisitos.

NET INEN 1108. Agua potable. Requisitos.2011

NTE INEN 2380. Cemento hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos. 2011

NTE INEN 1573. Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico.2010.

NET INEN 1578. Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de asentamientos. 2010.

NET INEN 1576. Hormigón de cemento hidráulico. Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo.

NTE INEN 1855-2. Hormigones. Hormigón preparado en obra. Requisitos. 2015.

ASTM C494. Standard specification for chemical admixtures for concrete. 2001.

ASTM C 1017. Standard specification for chemical admixtures for use in producing flowing concrete. 1998.

ACI 211.1-91. Standard practice for selecting proportions for normal heavyweight, and mass concrete. 1997.

ACI 304R. Guide for measuring, mixing, transporting, and placing concrete. 2009.

ACI 305R. Specification for Hot weather concreting. 2007.

ACI 306R. Guide to cold weather concreting. 2010.

ACI 308R. Guide to curing concrete. 2008

ACI 309R. Guide for consolidation of concrete. 2005.

## CAPÍTULO V. ANEXOS

### 5.1. Memoria fotográfica



Anexo 1. Agrupación de áridos para la obtención de humedades.



Anexo 2. Peso de áridos grueso para la obtención de humedades.



Anexo 3. Peso de áridos fino para la obtención de humedades.



Anexo 4. Agrupación de áridos para la obtención de humedades.



Anexo 5. Tanques de almacenamiento de aditivos.



Anexo 6. Instalaciones de Laboratorio de Holcim Planta Machala.



Anexo 7. Muestras de aditivos para la mezcla.



Anexo 8. Dosificación de los áridos para la mezcla.



Anexo 9. Dosificación del agua.



Anexo 10. Mezcla de áridos y cemento a concretara.



Anexo 11. Incorporación de agua a la mezcla.



Anexo 12. Ensayo de asentamiento (INEN 1578)



Anexo 13. Ensayo de contenido de aire (NTE INEN 3122)





Anexo 14. Extracción de cilindros con un compresor de aire.



Anexo 15. Curado de Probetas.



Anexo 16. Rotura de cilindros



Anexo 17. Inmersión de probetas en el mar.



Anexo 18. Recuperación de probetas.



Anexo 19. Rotura de probetas recuperadas.

5.2. Hoja de cálculo para dosificaciones.

**DISEÑO 10010**  
2022/12/27

Materiales		Pesos S.S.S x m3	Condiciones de los Materiales		Pesos secos x m3	Pesos reales x m3	Batch
		Kg	%Absorción	%Humedad	Kg	Kg	20 lt Kg
Cemento	Cemento	445,00	---	---	445,00	445,00	<b>8,90</b>
pedra zarandeada	triturada	927,00	<b>3</b>	3,2	900,00	928,80	<b>18,58</b>
arena zarandeada	A. natura	802,00	<b>4,2</b>	13,5	769,67	873,58	<b>17,47</b>
	Agua	156,79	---	---	216,11	83,41	<b>1,67</b>
						<b>1,67</b>	
	%	<b>Kg</b>					<b>Kg</b>
	7970	0,9	4,01				0,080
	7935	0,90	4,01				0,080
mci 2005			0,68				0,014
							<b>46,616</b>
Rel a/c		0,3623					
Rel a/c		0,35233					

**Diseño corregido**

Pesos S.S.S. x m3	Pesos S.S.S. x m3	Volumen diseño original
Kg	Kg	Kg
445,00	445,00	0,149
927,00	927,00	0,694
0,00	0,00	
0,00	0,00	
802,00	802,00	
0,00	0,00	
0,00	0,00	
156,79	156,79	0,157
	V. agua extra	0,000
	V. total	1,000
	V. agregados + ag	1,000

	Pesos S.S.S. x m3
	Kg
Cemento	445,00
No. 67	927,00
No. 78	0,00
	0,00
A. natural	802,00
A. triturada	0,00
	0,00
Agua	156,79

Exceso de volu 0,000

**REL A/C=** 0,35

**HOJA DE CÁLCULO PARA PREPARAR UN BATCH EN LABORATORIO**

**DISEÑO 10020**  
2022/12/27

Materiales		Pesos S.S.S	Condiciones de los Materiales		Pesos secos	Pesos reales	Batch
		x m3	%Absorción	%Humedad	x m3	x m3	20 lt
		Kg			Kg	Kg	Kg
Cemento		445,00	---	---	445,00	445,00	<b>8,90</b>
pedra zarandeada		927,00	<b>3</b>	3,2	900,00	928,80	<b>18,58</b>
arena zarandeada		802,00	<b>4,2</b>	13,5	769,67	873,58	<b>17,47</b>
	Agua	156,79	---	---	216,11	83,41	<b>1,67</b>
						<b>2,53</b>	0,86
							<b>Kg</b>
	7970	0,9	4,01				0,080
	7935	0,90	4,01				0,080
mci 2005			0,68				0,014
							<b>47,476</b>
Rel a/c		0,3623					
Rel a/c		0,35233					

**Diseño corregido**

Pesos S.S.S.	Pesos S.S.S.	Volumen
x m3	x m3	diseño original
Kg	Kg	Kg
445,00	445,00	0,149
927,00	927,00	0,694
0,00	0,00	
0,00	0,00	
802,00	802,00	
0,00	0,00	
0,00	0,00	0,200
199,79	199,79	
	V. agua extra	0,043
	V. total	1,043
	V. agregados + ag	1,043

	Pesos S.S.S.
	x m3
	Kg
Cemento	426,65
No. 67	888,78
No. 78	0,00
	0,00
A. natural	768,94
A. triturada	0,00
	0,00
Agua	191,55

**REL A/C=** 0,45

Exceso de volu 0,043

**HOJA DE CÁLCULO PARA PREPARAR UN BATCH EN LABORATORIO**

**DISEÑO 10030**  
2022/12/27

Materiales		Pesos S.S.S	Condiciones de los Materiales		Pesos secos	Pesos reales	Batch
		x m3	%Absorción	%Humedad	x m3	x m3	20 lt
		Kg			Kg	Kg	Kg
Cemento		445,00	---	---	445,00	445,00	<b>8,90</b>
pedra zarandeada	triturada	927,00	<b>3</b>	3,2	900,00	928,80	<b>18,58</b>
arena zarandeada	A. natural	802,00	<b>4,2</b>	13,5	769,67	873,58	<b>17,47</b>
	Agua	156,79	---	---	216,11	83,41	<b>1,67</b>
						<b>3,17</b>	1,50
							<b>Kg</b>
	7970	0,9	4,01				0,080
	7935	0,90	4,01				0,080
mci 2005			0,68				0,014
							<b>48,116</b>
Rel a/c		0,3623					
Rel a/c		0,35233					

**Diseño corregido**

Pesos S.S.S.	Pesos S.S.S.	Volumen
x m3	x m3	diseño original
Kg	Kg	Kg
445,00	445,00	0,149
927,00	927,00	0,694
0,00	0,00	
0,00	0,00	
802,00	802,00	
0,00	0,00	
0,00	0,00	
231,79	231,79	0,232
	V. agua extra	0,075
	V. total	1,075
	V. agregados + ag	1,075

	Pesos S.S.S.
	x m3
	Kg
Cemento	413,95
No. 67	862,33
No. 78	0,00
	0,00
A. natural	746,05
A. triturada	0,00
	0,00
Agua	215,62

**REL A/C=** 0,52

Exceso de volu	0,075
----------------	-------

**HOJA DE CÁLCULO PARA PREPARAR UN BATCH EN LABORATORIO**

**DISEÑO 10040**  
2022/12/28

Materiales		Pesos S.S.S	Condiciones de los Materiales		Pesos secos	Pesos reales	Batch
		x m3	%Absorción	%Humedad	x m3	x m3	20 lt
		Kg			Kg	Kg	Kg
Cemento	Cemento	445,00	---	---	445,00	445,00	<b>8,90</b>
piedra zarandeada	triturada	920,00	<b>3</b>	3,2	893,20	921,79	<b>18,44</b>
arena zarandeada	A. natura	772,00	<b>4,2</b>	10,7	740,88	820,16	<b>16,40</b>
	Agua	156,79	---	---	214,70	106,84	<b>2,14</b>
						<b>2,14</b>	
	%	<b>Kg</b>					<b>Kg</b>
7970	0,9	4,01					0,080
7935	0,90	4,01					0,080
mci 2005		0,68					0,014
							<b>45,876</b>
Rel a/c	0,3623						
Rel a/c	0,35233						

**Diseño corregido**

Pesos S.S.S.	Pesos S.S.S.	Volumen
x m3	x m3	diseño original
Kg	Kg	Kg
445,00	445,00	0,149
920,00	920,00	0,694
0,00	0,00	
0,00	0,00	
772,00	772,00	
0,00	0,00	0,157
0,00	0,00	
156,79	156,79	
	V. agua extra	0,000
	V. total	1,000
	V. agregados + ag	1,000

	Pesos S.S.S.
	x m3
	Kg
Cemento	445,00
No. 67	920,00
No. 78	0,00
	0,00
A. natural	772,00
A. triturada	0,00
	0,00
Agua	156,79

**REL A/C=** 0,35

Exceso de volu 0,000

**HOJA DE CÁLCULO PARA PREPARAR UN BATCH EN LABORATORIO**

**DISEÑO 10050**  
2022/12/28

Materiales		Pesos S.S.S	Condiciones de los Materiales		Pesos secos	Pesos reales	Batch	
		x m3	%Absorción	%Humedad	x m3	x m3	20 lt	
		Kg			Kg	Kg	Kg	
Cemento		445,00	---	---	445,00	445,00	<b>8,90</b>	
pedra zarandeada	triturada	920,00	<b>3</b>	3,2	893,20	921,79	<b>18,44</b>	
arena zarandeada	A. natura	772,00	<b>4,2</b>	10,7	740,88	820,16	<b>16,40</b>	
	Agua	156,79	---	---	214,70	106,84	<b>2,14</b>	
	Volumen	155					<b>4,14</b>	2,00
	%	<b>Kg</b>						<b>Kg</b>
	7970	0,9	4,01					0,080
	7935	0,90	4,01					0,080
mci 2005			0,68					0,014
								<b>47,876</b>
Rel a/c		0,3623						
Rel a/c		0,35233						

**Diseño corregido**

Pesos S.S.S.	Pesos S.S.S.	Volumen
x m3	x m3	diseño original
Kg	Kg	Kg
445,00	445,00	0,149
920,00	920,00	0,694
0,00	0,00	
0,00	0,00	
772,00	772,00	
0,00	0,00	
0,00	0,00	
256,79	256,79	0,257
	V. agua extra	0,100
	V. total	1,100
	V. agregados + ag	1,100
Exceso de volu	0,100	

	Pesos S.S.S.
	x m3
	Kg
Cemento	404,55
No. 67	836,36
No. 78	0,00
	0,00
A. natural	701,82
A. triturada	0,00
	0,00
Agua	233,44

**REL A/C= 0,58**

**HOJA DE CÁLCULO PARA PREPARAR UN BATCH EN LABORATORIO**

**DISEÑO 10060**  
2022/12/28

Materiales		Pesos S.S.S x m3	Condiciones de los Materiales		Pesos secos x m3	Pesos reales x m3	Batch	
		Kg	%Absorción	%Humedad	Kg	Kg	Kg	
Cemento		580,00	---	---	580,00	580,00	<b>11,60</b>	
pedra zarandeada	triturada	935,00	<b>3</b>	3,2	907,77	936,82	<b>18,74</b>	
arena zarandeada	A. natura	510,00	<b>4,2</b>	10,7	489,44	541,81	<b>10,84</b>	
	Agua	201,95	---	---	249,74	168,32	<b>3,37</b>	
	Volumen	155					<b>3,37</b>	
	%	<b>Kg</b>						<b>Kg</b>
	7970	0,9						0,104
	7935	0,90						0,104
mci 2005								0,014
								<b>44,539</b>
Rel a/c		0,3580						
Rel a/c		0,34819						

**Diseño corregido**

Pesos S.S.S. x m3	Pesos S.S.S. x m3	Volumen diseño original	Pesos S.S.S. x m3
Kg	Kg	Kg	Kg
580,00	580,00	0,194	Cemento
935,00	935,00	0,604	No. 67
0,00	0,00		No. 78
0,00	0,00		
510,00	510,00		A. natural
0,00	0,00		A. triturada
0,00	0,00		
201,95	201,95	0,202	Agua
	V. agua extra	0,000	
	V. total	1,000	
	V. agregados + ag	1,000	
			<b>REL A/C=</b>
			0,35
Exceso de volu	0,000		

5.3. Ficha técnica de la piedra triturada.

**ARIDO GRUESO PARA HORMIGÓN  
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD  
Y ABSORCIÓN DE AGUA  
INEN 857 - ASTM C 127**

<b>Tipo De Agregado:</b>	Piedra triturada #67
<b>Fuente:</b>	Santa Isabel - Mina Sánchez
<b>Fecha de Ensayo:</b>	17/11/2022
<b>Solicitado Por:</b>	Planta Holcim Machala

DATOS

A:	3005,50	gramos
B:	3100,00	gramos
C:	1877,40	gramos

<b>Ds:</b>	2460	kg/m <sup>3</sup>
<b>Dsss:</b>	2540	kg/m <sup>3</sup>
<b>D:</b>	2660	kg/m <sup>3</sup>
<b>Po:</b>	3,14	%

$$Ds: \frac{A}{B-C}$$

$$Dsss: \frac{B}{B-C}$$

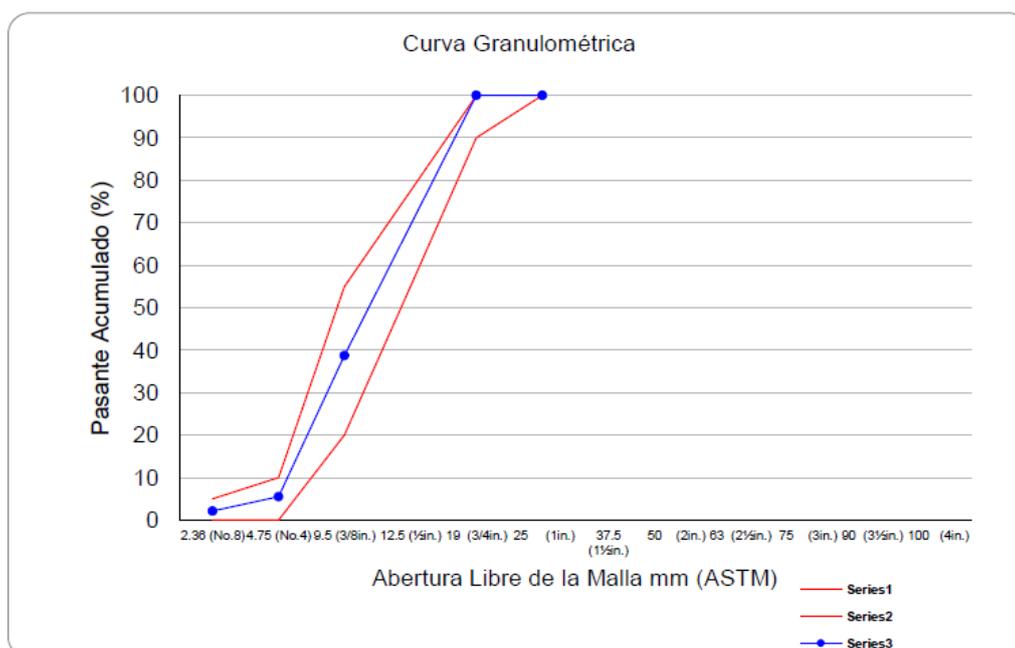
$$D: \frac{A}{A-C}$$

$$Po: \frac{B-A}{A} * 100$$

**Nomenclatura:**

- A: Peso en el aire de la muestra secada al horno
- B: Peso en el aire de la muestra en estado saturado superficialmente seco
- C: Peso en el agua de la muestra en estado saturado
- Ds: Densidad de Volumen a 23 C del árido grueso seco
- Dsss: Densidad de Volumen a 23 C del árido grueso en estado saturado superficialmente seco
- D: Densidad aparente del árido a 23 C .
- Po: Porcentaje de absorción de agua del árido grueso

Granulometría de Agregado Grueso			KMAT-H00-RC05		
Planta:	Machala	Norma de Ensayo: NTE INEN 696 - ASTM C136			
Agregado:	Piedra Triturada # 67		Fecha de Muestreo:	2022-11-17	
Fuente:	Santa Isabel		Fecha de Ensayo:	2022-11-18	
Muestra No:	1		Hora:	14:00	
Masa inicial (g):	5550,0		Realizado Por:	D. García	
Tamiz		Retenido	Retenido	Retenido	Pasante
INEN	ASTM	Parcial (g)	Parcial (%)	Acumulado (%)	Acumulado (%)
100 mm	4 in.	---	---	---	---
90 mm	3½ in.	---	---	---	---
75 mm	3 in.	---	---	---	---
63 mm	2½ in.	---	---	---	---
50 mm	2 in.	---	---	---	---
37.5 mm	1½ in.	---	---	---	---
25 mm	1 in.	0,0	0,0	0	100
19 mm	¾ in.	0,0	0	0	100
12.5 mm	½ in.	---	---	---	---
9.5 mm	3/8 in.	3399,5	61	61	39
4,75 mm	No. 4	1845,0	33	94	6
2,36 mm	No. 8	187,5	3	98	2
1,18 mm	No. 16	---	---	---	---
300 µm	No. 50	---	---	---	---
150 µm	No. 100	---	---	---	---
Bandeja		118,0	2	100	0
Masa final (g):	5550,0		Módulo de Finura	6,45	
Pérdida ≤0.5%: Ensayo válido					
Material más fino 75µm		0.70 %		INEN 697-ASTM C117	



#### 5.4 Ficha técnica de la arena zarandeada

## ARIDO FINO PARA HORMIGÓN DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE AGUA INEN 856 - ASTM C 128

Tipo De Agregado:	Arena zarandeada Rio Lavada
Fuente:	Santa Isabel - Mina Sanchez
Fecha de Ensayo:	17/11/2022
Solicitado Por:	Planta Holcim Machala

### DATOS

A:	479,70	gramos
B:	1278,80	gramos
S:	500,00	gramos
C:	1577,80	gramos

Ds:	2390	kg/m <sup>3</sup>
Dsss:	2490	kg/m <sup>3</sup>
D:	2650	kg/m <sup>3</sup>
Po:	4,23	%

$$Ds: \frac{A}{(B+S-C)}$$

$$Dsss: \frac{S}{(B+S-C)}$$

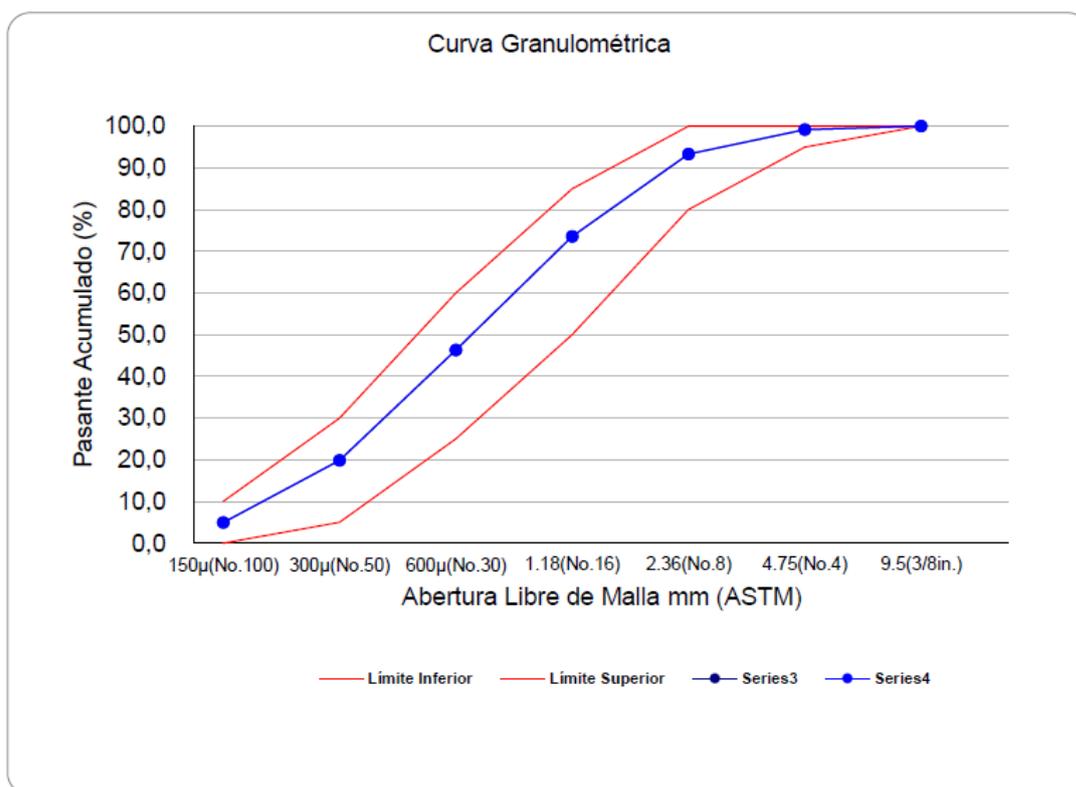
$$D: \frac{A}{(B+A-C)}$$

$$Po: \frac{S-A}{A} * 100$$

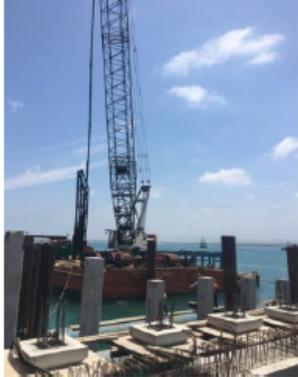
#### Nomenclatura:

- A: Peso en el aire de la muestra secada al horno
- B: Peso del matraz lleno de agua hasta la marca de calibración
- S: Peso en el aire de la muestra en estado saturado superficialmente seco
- C: Peso del matraz con la muestra lleno de agua hasta la marca de calibración
- Ds: Densidad de Volumen a 23 C del árido fino seco
- Dsss: Densidad de Volumen a 23 C del árido fino en estado saturado superficialmente seco
- D: Densidad aparente del árido fino a 23 C .
- Po: Porcentaje de absorción de agua del árido fino

Granulometría de agregado fino				KMAT-H00-RC05	
Planta:	Machala	Norma de Ensayo: NTE INEN 696 - ASTM C136			
Agregado:	Arena Zarandeada	Muestreo fecha:	2022-11-02		
Fuente:	Heredia	Ensayo fecha:	2022-11-03		
Muestra No:	1	Hora:	12:30		
Masa inicial (g):	750,0	Realizado por:	Angel Ramos		
Tamiz		Retenido	Retenido	Retenido	Pasante
INEN	ASTM	Parcial (g)	Parcial (%)	Acumulado (%)	Acumulado (%)
9,50 mm	3/8 in.	0,0	0	0	100
4,75 mm	No. 4	6,0	1	1	99
2,36 mm	No. 8	44,5	6	7	93
1,18 mm	No. 16	148,0	20	26	74
600 µm	No. 30	204,0	27	54	46
300 µm	No. 50	198,5	26	80	20
150 µm	No. 100	112,0	15	95	5
Bandeja		37,0	5	100	0
Masa final (g):	750,0	Módulo de Finura :	2,63		
Pérdida ≤0.3%	Ensayo válido				
Material más fino 75µm	2.86 %		INEN 697-ASTM C117		



## 5.5 Ficha técnica del cemento HE-HS



### Holcim Premium Portuario Tipo HE (HS)

El Cemento Holcim Premium Portuario Tipo HE (HS) es un cemento de alta resistencia inicial que se fabrica bajo la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2380. Esta norma establece los requisitos de desempeño que deben cumplir los cementos hidráulicos y los clasifica de acuerdo a sus propiedades específicas.

#### Especificaciones técnicas

Fecha de reporte 29.11.2022  
Período de Producción 01.11.2022 a 29.11.2022

#### Requisitos Químicos

La composición química para el cemento no está especificada en la NTE INEN 2380, sin embargo los constituyentes individuales molidos y mezclados para producirlo son analizados.

	NTE INEN 2380	Valor
SO <sub>3</sub> , % máx.	A	3.46
Na <sub>2</sub> O, % máx.	A	0.45
K <sub>2</sub> O, % máx.	A	0.44
MgO, % máx. [C114/ INEN 160]	A	0.94
Contenido Alcais Equivalente, % máx. [C114/ INEN 160]	A	0.71
Pérdida de Ignición, % máx. [C114/ INEN 160]	A	6.80
Contenido de C3A, % máx. [C114/ INEN 160]	A	5.80
Residuo Insoluble, % [C114/ INEN 160]	A	6.30
Cloro, % [C114/ INEN 160]	A	0.02

#### Requisitos Físicos

	NTE INEN 2380	Valor
Blaine, m <sup>2</sup> /kg,	A	485
Densidad, g/cm <sup>3</sup>	A	3.0
Cambio de longitud por autoclave, % máximo	0.80	-0.02
Tiempo de fraguado, método de Vicat		
Inicial, no menos de, minutos	45	170
Inicial, no más de, minutos	420	
Contenido de aire del mortero, en volumen, %	A	5
Resistencia a la Compresión, mínimo MPa		
1 día	12	15.2
3 días	24	29.8
7 días	A	36.6
28 días	A	44.6
Expansión en barras de mortero 14 días, % máx.	0.020	0.002
Resistencia a sulfatos, 6 meses, % máximo	0.05	0.03

\*NTE INEN 2380 es equivalente a ASTM C 1157

## Descripción del producto

MasterGlenium 7935 es un aditivo reductor de agua de alto rango basado en Policarboxilatos.

Es muy efectivo para producir mezclas de concreto con diferentes niveles de trabajabilidad y retención de asentamiento, incluyendo aplicaciones que requieren el uso de concreto autonivelantes.

Formulado con tecnología de última generación especializada en reducir y estabilizar el contenido de aire en mezclas de concreto.

Cumple con los requisitos de la norma ASTM C494 para aditivos tipo A, reductores de agua y tipo F, aditivos reductores de agua de alto rango.

## Campo de aplicación

- Concretos donde se requieran reducciones de agua del 5% al 40%.
- Concretos donde se requieran tiempos de fraguado normal.
- Concretos con alta fluidez y gran durabilidad.
- Concretos donde se requieran elevadas resistencias mecánicas y acabados superiores.
- Concretos donde se requiera estabilizar su contenido de aire.
- En la producción de mezclas de concreto autonivelantes.
- En la producción de mezclas de concreto que requieran aumentar la retención de asentamiento.
- Muy efectivo para mezclas de concreto con asentamientos de medio rango (150 a 200 mm), como en concretos de flujo libre.

## Características y beneficios

- Contenido de agua reducido para un nivel dado de trabajabilidad.

- Reducción de agua de tipo lineal en todo el rango de dosificación.
- Se puede utilizar en mezclas de concreto que requieran aditivos tipo A o F.
- Reología controlada.
- Se obtienen concretos cohesivos y sin segregación.

**MasterGlenium 7935** ayuda a la producción de un concreto de calidad proporcionando las siguientes ventajas especiales:

- Mejora la resistencia y durabilidad del concreto.
- Mejores características de acabado en pisos y en cualquier aplicación donde se utilicen encofrados deslizantes.
- Reducción de la necesidad de vibración.
- **MasterGlenium 7935** resulta efectivo ya sea como un aditivo único o como parte de un sistema de aditivos de **Master Builders Solutions**.
- Incremento en el desarrollo de las resistencias a la compresión y a la flexión en todas las edades.
- Beneficios económicos para todo el equipo de construcción, con mayor productividad y reducción de los costos variables.
- Reducción de contracciones y aumenta la vida útil de las estructuras.
- Reduce el contenido de agua para un asentamiento dado y reduce la segregación.
- Reduce el contenido de aire estabilizándolo de manera eficaz.
- Excelente desempeño en concretos proyectados por su alto poder de reducción de agua.

## Presentación

MasterGlenium 7935 está disponible en tambores de 208 L, IBC de 1.000 L y a granel.

## DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

MCI® 2005 es un aditivo inhibidor de corrosión, orgánico base agua destinado a la protección del refuerzo metálico en estructuras de hormigón.

Cuando se incorpora a la mezcla del hormigón, el MCI® 2005 migra hacia el refuerzo. Una vez ahí, forma una capa monomolecular que inhibe la reacción de corrosión tanto en el ánodo como en el cátodo de la célula de corrosión.

Este efecto puede ser cuantificado por el aumento de la concentración crítica de cloruro y la consiguiente reducción en la tasa de corrosión.

MCI®2005 ha recibido la designación USA BioPreferredSM ([www.biopreferred.gov](http://www.biopreferred.gov)).

## ENVASES

Recipientes de 19 litros (5 galones), 208 litros (55 galones) y 1040 litros (275 galones).

Almacenar alejado de la luz directa del sol y a temperatura ambiente por encima de la congelación y hasta los 55°C (131°F). Una vez almacenado adecuadamente, MCI®2005 tiene una vida útil de 24 meses. NO PERMITIR que el producto se congele.



## CÓMO FUNCIONA

MCI®2005 es un inhibidor de corrosión orgánico. Está considerado como ambiótico (mixto) ya que protege tanto las zonas anódicas como catódicas dentro de una célula de corrosión. MCI®2005 contiene una combinación de aminocarboxilatos que forman una película protectora sobre el refuerzo embebido retrasando así el inicio de la corrosión así como reduciendo la corrosión existente.

MCI®2005 es eficaz para aumentar la durabilidad y extender la vida de servicio de las estructuras de hormigón expuestas a ambientes corrosivos (carbonación, cloruros, y ataque atmosférico).

## DONDE UTILIZARLO.

MCI® 2005 se recomienda para:

- Todas las estructuras de hormigón armado, prefabricado, pretensado y postensado.
- Ambientes corrosivos incluida la exposición de sales de deshielo, agua subterránea salina, cloruros aéreos y carbonación.
- Estructuras marinas y costeras, autopistas y puentes, cubiertas de aparcamientos, pilotes, subestructuras, muelles, pilares, tuberías y postes de electricidad.

## VENTAJAS

- Producto de base biológica (67%), seguro y respetuoso con el medioambiente – permite al usuario ganar créditos LEED.
- Migra a través del hormigón hacia el refuerzo mediante acción capilar, difusión de vapor y atracción iónica.
- Dosis baja con un efecto mínimo sobre las propiedades del hormigón (Trabajabilidad y Resistencia).

## Descripción del producto

**MasterGlenium® 7970** es un aditivo reductor de agua de alto rango listo para usarse, pertenece a una nueva generación de aditivos patentados basados en la tecnología del policarboxilato. Es muy efectivo en la producción de concreto con diferentes niveles de manejabilidad incluyendo aplicaciones que requieren concreto autocompactante.

## Campo de aplicación

**MasterGlenium® 7970** es recomendado para las siguientes aplicaciones:

- Concretos donde se requieran reducciones de agua del 5% al 40%.
- Concretos donde se requieran tiempos de fraguado normal.
- Concretos con alta fluidez y gran durabilidad.
- Concretos donde se requieran elevados resistencias mecánicas y acabados superiores.
- Concreto que requiera el desarrollo de resistencias iniciales extremadamente altas (prefabricados, reparaciones de pavimentos de fast-track).
- En la producción de mezclas de concreto autonivelantes.
- En la producción de mezclas de concreto que requieran aumentar la retención de asentamiento.
- Muy efectivo para mezclas de concreto con asentamientos de medio rango (150 a 200 mm), como en concretos de flujo libre.

## Características y beneficios

- Cumple con la especificación ASTM C 494 para aditivos reductores de agua tipo A y aditivos reductor de agua de alto rango, Tipo F.
- Menor contenido de agua para una determinada manejabilidad.
- Reducción lineal de agua en todo el rango de

dosis recomendado.

- Puede usarse en una amplia variedad de mezclas de concreto que requieren aditivos Tipo A o Tipo F
- Rheología controlada.
- Desarrollo de resistencia inicial extremadamente alta.
- Produce concretos cohesivos y sin segregación
  - Reduce/ elimina la necesidad de vibración y curado por calentamiento.
- Incrementa la productividad de las operaciones de prefabricados.
- Permite el paso del tráfico más rápido para las reparaciones de pavimentos de concreto.
- Beneficios económicos a la construcción debido a una mayor productividad y reducción de costos variables.
- Incrementa la vida de servicio de las estructuras.

## Presentación

**MasterGlenium 7970** está disponible en IBC de 1.000 L.

## Datos técnicos\*

Forma	Líquida
Densidad aprox. a 20 °C	1,115 ± 0.01 kg/L
Color	Ambar

*\*Los datos técnicos reflejados son fruto de resultados estadísticos y no representan mínimos garantizados. Si se desean los datos de control, pueden solicitarse a nuestro departamento técnico.*

## Procedimiento de aplicación

**MasterGlenium 7970** debe añadirse a la mezcla, disolviendo el aditivo en la última porción del agua de amasado durante la elaboración del concreto. Puede aplicarse de manera manual o mediante

## 5.7. Ficha técnica del agua.



**Cliente:** HOLCIM ECUADOR S.A.  
MANUEL ZAMBRANO 200 Y AV. 6 DE DICIEMBRE  
Telf: 2482830

**Actividad principal del cliente:** FABRICACIÓN DE CEMENTOS  
HIDRÁULICOS, INCLUIDO CEMENTO DE  
PÓRTLAND, CEMENTO ALUMINOSO,  
CEMENTO DE ESCORIAS Y CEMENTO  
HIPERSULFATADO.

**Atn:** Ing. Jonathan Román

**Proyecto:** Planta Machala - Análisis Puntual de Agua

**Fecha de Recepción:** 24 Sep 2022

**Tipo de Muestra b):** 1 Muestra de Agua

**Fecha de Término de Análisis:** 05 Oct 2022

**Identificación Gruentec:** 2209545-AP002

**Fecha de Emisión del Informe:** 06 Oct 2022

Identificación de la muestra, cliente b):	AGUA POZO FRIORO	Fecha Medición	Método Adaptado de Referencia / Método Interno
Fecha de Muestreo b):	23 Sep 2022		
No. Reporte Gruentec:	2209545-AP002		

### Parámetros realizados en el Laboratorio

#### Físico Químico

Color Aparente APHA PtCo <sup>(1)</sup>	<5	27 Sep 2022	SM 2120 C / MM-AG-36
Color Real APHA PtCo <sup>(1)</sup>	<5	27 Sep 2022	SM 2120 C / MM-AG-36
Conductividad µS/cm <sup>(1)</sup>	726	26 Sep 2022	EPA 9050 A / MM-AG/S-02
Dureza Cálcica mg/l <sup>(1)</sup>	121	04 Oct 2022	SM 2340 B / MM-AG-21
Dureza total mg/l <sup>(1)</sup>	189	04 Oct 2022	SM 2340 B / MM-AG-21
pH Unidades de pH <sup>(1)</sup>	7.8	26 Sep 2022	SM 4500 H / MM-AG/S-01
Sólidos Disueltos Gravimétricos mg/l <sup>(1)</sup>	489	30 Sep 2022	SM 2540 C / MM-AG-47B
Turbidez NTU <sup>(1)</sup>	<4	27 Sep 2022	EPA 180.1 / SM 2130B / MM-AG-04

#### Aniones y No Metales

Alcalis como Na <sub>2</sub> O + 0.658 K <sub>2</sub> O mg/l <sup>(1)</sup>	87.7	03 Oct 2022	EPA 6020B / MET/ESP
Cloruro mg/l <sup>(1)</sup>	91	26 Sep 2022	EPA 300.1 / MM-AG/S-37
Nitrito mg/l <sup>(1)</sup>	<0.05	26 Sep 2022	EPA 300.1 / MM-AG/S-37
Sulfato mg/l <sup>(1)</sup>	67	26 Sep 2022	EPA 300.1 / MM-AG/S-37

5.8 Dosificación de concreto por saco de cemento y parihuela

<b>DOSIFICACIÓN DE CONCRETO POR SACO DE CEMENTO Y PARIHUELA</b>								
	Código de la mezcla	Cemento (saco en Kg)	Agua (L)	Arena (PARIHUELA)	Piedra triturada (PARIHUELA)	MCI (L)	Aditivo 7970 0,9% (kg)	Aditivo 7935 0,9% (kg)
NETINEN 2380 TIPO HS	10010	50	9,37	1,28	1,33	0,08	0,45	0,45
	10020	50	9,37	1,28	1,33	0,00	0,45	0,45
	10030	50	9,37	1,28	1,33	0,00	0,00	0,00
NETINEN 2380 TIPO GU	10040	50	12,00	1,20	1,31	0,08	0,45	0,45
	10050	50	12,00	1,20	1,31	0,00	0,00	0,00
	10060	50	14,51	0,61	1,02	0,06	0,45	0,45

PARIHUELA TIPO	
long	m
a	0,4
b	0,4
c	0,2
Volumen (m3)	0,032

PARIHUELA/Kg		
MATERIAL	DENSIDAD (Kg/m3)	PARIHUELA
ARENA	2390	0,01308
PIEDRA	2460	0,01270

RELACIONES DE LA MEZCLA				
	Código de la mezcla	CEMENTO	ARENA	PIEDRA
NETINEN 2380 TIPO HS	10010	1	1,96	2,09
	10020	1	1,96	2,09
	10030	1	1,96	2,09
NETINEN 2380 TIPO GU	10040	1	1,84	2,07
	10050	1	1,84	2,07
	10060	1	0,93	1,61