



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

*La Universidad Católica de Loja*

ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**Búsqueda de posibles usos sostenibles de arena de mar para concreto reforzado en vivienda de interés social.**

**AUTOR:** Valdivieso Bejarano, Jorge Eduardo

**DIRECTOR:** Maza, Bolívar Hernán, Ing.

LOJA –ECUADOR

2017



*Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>*

2017

## APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Bolívar Hernán Maza.  
**DOCENTE DE LA TITULACIÓN**

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: **Búsqueda de posibles usos sostenibles de arena de mar para concreto reforzado en vivienda de interés social** realizado por: Valdivieso Bejarano Jorge Eduardo ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, diciembre 2017

f).....

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Jorge Eduardo Valdivieso Bejarano, declaro ser autor (a) del presente trabajo de titulación: **Búsqueda de posibles usos sostenibles de arena de mar para concreto reforzado en vivienda de interés social**, de la Titulación de Ingeniería Civil, siendo M.Sc. Bolívar Hernán Maza director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: "Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la universidad.

f).....

Autor: Jorge Eduardo Valdivieso Bejarano

Cédula: 1104635394

## DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado en primer lugar a Dios por haberme dado una vida llena de bendiciones y ponerme en este momento tan importante de mi vida, de manera especial agradezco el apoyo incondicional de amada esposa, mi compañera por haberme apoyado en todos los momentos desde el inicio hasta el final de esta hermosa carrera; así con la ayuda de ella y de mis amados hijos, mi inspiración, mi luz juntos hemos derribado cada obstáculo puesto en nuestro camino.

A mi madre y hermana que constantemente están apoyándome a seguir adelante, depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento.

A todos mis amigos que gracias a sus palabras y su apoyo innegable, que durante el transcurrir de este camino nunca me han faltado en las diferentes circunstancias de la vida, en esos buenos y malos momentos.

Jorge Eduardo Valdivieso Bejarano

## **AGRADECIMIENTO**

A todas las personas que uno u otro modo colaboraron en la realización de este trabajo y especialmente al Ing. M.Sc.. Bolívar Maza Director de Tesis, Marco Guaya compañero de investigación y a la UTPL por su invaluable ayuda y apoyo.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CARÁTULA.....</b>	<b>i</b>
<b>APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABJO DE FIN DE TITULACIÓN.....</b>	<b>ii</b>
<b>DECLARACIÓN DE AUTORIA Y CESIÓN DE DERECHOS.....</b>	<b>iii</b>
<b>DEDICATORÍA.....</b>	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS .....</b>	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>xi</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTACT.....</b>	<b>2</b>
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>3</b>
<b>1. GENERALIDADES.....</b>	<b>4</b>
1.1 Introducción.....	4
1.2 Objetivos.....	6
1.2.1 Objetivos Generales.....	6
1.2.2 Objetivos Específicos.....	6
1.3 Antecedentes.....	6
1.4 Problemática.....	8
1.5 Justificación.....	9
1.6 Metodología.....	10
<b>CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>12</b>
2.1 Concreto.....	13
2.1.1 Concreto reforzado.....	14
2.1.2 Ventajas y desventajas del concreto reforzado.....	15
2.1.3 Tipos de Concreto .....	17
2.1.3.1 Concreto Ordinario.....	17
2.1.3.2 Concreto de Alto Desempeño.....	17
2.1.3.3 Durabilidad del concreto .....	18

2.2 Fenómenos que afectan la durabilidad del concreto.....	20
2.2.1 Ataques Químicos al Concreto.....	21
2.2.1.1 Ataque por ácidos.....	22
2.2.1.2 Ataque por aguas puras .....	23
2.2.1.3 Ataque por sales orgánicas e inorgánicas.....	24
2.2.1.4 Ataque por sulfatos.....	25
2.3 Corrosión del acero en el hormigón armado.....	27
2.3.1 Iniciación y propagación de la corrosión.....	29
2.3.2 Tipos de Corrosión.....	30
2.3.3 Tipos de Corrosión Electroquímica.....	31
2.4 Fenómenos que contribuyen a la corrosión.....	31
2.4.1 Carbonatación.....	31
2.4.2 Técnicas para determinar la carbonatación.....	33
2.5 Ataque por cloruros.....	34
2.5.1 Cloruros en la mezcla.....	38
2.6 El agrietamiento y sus efectos en la corrosión del acero.....	40
2.7 Métodos de prevención y control del concreto.....	42
2.7.1 Recubrimiento.....	42
2.7.2 Inhibidores de Corrosión.....	43
2.7.3 Adiciones de materiales minerales.....	43
2.8. Dosificación del Hormigón.....	45
2.8.1 Método de dosificación del ACI.....	46
2.9 Viviendas de interés social.....	53
<b>CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA.....</b>	<b>55</b>
3.1 Arena de Mar.....	56
3.2 Agregados de Cantera triturados fino y grueso.....	56
3.3 Granulometría de los Agregados.....	58
3.4 Densidad de los agregados.....	60
3.5 Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) en el agregado fino y grueso.....	62
3.6 Resistencia a la abrasión o al desgaste de los agregados.....	64
3.7 Determinación de sulfatos en el agregado grueso y fino.....	65
3.8 Determinación de pH, sulfuros y cloruros del agua de mezcla.....	66



3.9 Caracterización y determinación de presencia de sales en la arena de mar mediante el ensayo de Difracción de Rayos X (DRX).....	67
3.10 Extracción de núcleos (testigos) de la zona de estudio.....	69
3.11 Diseño de las mezclas de hormigón.....	71
3.12 Calculo de la presencia de cloruros solubles en agua en testigos extraídos en la zona y especímenes elaborados para la investigación.....	74
3.13 Porosidad del concreto.....	75
<b>CAPÍTULO 4: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>79</b>
4.1. Comparación de materiales y proporciones de las mezclas.....	80
4.2. Comparación de resistencias de las mezclas con respecto al asentamiento.....	82
4.3 Análisis y comparación de la porosidad del concreto con respecto a la resistencia a la compresión.....	84
4.4 Análisis de los resultados del ensayo de cloruros solubles en agua de las muestras de ensayo.....	87
4.5 Análisis del pH de las mezclas en el posible proceso de un frente de carbonatación.....	89
4.6 Elección de la mejor opción de diseño en base a parámetros de economía y resistencia.....	90
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>93</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>95</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>96</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>99</b>
<b>Anexo I. Ensayos de laboratorio realizado a los agregados.....</b>	<b>100</b>
<b>Anexo II. Ensayo de DRX de la arena de mar.....</b>	<b>116</b>
<b>Anexo III. Ensayos químicos del agua de la zona de estudio.....</b>	<b>121</b>
<b>Anexo IV. Diseños de las mezclas de concreto y ensayos a las probetas de estudio .....</b>	<b>124</b>
<b>Anexo V. Anexo fotográfico.....</b>	<b>138</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Normas ASTM para el uso de componentes en concreto.....	14
Tabla 2.1.3.3. Clases de concreto según la agresividad del medio ambiente.....	19
Tabla 2.2 Agresividad de productos químicos.....	22
Tabla 2.2.1.1 Ácidos orgánicos e inorgánicos dañinos para el concreto.....	23
Tabla 2.2.1.4 a) Clase de exposición para ataque de acuerdo a la Norma EN 206(Norma Europea).....	27
Tabla 2.2.1.4. b) Valores límites recomendados para el hormigón según EN 206.....	27
Tabla 2.5.a Clases de exposición para corrosión inducida por cloruros de acuerdo a la norma EN 206.....	35
Tabla 2.5.b Clase de exposición para corrosión inducida por cloruros procedentes de agua de mar EN-206 .....	36
Tabla 2.5.C: Límites máximos tolerables en el contenido de cloruros del concreto, para minimizar el riesgo de corrosión en el acero de refuerzo, según ACI (American Concrete Institute ) 201, ACI 222 y ACI 318.....	37
Tabla 2.5.1.a Requisitos para condiciones de exposición especiales.....	39
Tabla 2.5.1.b. Valores límites recomendados para hormigón según EN 206 (clases XD1 A XD3 y XS1 a XS3).....	40
Tabla 2.8.1.b Revenimientos Recomendados para Varios Tipos de Construcción.....	47
Tabla 2.8.1.c Valores del contenido de agua y aire para diferentes revenimiento y tamaño de agregado.....	48
Tabla 2.8.1.d). Relación agua-cemento máxima y resistencia de diseño mínima para varias condiciones de exposición.....	50
Tabla 2.8.1.d)-1. Dependencia entre la relación agua-material cementante y la resistencia a la compresión del concreto .....	51
Tabla 2.8.1.f). Volumen de Agregado Grueso por Volumen Unitario de Concreto....	52
La tabla 3.2: Valores de módulo de finura y tamaño máximo nominal obtenidos del análisis granulométrico.....	59
Tabla 3.2.b. Módulo de finura de las mezclas de arenas.....	60
Tabla 3.4.a) Valores obtenidos de densidad y absorción del agregado grueso.....	61
Tabla 3.4.b) Valores obtenidos de densidad y absorción del agregado fino.....	61

Tabla 3.5.a) Valores de masa unitaria suelta y compactada de los agregados utilizados.....	63
Tabla 3.5.b) Valores de masa unitaria suelta y compactada de los agregados mezclado que se utiliza en el diseño de las mezclas de concreto.....	63
Tabla 3.6 Valores de resistencia a la abrasión del agregado grueso.....	64
Tabla 3.7 Valores de resistencia a la disgregación de los materiales en solución de sulfato de sodio.....	65
Tabla 3.8 Resultados de ensayo químico del agua.....	66
Tabla 3.10 Valores de resistencia y pH de núcleos extraídos en la zona de estudio...	70
Tabla 3.11. Resultados de proporciones para las mezclas de Hormigón según su tipo.....	73
Tabla 3.12. Contenido de cloruros en las mezclas de concreto.....	75
La tabla 3.13. Muestra los resultados del ensayo de porosidad.....	78
Tabla 4.1 Muestra una comparación entre las diversas mezclas de concreto.....	81
Tabla 4.2 Muestra los valores de resistencia a la compresión de las mezclas de diseño.....	82
Tabla 4.3 Resultado del ensayo de porosidad al concreto.....	85
La tabla 4.4 Muestra los resultados del ensayo determinación de cloruros según ASTM(American Society for Testing and Materiales) C 1152 en las mezclas de concreto de acuerdo a su clase.....	88
Tabla 4.5 Muestra los resultados de pH de las mezclas de diseño.....	89
La tabla 4.6.a) Muestra los precios de los materiales que usan en las construcciones de la zona de estudio y los que se utilizan en Loja.....	91
Tabla 4.6 b) Muestra la los valores de los precios de distintas mezclas.....	91

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> La formación de etringita ha provocado la destrucción del recubrimiento del hormigón.....	26
<b>Figura 2.</b> Proceso de corrosión del acero de refuerzo en hormigón.....	29
<b>Figura 3:</b> Modelo de Tuutti.....	30
<b>Figura 4:</b> La carbonatación del hormigón armado se produce avanzando desde el exterior.....	33
<b>Figura 5:</b> Grietas del hormigón en edificios de Bahía de Caraquez.....	41
<b>Figura 6:</b> Bahía de Caraquez, lugar donde se recolecta la arena de mar.....	56
<b>Figura 7:</b> Cantón Jipijapa, cantera Picoaza lugar de procedencia de los agregados.....	57
<b>Figura 8:</b> Cantera Catamayito vía Catamayo-Gonzanamá.....	58
<b>Figura 9.</b> DRX de la arena mar.....	68
<b>Figura 10.</b> DRX de la arena mar con periodo de lavado de siete días.....	68
<b>Figura 11.</b> Extracción de núcleos en edificios de la zona de estudio.....	71
<b>Figura 12.</b> Cuadro comparativo de las proporciones de las diferentes mezclas de concreto.....	73
<b>Figura 13.</b> Muestra una comparación de proporciones de materiales entre los diseños de las diferentes mezclas.....	81
<b>Figura 14.</b> Muestra una comparación de resistencia entre las cinco probetas de cada diseño de concreto.....	83
<b>La figura 15.</b> Muestra la comparación entre la resistencia promedio de cada mezcla versus el asentamiento de las mismas.....	83
<b>Figura 16.</b> Muestra la relación entre porosidad y resistencia promedio de las mezclas.....	86
<b>Figura 17.</b> Muestra una comparación de porosidad y resistencia promedio de las mezclas.....	86
<b>Figura 18.</b> Relación entre porosidad y $f'c$ .....	87
<b>Figura 19.</b> Cambio de color de concreto indicando la no presencia del fenómeno de carbonatación.....	90
<b>Figura 20.</b> Muestra las mezclas que cumple con requisitos de economía y resistencia.....	92

**Figura 21.** Muestra la reducción en precios luego de aplicar los factores reducción de 50% y 60%.....92

## RESUMEN

El objetivo es diseñar una mezcla de hormigón usando arena de mar enfocado a sectores de la construcción deprimidos económicamente. El sismo de Pedernales ocurrido el 16 de Abril del 2016 ha puesto en evidencia el uso inadecuado de este material en las ciudades del litoral ecuatoriano provocando carbonatación, envejecimiento temprano en el concreto y oxidando el acero de refuerzo. Partiendo de esta problemática surge la necesidad de plantear el presente estudio con la finalidad de atenuar el costo económico de las construcciones en las provincias de la costa ecuatoriana.

La investigación pretende determinar si el uso de arena de mar es aplicable al diseño de mezclas para concreto reforzado con acero y que cumpla características de resistencia a la compresión simple, durabilidad, sin que se presenten factores oxidantes para el acero de refuerzo, con apego estricto a las normativas vigentes.

Se realizaron ensayos para caracterizar física y mecánicamente los agregados entre ellos la arena de mar. Se diseñaron mezclas de hormigón bajo la normativa del American Concrete Institute (ACI) que cumplan parámetros de presencia de sales, pH y porosidad.

**Palabras claves:** agregados, arena de mar, resistencia a la compresión, durabilidad, porosidad, pH, mezclas de hormigón.

## **ABSTRACT**

The goal is to design a concrete mix using sea sand focused on economically depressed construction sectors. The Pedernales earthquake occurred on April 16, 2016 has revealed the inadequate use of this material in the cities of the Ecuadorian Litoral causing early aging carbonation in the concrete and oxidizing the reinforcing steel. Based on this problem arises the need to present this study with the purpose of reducing the economic cost of construction in the provinces of the Ecuadorian coast.

The investigation aims to determine if the use of the sea sand is applicable to the design of mixtures for concrete reinforced with steel and that it meets characteristics of resistance to the simple compression, durability, without presenting / displaying oxidative factors for the steel of reinforcement, with attachment strict to current regulations.

Tests were carried out to physically and mechanically characterize the aggregates, including sea sand. Concrete mixes were designed under the American Concrete Institute (ACI) regulations that meet parameters for the presence of salts, pH and porosity.

**Key words:** aggregates, sea sand, compressive strength, durability, porosity, pH, concrete mixtures.

## **CAPÍTULO 1: GENERALIDADES**



## **1. GENERALIDADES**

### **1.1 Introducción.**

El concreto es el material de construcción más utilizado en la mayoría de sociedades y aún más en las industrializadas, se puede utilizar en una u otra forma para casi todas las estructuras de dimensiones grandes o pequeñas. Las propiedades físicas y mecánicas del concreto, la baja necesidad de mantenimiento lo han hecho el material más competitivo entre todos. Sin embargo, en presencia de ambientes altamente agresivos, su durabilidad se acorta debido a la presencia de patologías como: carbonatación, actividad microbiana por la presencia de sales en un estado caracterizado por porosidad excesiva, fisuración fuera de los rangos de tolerancia, bajo valor del pH.

La durabilidad del concreto expuesto a un ambiente marino o fabricado con materiales procedentes del mar e impactado por agentes externos agresivos, es uno de los temas poco abordados en la actualidad a nivel nacional y de gran importancia por el número de estructuras que se construyen en este ambiente. La región Litoral ecuatoriana en el Océano Pacífico cuyo ambiente ha sido poco estudiado a través de parámetros que lo definan y relacionen con la durabilidad de las estructuras de concreto, en nuestro país a consecuencia del sismo de Pedernales de 7.8 grados en la escala de Richter ocurrido el 16 de abril del 2016 que afectó a la provincia de Manabí, dejó en evidencia el gran problema de las construcciones expuestas a ambientes marinos, debido a la alta vulnerabilidad de las estructuras abonadas por la carbonatación desarrollada en un entorno caracterizado por la evasión de las normas que gobiernan el diseño, la construcción y la explotación de estructuras civiles y otras obras, esto deja ver el colapso de algunas estructuras de la zona. El análisis hecho por las instituciones encargadas ha llegado a la conclusión de que las estructuras construidas presentan problemas de corrosión, edificaciones construidas con arena de mar sin tratamientos, problemas de permeabilidad y el mayor de estos problemas es que se detectó que la mayoría de construcciones no tenían asistencia técnica y no siguen en ningún caso la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC).

El objetivo principal de este trabajo es determinar los posibles usos sostenibles de la arena de mar para concreto reforzado aplicado a viviendas de interés social, verificando que estos materiales que están expuestos a ambientes de agresividad ya sea de manera interna o externa lleguen a cumplir los requerimientos de durabilidad, compresión simple, porosidad y economía dados en el ACI.

Para el desarrollo de esta investigación se ha realizado una extensa y minuciosa consulta bibliográfica sobre el tema de presencia y penetración de cloruros en el concreto, durabilidad, vida útil, porosidad y agregados de origen marino o con presencia de cloruros que serán utilizados en el estudio de este trabajo.

La metodología a seguir para lograr el objetivo del presente trabajo consiste en hacer primero una clasificación y caracterización de los materiales que serán utilizados en el concreto, determinar la presencia de cloruros presentes en la arena de mar mediante ensayos de Difracción de Rayos X. La principal aportación de esta investigación es hacer un estudio del concreto midiendo sus características por medio de la elaboración de cilindros para ensayo de laboratorio (compresión simple) empleando diferentes dosificación en las cuales se variarían las relaciones de material fino que se adecuarán a las características de la mezcla y normas técnicas vigentes para este tipo de ambientes agresivos; permitiendo un análisis comparativo de ensayos de compresión simple para determinar cuál es la dosificación óptima y la que mejor se adapta a las características de la zona ; cumpliendo los requerimientos de durabilidad.

Se investiga para obtener dosificaciones para hormigón que permitan controlar la actividad de los cloruros en el concreto y la exposición a ambientes agresivos, evitando la corrosión del acero de refuerzo o despasivación del mismo.

## **1.2 OBJETIVOS.**

### **1.2.1 Objetivos Generales.**

Obtener una mezcla de hormigón fabricado con arena de mar que sea capaz de resistir los factores impactantes presentes; para posibles usos en viviendas de interés social.

### **1.2.2 Objetivos Específicos.**

- Encontrar los factores que impactan al concreto, en su calidad inicial a través de la caracterización química y física de la arena.
- Conocer el valor de resistencia a la compresión simple, porcentajes de cloruros y sales presentes en el hormigón puesto en obra, a través de ensayos de laboratorio en núcleos de hormigón extraídos de dos edificios en Bahía de Caráquez.
- Encontrar tres dosificaciones óptimas para concreto estructural, que resistan factores agresivos que destruyen la resistencia inicial, a través de mezclas porcentuales de arena de mar con agregados de otra procedencia

## **1.3 Antecedentes.**

McCorman –Russell 2011 afirman.

La mayoría de gente piensa que el concreto se ha estado usando durante pocos siglos, pero no es así. Los romanos utilizaron una especie de cemento, llamado puzolana, antes del nacimiento de Cristo. Encontraron grandes depósitos de ceniza volcánica arenosa cerca del monte Vesubio y en otros lugares de Italia. Cuando mezclaron este material con cal viva y agua, además de arena y grava, dejando endurecer la mezcla, se produjo una sustancia rocosa que utilizaron como material de construcción. Se podría pensar que resultaría una especie de concreto relativamente pobre, en comparación con las normas actuales, pero algunas estructuras romanas siguen de pie hoy en día. Un ejemplo es el

Panteón (un edificio dedicado a todos los dioses) que se encuentra en Roma y se terminó en el año 126 de nuestra era.

El arte de hacer concreto puzolánico se perdió durante la edad media y fue resucitado hasta los siglos XVII Y XIX. En Inglaterra se descubrió en 1976 un depósito de piedra de cemento natural que fue vendida como "cemento romano".

El verdadero gran adelanto para el concreto ocurrió en 1824 cuando un albañil inglés llamado Joseph Apsdin, después de largos y laboriosos experimentos, obtuvo una patente para un cemento que él llamo cemento portland, debido a que su color era muy similar al de la piedra de una cantera en la isla Portland, en la costa inglesa. El hizo su cemento con ciertas cantidades de arcilla y piedra caliza que pulverizó y quemó en la estufa de su cocina, moliendo después la escoria resultante para obtener un polvo fino. En los primeros años tras su invención, ese cemento se usó principalmente en estucos.

Este extraordinario producto fue adoptado poco a poco por la industria de la construcción y ni siquiera fue introducido en Estados Unidos sino hasta 1868; el primer cemento portland no se fabricó en Estados Unidos sino hasta la década de 1870.

William E. Ward construyó el primer edificio de concreto reforzado en Estados Unidos en Portchester, Nueva York, en 1875. En 1883 presentó un artículo ante la American Society of Mechanical Engineers donde afirmaba haber obtenido la idea del concreto reforzado al observar a trabajadores ingleses en 1867 intentando limpiar el concreto endurecido de sus herramientas de hierro.

Por su gran durabilidad, sus prestaciones en cuanto se refiere a trabajabilidad, economía y adaptabilidad a los diferentes procesos constructivos y ambientes el concreto, ha sido el material más empleado a nivel mundial. Sin embargo uno de los problemas mayores que afecta a la vida útil del concreto armado es la corrosión del acero de refuerzo, la cual se presenta cuando el hormigón se encuentra expuesto a ambientes agresivos, en especial frente a la presencia y exposición a iones cloruros y/o dióxido de carbono los cuales se presentan en

zonas costeras debido al contacto del concreto con las sales del agua de mar o las provenientes del ambiente.

En particular este trabajo se ve enfocado en encontrar una mezcla de concreto adecuado para que soporte las características y solicitaciones a las que se encuentra un hormigón en condiciones agresivas, en nuestro caso la presencia de cloruros en la mezcla de hormigón, por la utilización de materiales propios de la zona (arena de mar), esta dosificación deberá cumplir con los requisitos de las normas vigentes en Ecuador y las internacionales más empleadas en nuestro medio.

#### **1.4 Problemática**

En las zonas costeras del Ecuador existe una gran demanda de vivienda producto de las actividades turísticas y de la sobrepoblación, lo que ha llevado al sector de la construcción legalmente establecido y como la informal a la sobreexplotación de las canteras naturales de los materiales empleados en el hormigón, causando el elevado costo de los materiales pétreos que sirven para la elaboración del mismo (grava y arena); provocando que se busque otras alternativas que solucionen o bajen el costo de la construcción.

La alternativa escogida en estos sectores para reemplazar a la arena fina de cantera o de río ha sido la arena de mar o arena de playa, que es un material que se lo encuentra en grandes cantidades sin ningún costo económico su explotación y su fácil acceso han hecho que este material sea el seleccionado para la elaboración de hormigón para viviendas. No obstante la utilización de arena de mar o incluso en algunos casos la incorporación de agua de mar para la preparación de la mezcla de concreto acarrea un sin número de problemas debido a las características físicas y químicas propias de la arena de mar; su alto contenido en sales, sulfatos son los que afectan al desempeño y durabilidad de las mezclas de hormigón. Así, con el agravante de la acción de la temperatura, que es constante en casi todo el tiempo durante el año, asociado al clima tropical de nuestro litoral y a la acción de los vientos de estas zonas se tienen todos los factores que propician ambientes altamente agresivos para que se produzca

corrosión en el acero de refuerzo y fallas en las características de la masa de hormigón.

La incorporación de cloruros en la mezcla de concreto proviene de dos fuentes principales, en la primera los iones de cloruros están presentes en la mezcla de hormigón, y la segunda provienen desde el exterior esta última debido a la exposición ambientes marinos, esta presencia de cloruros en el concreto provoca y propicia el fenómeno de la corrosión y a su vez afecta a la durabilidad del hormigón que viene dada por su disminución en la resistencia a la compresión simple del hormigón. El efecto directo más nocivo por la presencia de cloruros en la mezcla de hormigón endurecido está constituido por la cristalización de las sales dentro de sus poros, la cual puede producir rupturas debidas a la presión ejercida por los cristales de sal.

### **1.5 Justificación**

En la actualidad en la costa ecuatoriana, el sector de la construcción deprimido económicamente se ve forzado a utilizar la arena de mar como agregado para concreto debido al alto costo de los agregados de cantera, evidentemente así lo demuestra la evaluación visual estructural rápida practicada en Bahía de Caráquez, San Vicente, en la provincia costera de Manabí. Los usuarios no disponen de ningún recurso técnico y tecnológico que ayude a evitar la pérdida del valor de resistencia del concreto ( $f'_c$ ). El concreto es afectado por la actividad química de sulfatos, cloruros y otros componentes, que inciden potencialmente en la pérdida de su resistencia del concreto, consecuentemente se ven afectados los elementos estructurales de una vivienda. Existe suficiente información bibliográfica y tecnológica que facilitan la presente investigación. Contribuir a mejorar la calidad de las viviendas sociales es tarea de todos, principalmente de las universidades.

La presente investigación se desarrolla, con la finalidad de apoyar y aportar técnicamente a los problemas que ha traído consigo los eventos dados recientemente en nuestro país debido al terremoto y que han dejado en evidencia el uso de arena de mar como material para la elaboración de hormigón utilizado para viviendas sin sustentabilidad técnica.

Se pretende aportar con un diseño adecuado que cumpla con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC)

## **1.6 Metodología**

Para alcanzar los objetivos propuestos se lleva a cabo el cumplimiento del siguiente orden:

Fase 1: Recopilación de Información.

- Recopilación y clasificación de información que sirve para el desarrollo del tema y tiene como objetivo recopilar material teórico, bibliografía, videos, artículos técnicos especializados, y todo lo referente a conocimientos previos en el ataque de cloruros y sulfatos en el concreto.
- Determinación de las cualidades tanto físicas, como de composición del suelo, climáticas y de temperatura del lugar de estudio.

Fase 2: Caracterización de los materiales y ensayos.

- Selección de los materiales utilizados para las mezclas de hormigón, se los clasifica y caracteriza. Además de realizar los diferentes ensayos de rigor solicitados por las normas vigentes (cloruros, sulfatos, pH y porosidad) por las que se guía este trabajo.
- Seleccionada la arena de mar se realiza los ensayos de difracción de rayos x, lo que permite determinar su nivel de salinidad, para poder determinar los porcentajes de agregados y materiales cementantes y obtener una dosificación que cumpla las condiciones de durabilidad y resistencia a la compresión.

Fase 3: Obtención de una dosificación que se adapte a las condiciones de la zona de estudio.

- Con los materiales ensayados y caracterizados se procede a hacer cinco diferentes dosificaciones, con diferentes proporciones de agregados y diferente cantera, permitiendo una mezcla que se adapte a las condiciones y solicitudes del lugar.

- Con las mezclas diseñadas se realiza análisis comparativo de economía, resistencia a la compresión simple, porosidad, pH que permite seleccionar la mezcla que se adapte a las características de la zona de estudio, cumpliendo con los objetivos de esta investigación.

Este trabajo de investigación se divide en cinco capítulos:

El capítulo 1 hace una breve introducción de la problemática abordada en la investigación, analizando los antecedentes que se han presentado para que existan problemas en las construcciones de la provincia de Manabí, permitiendo justificar este estudio.

En el capítulo 2 describe las bases científicas y teóricas que se tienen en consideración para desarrollar este trabajo.

El capítulo 3 está dedicado a la selección, descripción y ensayos de los materiales los cuales permiten hacer una mezcla de concreto óptima; se realiza los ensayos que requiere la investigación.

El capítulo 4 se selecciona la mejor mezcla de hormigón la cual deberá cumplir con los requisitos de resistencia y durabilidad además de soportar todos los posibles agentes nocivos debido a la presencia de arena de mar. Para esto se hace análisis comparativo de economía, presencia de cloruros, porosidad lo que permite asentir si el uso de arena de mar es factible para viviendas de interés social.

En el capítulo 5 se presentan las recomendaciones y conclusiones sobre la implementación de arena de mar en mezclas de concreto, sus efectos, beneficios en cuanto al uso de este material.

Finalmente se tienen los anexos que constan de los ensayos y diseños que se realiza en esta investigación.



## **CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE**

## 2. Estado del Arte

### 2.1 Concreto

El concreto hidráulico preparado con cemento portland es de apariencia simple pero de una naturaleza interna muy compleja, su constitución es básicamente agregados pétreos, agua y cemento. En la reacción química de hidratación entre el agua y el cemento se forman silicatos hidratados de calcio (C-S-H) que se enlazan y endurecen en un solo conjunto con los agregados, dando como resultado un material con apariencia similar al de una roca (Kosmatka, 2004). A este material al momento de su amasado, se le puede realizar adiciones (hasta un 35% del peso de cemento, dependiendo del tipo de adición) y aditivos (< 5% del peso del cemento), la finalidad de las adiciones y de los aditivos es mejorar alguna de las propiedades del hormigón (Villarino, 2011, pág. 83).

Las diferentes propiedades del concreto están en función de los tipos de materiales empleados y de sus características particulares, sin embargo, se menciona que el concreto en conjunto es más que la suma de sus componentes y una vez dosificado y mezclado influye en la formación de su estructura la relación a/c, tiempo y tipo de curado y grado de hidratación del cemento, entre otros (Mays, 1992).

Blanco (2010) señala las principales funciones que desempeñan cada uno de los componentes del hormigón, así como su contenido en porcentaje de volumen:

- **Cemento** : 10 – 15%
  - Llenar los huecos del árido, aglomerado.
  - En estado fresco lubrica la pasta y da cohesión.
  - La pasta endurecida cierra los huecos del árido dando impermeabilidad.
  - Proporciona resistencia al hormigón endurecido.
- **Áridos (arena + grava):** 65 – 75%
  - Forma el esqueleto inerte que da rigidez para resistir acción de cargas, resistir abrasión y el clima proporcionando durabilidad.

- Mejora la estabilidad dimensional al reducir cambios de volumen de la pasta.
- **Agua :** 15 - 20%
  - Confiere plasticidad en estado fresco.
  - Hidrata el conglomerante.
  - Curado del hormigón en ambiente saturado.
- **Aire incluido:** 1 – 2 %
- **Aditivos y adiciones (eventuales):** % variable

La selección de los componentes para elaborar concreto se lleva a cabo con base en la evaluación indicada por las normas correspondientes (Tabla 2.1).

**Tabla 2.1** Normas ASTM para el uso de componentes en concreto

<b>Componente</b>	<b>ASTM</b>
Cemento	C 150
Agua	C 1602
Agregado fino	C 33
Agregado grueso	C 33
Adiciones minerales	C 989, C 618, C 1240

Fuente: Normas ASTM

Elaboración: El autor

### **2.1.1 Concreto Reforzado.**

El concreto es un material relativamente frágil, con una baja resistencia a la tensión comparada con la resistencia a la compresión. Esto impide su utilización económica en elementos estructurales sometidos ya sea en toda su sección (como el caso de elementos de amarre) o sobre parte de sus secciones transversales (como en vigas u otros elementos sometidos a flexión). (Arthur H. Nilson, Duodécima edición, pág. 2).

Para contrarrestar esta limitación, en la segunda mitad del siglo XIX se consideró factible utilizar acero para reforzar el concreto debido a su alta resistencia a la tensión, principalmente en los sitios donde la baja resistencia a la tensión del

concreto limitaría la capacidad portante del elemento. El refuerzo, conformado usualmente por barras circulares de acero con deformaciones superficiales apropiadas para proporcionar adherencia, se coloca en formaletas antes de vaciar el concreto. Una vez las barras estén completamente rodeadas por la masa de concreto endurecido, comienzan a formar parte integral del elemento. La combinación resultante de los dos materiales, conocida como *concreto reforzado*, combina muchas de las ventajas de cada uno: el costo relativamente bajo, la buena resistencia al clima y al fuego, la buena resistencia a la compresión y la excelente capacidad de moldeo del concreto con la alta resistencia a la tensión y la aún mayor ductilidad y tenacidad del acero. Es precisamente el casi ilimitado rango de usos y posibilidades del concreto reforzado en la construcción de edificios, puentes, presas, tanques, depósitos y muchas otras estructuras. (Arthur H. Nilson, Duodécima edición, pág. 2)

### **2.1.2 Ventajas y desventajas del concreto reforzado**

Para aprovechar con éxito el concreto, el proyectista, arquitecto, ingeniero civil y personas que intervienen en la construcción deben estar familiarizados con los puntos débiles y fuertes del concreto.

Jack C. McCormac – Russell H. Brown en su libro *Concreto Reforzado*, octava edición expresan algunas de las ventajas y desventajas del concreto reforzado:

- **Ventajas del concreto reforzado**
  - Tiene resistencia considerable a la compresión simple por unidad de costo en comparación con muchos otros materiales.
  - El concreto reforzado tiene gran resistencia a las acciones del fuego y el agua y, de hecho, es el mejor material estructural que existe para los casos en que el agua este presente.
  - Las estructuras de concreto reforzado son muy rígidas.
  - Requiere poco mantenimiento.

- Comparado con otros materiales, tiene una larga vida de servicio. Bajo condiciones apropiadas, las estructuras de concreto reforzado pueden usarse indefinidamente sin reducción en sus capacidades de carga. Esto puede explicarse por el hecho de que la resistencia del concreto no disminuye con el tiempo, sino que en realidad aumenta con los años.
  - Es prácticamente el único material económico disponible para zapatas, losas de piso, muros de sótano, pilares y construcciones similares.
  - Una característica especial del concreto es la posibilidad de colarlo en una variedad extraordinaria de formas que van desde simples losas, vigas y columnas, hasta grandes arcos y cascarones.
  - En muchas regiones, el concreto aprovecha para su elaboración la existencia de materiales locales baratos (arena, grava y agua) y requiere cantidades relativamente pequeñas de cemento y acero de refuerzo, las cuales puede ser necesario conseguir en otras regiones del país.
  - Se requiere mano de obra de baja calificación para su montaje, en comparación con otros materiales, como el acero estructural.
- **Desventajas del concreto reforzado**
    - El concreto tiene resistencia muy baja a la tensión (10-15%) $f'_c$ , por lo que requiere el uso de un refuerzo de tensión.
    - Se requieren cimbras para mantener el concreto en posición hasta que se endurezca lo suficiente. Además, pueden requerir obras falsas o apuntalamiento para apoyar la cimbra de techos, muros, pisos y estructuras similares hasta que los miembros de concreto adquieran suficiente resistencia para soportarse por sí mismo.
    - La baja resistencia por unidad de peso de concreto conduce a miembros pesados. Esto se vuelve muy importante en estructuras de gran claro, en donde el gran peso muerto tiene un efecto muerto en los momentos flexionantes.

- Similarmente, la baja resistencia por unidad de volumen del concreto implica que los miembros serán relativamente grandes, lo que es de una considerable importancia en edificios altos y en edificios de grandes claros.
- Las propiedades del concreto varían ampliamente debido a las modificaciones en su proporción y mezclado. Además, el colado y curado del concreto no son tan cuidadosamente controlados como la producción de otros materiales; por ejemplo, el acero estructural y la madera laminada.

### **2.1.3 Tipos de Concreto**

Para el análisis de las propiedades de afectación que se investigan en este trabajo se ha visto conveniente el hacer una clasificación de los concretos en dos clases, siendo estos concretos ordinarios y concretos de alto desempeño.

#### **2.1.3.1 Concreto Ordinario**

El concreto ordinario es elaborado con componentes básicos y se pueden modificar sus propiedades con la variación del proporcionamiento de arena, grava o relación agua-cemento a/c. En este tipo de concreto regularmente no se usan adiciones minerales, puzolánicas o aditivos químicos. Los métodos de diseño de la mezcla empleados son el método del Volumen Absoluto del ACI y la relación agua cemento varía de 0,4 a 0,7. Estos concretos resultan con pesos volumétricos de  $2200 \frac{Kg}{m^3}$  a  $2400 \frac{Kg}{m^3}$ , el revenimiento es menor a 15 cm sin usar aditivos, la resistencia a compresión varía entre 15 MPa y 40 MPa y el módulo de elasticidad se ubica entre 14000 MPa y 41000 MPa (Kosmatka, 2004).

#### **2.1.3.2 Concreto de alto desempeño.**

En condiciones de exposición severas es necesario un tipo de concreto con características que garanticen el óptimo desempeño de la estructura. Como respuesta a este problema inicia el desarrollo de los concretos de alto desempeño o concretos de alto comportamiento (HPC por sus siglas en inglés, Concreto de alto desempeño). El HPC generalmente se diseña con el método

propuesto por Metha y Aïtcin (1990) bajo los principios de estabilidad volumétrica e impermeabilidad con relaciones a/c que oscilan entre 0.23 a 0.40. En sus componentes se incluye, además de los básicos, aditivos químicos, cementantes adicionales, minerales o puzolánicos (ASTM C 618, C 989, C 1240). Son necesarios procesos de mezclado, transporte, acabado y curado diferentes a los utilizados para el concreto ordinario. Debido a los aspectos mencionados un HPC alcanza resistencias entre 70 MPa y 140 MPa y el módulo de elasticidad es mayor a 40000 MPa. El HPC en general tiene resistencia más alta que un concreto ordinario, sin embargo, para este tipo de concretos la durabilidad es un parámetro de relevante importancia. La durabilidad de un HPC radica en la densidad de la pasta de cemento y la presencia de poros pequeños y mejor distribuidos (Aïtcin, 2003). Lo anterior dificulta la penetración de cloruros o carbonatos, mejora su desempeño ante ciclos de congelamiento-deshielo y aumenta su resistencia a las sollicitaciones mecánicas las cuales están muy por encima de las ordinarias.

Las adiciones minerales comúnmente usadas en un HPC es el humo de sílice, ceniza volante, escoria de alto horno, metakaolin, puzolanas naturales, las cuales aumentan la resistencia a corto y largo plazo, reducen el calor de hidratación, mejoran la trabajabilidad y disminuyen la permeabilidad debido a la formación de compuestos secundarios (Metha, 1990).

### **2.1.3.3 Durabilidad del concreto**

Las obras de concreto armado deben diseñarse y proyectarse no solo para resistir cargas o acciones mecánicas para las cuales se las concibió sin alcanzar su estado límites ultimo y de servicio, sino también su estado límite de durabilidad, es decir, deben proyectarse para que resistan acciones ambientales de carácter físico o químico que llegando a afectarlas reducen de manera significativa su vida de servicio.

La durabilidad del hormigón puede definirse, por tanto, como la capacidad que tiene este de resistir a la acción del ambiente, ataques químicos, físicos biológicos, o cualquier proceso que tienda a deteriorarlo. Así, un hormigón durable será el que conserve su forma original y su capacidad resistente de servicio en el tiempo, cuando se encuentra expuesto a estas acciones. (Fernández Cánovas Manuel, 2013, Hormigón, Décima edición, pág. 445).

Manuel Fernández Cánovas afirma:

La durabilidad del hormigón está muy relacionada con la porosidad abierta del mismo y la distribución y tamaño de sus capilares. La permeabilidad de un hormigón, aunque en sí misma, no es una propiedad indicativa de la durabilidad si está claramente relacionada con los mecanismos de penetración y transporte de sustancias agresivas. Los poros intercomunicados existentes en el hormigón juegan un papel muy importante en la durabilidad dado, que a través de ellos se realiza el transporte de líquidos, sustancias disueltas o gases.

La durabilidad de un elemento es un proceso complejo en el cual están involucrados:

- Las condiciones ambientales a las que van estar expuesto.
- Sus materiales componentes y el mismo.
- El diseño estructural de la obra
- La calidad de ejecución de esta, incluyendo la compactación y curado.
- Los sistemas de protección adoptados.

La normativa colombiana desde el punto de vista de durabilidad, clasifica el concreto según se muestra en la tabla 2.1.3.3.

**Tabla 2.1.3.3.** Clases de concreto según la agresividad del medio ambiente

Agresión del medio ambiente	Clases de concreto por durabilidad	Nivel de resistencia	
		MPa	$\frac{Kg}{m^2}$
Muy severa	Durable	>35	>350
Severa	Resistente	28 – 35	280 – 350
Moderada	Normal	21 – 28	210 – 280
Ligera	Pobre	10 - 21	100 - 210

Fuente: Diego Sánchez de Guzmán, 2011, Durabilidad y Patología del Concreto.

Elaboración: El autor.



## 2.2 Fenómenos que afectan la durabilidad del concreto

El hormigón al estar expuesto a ambientes agresivos puede presentarse procesos de deterioro. Estos pueden ser clasificados como físicos, causados por la exposición a cambios ambientales extremos tales como ciclos de hielo/deshielo o cambios artificiales como la exposición al fuego; químicos, causados por ataque de ácidos y/o sulfatos, agua, o reacción de álcali-árido; biológicas y estructurales (presencia de bacterias, sobrecargas, ciclos de cargas, etc.). La corrosión del acero de refuerzo está ligada con los procesos de deterioro del hormigón, debido a que conduce al agrietamiento y delaminación del material y además reduce su adhesión al refuerzo.

Algunos de los fenómenos mencionados se presentan a continuación. (A. M. Aguirre, R. Mejía de Gutiérrez, 2013, Durabilidad del hormigón armado expuesto a condiciones agresivas)

- **Ciclos hielo – deshielo:** el agua al helarse experimenta un incremento de volumen de 9 por ciento. Si el agua se encuentra llenando parcialmente los poros de hormigón y el espacio libre ocupado por el aire es igual o superior a ese 9 por ciento, al producirse la helada existirá espacio suficiente para absorber la expansión y, por lo tanto, no se producirán tensiones en el hormigón que puedan dañarlo; sin embargo, si el grado de saturación es elevado y el espacio libre reducido, la expansión del agua se encontrará impedida y las tensiones a que quedará sometido el hormigón podrá llevarlo al agotamiento (Fernández Cánovas Manuel, 2013, Hormigón, Décima edición, pág. 452).
- **Reacción álcali-árido:** los agregados que contienen ciertos constituyentes pueden reaccionar con los hidróxidos alcalinos en el concreto. La reactividad es potencialmente perjudicial solo cuando produce una expansión significativa (Mather, 1975). Esta reactividad álcali-agregado (RAA) se presenta en dos formas-reacción álcali-sílice (RAS) y reacción álcali-carbonato (RAC). La RAS es más preocupante que la RAC por que la ocurrencia de agregados que contienen minerales reactivos de sílice es más común. Los agregados de carbonatos reactivos con álcalis tienen una composición específica que es muy común. (Diseño y control de mezclas de concreto PCA, 2004)

### 2.2.1 Ataques Químicos al Concreto

La resistencia que tiene el hormigón al ataque químico bajo la acción de ciertas sustancias está ligada y depende de la permeabilidad del concreto, de la distribución y tamaño de sus poros.

Esta agresión al concreto proviene de dos formas fundamentales: la primera proviene de los compuestos del hormigón ya sea proveniente de los agregados o del agua de amasado que pueden traer consigo sales o sustancias perjudiciales que afectan a la composición química de la masa, las segundas provienen del medio ambiente como la presencia gases provenientes de zonas industriales que acarrea consigo sales y material que afecta la estructura del hormigón provocando daños como la corrosión del acero, la carbonatación etc.

Muchos agentes químicos son muy agresivos para el hormigón cuando se encuentran en disolución y en concentraciones superiores a ciertos valores críticos. Estos mismos agentes cuando se encuentran en estado sólido no perjudican al hormigón con el cual está en contacto. (Fernández Cánovas Manuel, 2013, Hormigón, Décima edición, pág. 466).

La agresividad de un determinado producto químico se incrementa, cuando la temperatura del mismo aumenta, la velocidad de flujo agresivo en contacto con el hormigón crece, el hormigón presenta una compactación deficiente, ha tenido un mal curado, hay alternancias de humedad y sequedad, las armaduras se encuentran corroídas, etc. Esta agresividad disminuye, si se ha empleado en el hormigón una relación agua-cemento baja, el tipo de contenido de cemento son adecuados al medio, y el hormigón tiene baja absorción y permeabilidad. El grado de agresividad de los productos químicos, según su naturaleza, se indican a modo de guía en la tabla siguiente. (Fernández Cánovas Manuel, 2013, Hormigón, Décima edición, pág. 466).

**Tabla 2.2 Agresividad de productos químicos**

Velocidad de ataque a 20°C	Ácidos Inorgánicos	Ácidos Orgánicos	Soluciones Alcalinas	Soluciones Salinas	Varios
<b>Rápida</b>	Clorhídrico Fluorhídrico Nítrico Sulfúrico	Acético Láctico Fórmico		Cloruro de aluminio	
<b>Moderada</b>	Fosfórico	Tánico	Hidróxido sódico >20%	Nitrato amónico, sulfatos amónico, sódico, magnésico, Cálcico.	Bromo(gas)
<b>Lenta</b>	Carbónico		Hidróxido sódico 10 a 20% Hipoclorito sódico	Cloratos amónico y magnesio Cianuro sódico	Cloro (gas) Agua de mar
<b>Despreciable</b>		Oxálico Tartárico	Hidróxido sódico <10% Hipoclorito sódico Hidróxido amoniaco	Cloruros cálcico y sódico Nitrato de zinc Cromato sódico	Amoniaco (liquido)

Fuente: Fernández Cánovas Manuel, 2013, Hormigón, Décima edición, pág.466.  
Elaboración: El autor.

### 2.2.1.1 Ataque por Ácidos

El cemento portland, en general no tiene una buena resistencia a la presencia de ácidos; no obstante, puede tolerar algunos ácidos débiles, si la exposición a estos es ocasional.

El mecanismo de deterioro del concreto causado por ácidos, generalmente es el resultado de una reacción entre estas sustancias (agente agresor) y todos los compuestos cálcicos (hidróxido de calcio, silicato cálcico hidratado, y aluminato cálcico hidratado), del cemento portland hidratado, que se convierten en sales cálcicas de ácido actuante. (Diego Sánchez de Guzmán, 2011, Durabilidad y Patología del Concreto, Capítulo 6, pág. 126)

En la tabla siguiente se indican algunos de los ácidos orgánicos e inorgánicos principales que causan daños en el concreto.

**Tabla 2.2.1.1** Ácidos orgánicos e inorgánicos dañinos para el concreto

<b>Ácidos Inorgánicos</b>	<b>Ácidos Orgánicos</b>
Ácido clorhídrico	Acido aceitico
Ácido sulfhídrico	Ácido láctico
Ácido sulfúrico	Ácido oxálico
Acido sulfuroso	Ácido tánico
Ácido carbónico	Ácido fórmico
Ácido nítrico	Ácido húmico
Ácido fosfórico	
Ácido fluorhídrico	
Ácidos brómico y crómico	

Fuente: Fernández Cánovas Manuel, 2013, Hormigón, Décima edición, pág.466.  
Elaboración: El autor.

### **2.2.1.2 Ataque por aguas puras**

Las aguas puras o blandas procedentes del deshielo o de lluvias en zonas no industriales, tienen una gran capacidad de disolución ( $1,6 \frac{g}{l}$  a  $20^{\circ}C$ ) sobre el hidróxido de calcio procedente de la hidratación de los silicatos y del cal libre y sobre y hidróxido de magnesio del hormigón. La agresividad de estas aguas depende de su pureza, es decir, de la carencia de sustancias disueltas. La agresividad del agua de lluvia se ve incrementada por el contenido de anhídrido carbónico y, aún más, por el anhídrido sulfuroso procedente de los gases de combustión; en ambos casos, aparte de ser aguas blandas son además ácidas. Otras aguas agresivas son las procedentes de plantas de desalinización de agua de mar o plantas de destilación. (Fernández Cánovas Manuel, 2013, Hormigón, Décima edición, pág. 470)

### 2.2.1.3 Ataque por sales orgánicas e inorgánicas

- **Sales orgánicas:** las sales orgánicas son combinaciones químicas de triglicéridos y de ácidos grasos. Su origen pueden ser vegetal o animal y su viscosidad puede ser muy variable. Estos compuestos reaccionan con el hidróxido de calcio dando lugar a las sales cálcicas de ácidos grasos o jabones. Por supuesto que el grado de ataque dependerá de la posibilidad de penetración de las mismas en el hormigón y en este sentido cuanto más pequeño sea el diámetro de los poros y más viscoso sea el aceite o grasa menor será la posibilidad de ataque. La temperatura actúa desfavorablemente debido a que tiende a fluidificar a estos productos permitiendo que penetren con más facilidad. Como medidas de protección contra el ataque se recomiendan: la fabricación de hormigones muy compactos y cerrados, el empleo de cementos con adiciones que fijen la cal y que reduzcan la porosidad, y la utilización de curados en húmedo eficaces que den lugar a un buen cierre de poros por efecto de los geles. (Fernández Cánovas Manuel, 2013, Hormigón, Décima edición)
- **Sales inorgánicas:** las sales inorgánicas se producen por la reacción entre un ácido y una base. En ellas cabe distinguir una parte básica, o catión, que puede reaccionar con aniones hidroxilo y una parte ácida, o anión, que reacciona con cationes cálcicos. Las sales pueden ser neutras, ácidas, o básicas dependiendo del carácter de sus componentes. Al actuar una sal sobre un hormigón puede dar lugar a la formación de productos que pueden ser solubles o, por el contrario, insolubles y expansivos. El grado de corrosión depende del tipo de aniones o de cationes que tenga la sal, del tipo de cemento, de la permeabilidad del hormigón, de la concentración de la sal y la temperatura. (Fernández Cánovas Manuel, 2013, Hormigón, Décima edición)

#### 2.2.1.4 Ataque por sulfatos

Las sales sólidas no atacan al concreto, pero cuando están presentes en solución, pueden reaccionar con la pasta de cemento de hidratado. Particularmente comunes son los sulfatos de sodio, potasio, magnesio y calcio, los cuales se presentan en el suelo o en el agua freática. Puesto que la solubilidad del sulfato de calcio es baja, las aguas freáticas con un contenido alto de sulfatos contienen otros sulfatos además de sulfato de calcio. La importancia de esto se halla en el hecho de que esos otros sulfatos reaccionan con los diversos productos de la hidratación del cemento y no solo con el  $\text{Ca(OH)}_2$ . (Neville. Adam M, Tecnología del concreto, 1995, capítulo 10).

Este fenómeno se hace presente cuando el hormigón se encuentra en presencia y expuesto a aguas subterráneas, lagos, pozos o suelos que contienen iones de sulfato. Estos pueden penetrar en el hormigón y reaccionar con los componentes de la matriz cementicia del hormigón causando reacciones químicas expansivas.

El ataque por sulfatos se manifiesta con una pérdida progresiva de la resistencia de la pasta de cemento debido a la pérdida de cohesión entre los productos de hidratación. Además, los productos expansivos generan agrietamientos en el hormigón; cuando esto sucede la permeabilidad del hormigón incrementa, permitiendo así la entrada de otros agentes que pueden acelerar el deterioro. (A.M Aguirre, R. Mejía de Gutiérrez, Durabilidad del hormigón armado expuesto a condiciones agresivas).

El hidróxido de calcio y los aluminosilicatos presentes en el cemento son los más susceptibles a la ataque por sulfatos.

Según el documento, durabilidad del hormigón armado expuestos a condiciones agresivas los iones de sulfato pueden reaccionar con el hidróxido de calcio para formar yeso y con los aluminatos de calcio para formar etringita. Esta última reacción es más perjudicial, ya que produce efectos expansivos en el hormigón; sin embargo, el mecanismo por el cual la etringita causa expansión es aún

controvertido. Debido a esta reacción los cementos con alto contenido de  $C_3A$  (aluminato tricalcico), del orden del 8% o más no se recomiendan para ser usados en ambientes que puedan estar contaminados de sulfatos.



Figura 1: La formación de etringita ha provocado la destrucción del recubrimiento del hormigón.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Por lo expuesto anteriormente uno de los factores importantes que influye para prevenir el ataque de sulfatos es la calidad de hormigón. El empleo de baja relación agua-cemento reduce la permeabilidad y dificulta el ingreso de los iones de sulfato interior de la masa de concreto; el uso de adiciones puzolánicas, cenizas volantes, escorias aumenta la resistencia contra el ataque de sulfatos.

La Norma Europea define tres clases de ataque químico los cuales se detallan en la tabla 2.2.2.4.a):

**Tabla 2.2.1.4. a)** Clase de exposición para ataque de acuerdo a la Norma EN 206

Clase	Descripción
XA1	Ambiente químico ligeramente agresivo
XA2	Ambiente químico modernamente agresivo
XA3	Ambiente químico altamente agresivo

Fuente: Norma EN 206(Norma Europea).

Elaboración: El autor.

La Norma EN 206 nos da recomendaciones de valores límites recomendados para la fabricación de hormigón de acuerdo al tipo de exposición.

**Tabla 2.2.1.4. b)** Valores límites recomendados para el hormigón según EN 206

Clase	Máxima relación a/c	Resistencia Mínima	Contenido de cemento $\left(\frac{Kg}{m^2}\right)$
<b>XA1</b>	0.55	C 30/37	300
<b>XA2</b>	0.5	C 30/37	320
<b>XA3</b>	0.45	C 35/45	360
<b>Otros requisitos</b>	Cementos resistentes a sulfatos		

Fuente: EN 206 (Norma Europea).

Elaboración: El autor.

### 2.3 Corrosión del acero en el hormigón armado

El concreto en condiciones normales proporciona a las armaduras embebidas en él una adecuada protección contra la corrosión, debido a que el oxígeno presente en el concreto reacciona con el acero y forman una capa fina o película de óxido que es conocida como capa de pasivación y que protege a la armadura de cualquier corrosión posterior.



La corrosión del acero de refuerzo embebido en hormigón obedece a un proceso electroquímico. Para que se dé lugar a la corrosión se requiere la presencia de zonas anódicas, catódicas y un electrolito para formar una celda de corrosión. En esta se da un proceso de óxido-reducción; la zona anódica corresponde al proceso de oxidación, donde hay una pérdida de electrones; a su vez la reacción catódica corresponde al proceso de reducción, donde los electrones producidos en el ánodo se combinan con determinados iones de electrolito, y se produce una ganancia de electrones. (A.M Aguirre, R. Mejía de Gutiérrez, Durabilidad del hormigón armado expuesto a condiciones agresivas).

En el hormigón armado, la conexión metálica para el flujo de electrones del ánodo al cátodo se da en el mismo acero estructural, mientras que el hormigón toma la función de electrolito, el cual debe estar suficientemente húmedo para permitir la migración de los iones, además es indispensable suficiente oxígeno para que se lleve a cabo el proceso catódico. Los iones de hidroxilo presentes en la reacción catódica reaccionan con  $Fe^{2+}$  y producen hidróxido ferroso el cual a su vez reacciona con el oxígeno y el agua presentes en el hormigón produciendo hidróxido férrico. (A.M Aguirre, R. Mejía de Gutiérrez, Durabilidad del hormigón armado expuesto a condiciones agresivas).

Estos productos férricos, contribuyen al deterioro del hormigón. El hidróxido férrico incrementa el volumen del acero del refuerzo embebido (2 veces o más) y, por tanto genera esfuerzos de tensión que producen agrietamientos en el hormigón. Cuando se produce el óxido férrico hidratado su volumen aumenta aún más, hasta 10 veces del volumen original. En esta etapa el hormigón se agrieta hasta que hay delaminación y deja expuesto el acero de refuerzo. (A.M Aguirre, R. Mejía de Gutiérrez, Durabilidad del hormigón armado expuesto a condiciones agresivas).

Cuando en el concreto existe corrosión hay efectos que se manifiestan de manera diferente y que pueden ocurrir de manera simultánea o no:

- Expansión del acero de refuerzo.
- Fisuración interna del concreto.

- Disminución de la capacidad mecánica de concreto.
- Baja adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo.
- Reducción de la sección transversal del acero de refuerzo.

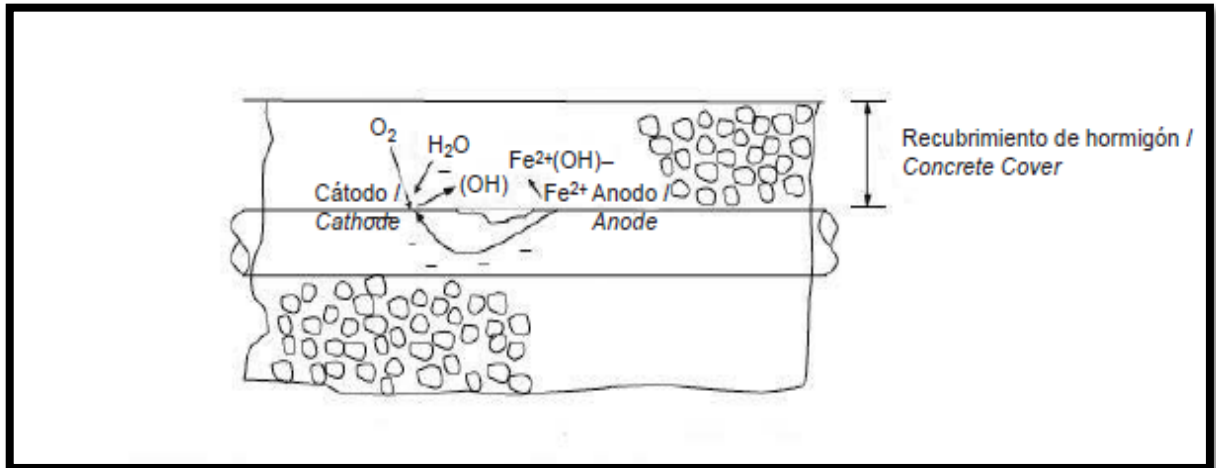


Figura 2. Proceso de corrosión del acero de refuerzo en hormigón.

Fuente: Tomado de EL-Reedy, M. A: Steel Reinforced Structures.

Elaboración: El autor.

### 2.3.1 Iniciación y propagación de la corrosión

El modelo de Tuutti para la vida útil de estructuras de hormigón armado considera dos etapas, la primera la etapa de iniciación y la segunda la etapa de propagación de la corrosión en el hormigón, tal cual se aprecia en la figura 2.

- **Iniciación:** en esta etapa los agentes agresivos ( $\text{CO}_2$  e iones de cloruros) ingresan a la matriz cementicia. La duración de esta fase depende de la calidad y profundidad del recubrimiento de hormigón y la velocidad de penetración de los agentes agresivos. (A.M Aguirre, R. Mejía de Gutiérrez, Durabilidad del hormigón armado expuesto a condiciones agresivas).
- **Propagación:** en esta etapa se da la destrucción de la capa pasiva del acero, y la corrosión ocurrirá únicamente si el agua y el oxígeno están presentes en la superficie del refuerzo hasta que se alcanza un nivel inaceptable. (A.M Aguirre, R. Mejía de Gutiérrez, Durabilidad del hormigón armado expuesto a condiciones agresivas).

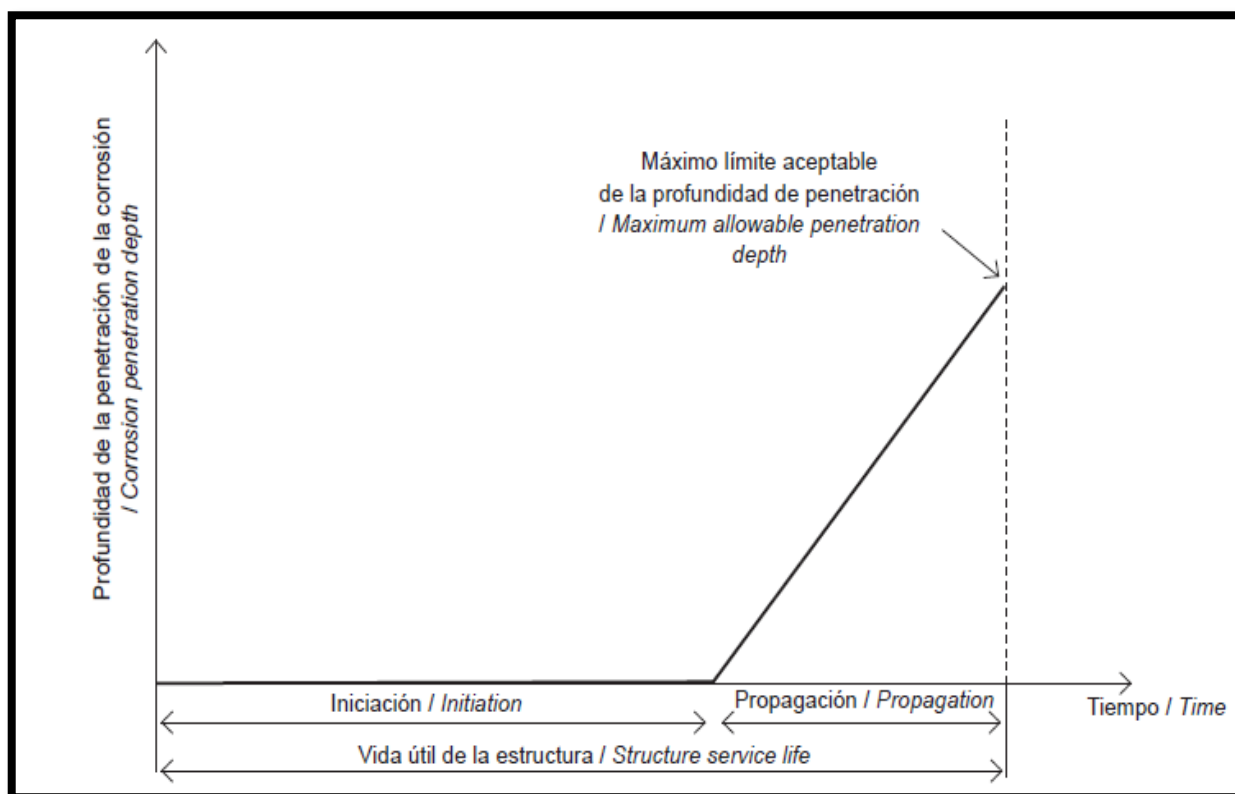


Figura 3: Modelo de Tuutti

Fuente: Tomado de Bertolini et al. Corrosion of Steel in Concrete; 2004.

Elaboración: El autor.

### 2.3.2 Tipos de Corrosión

- **Corrosión Química:** de acuerdo con Castro Borges, la corrosión química ocurre debido al ataque de sistemas no electrolíticos; como por ejemplo, gases, y vapores a temperaturas que impiden su condensación sobre la superficie metálica o por líquidos no conductores de la corriente eléctrica.
  
- **Corrosión Electroquímica:** la corrosión electroquímica es una reacción química que ocurre en un medio acuoso y en la que hay transferencia de electrones e iones. Este, es el caso, que se da en el acero de refuerzo embebido dentro del concreto. (Diego Sánchez de Guzmán, 2011, Durabilidad y Patología del Concreto)

### 2.3.3 Tipos de corrosión electroquímica

De acuerdo con la manera en que se produce la corrosión del acero de refuerzo dentro del concreto y su apariencia, se presenta dos de los tipos más importantes de corrosión en el acero esto bajo a la afectación de cloruros y carbonatación basados en los libros *Durabilidad y patología del concreto (De Guzmán Sánchez Diego)* :

- **Corrosión Uniforme:** la corrosión uniforme o generalizada es resultado de una pérdida total de la película pasivadora, que resulta de los fenómenos de carbonatación y/o presencia excesiva de iones cloruro. Pero, también puede ser el resultado de la lixiviación de la pasta de cemento de un concreto, por la acción de aguas puras o ligeramente ácidas.
- **Corrosión por picaduras:** la corrosión por picaduras puede definirse como un tipo de corrosión localizada, en el que la película pasivadora se destruye por alguna heterogeneidad, diferencia de composición de metal, o el ingreso de iones de cloruro. El ataque se manifiesta, como su nombre lo indica, en forma de picaduras estrechas y profundas que son la consecuencia de una zona anódica que se corroe, mientras el resto del metal esta pasivo.

## 2.4 Fenómenos que contribuyen a la corrosión

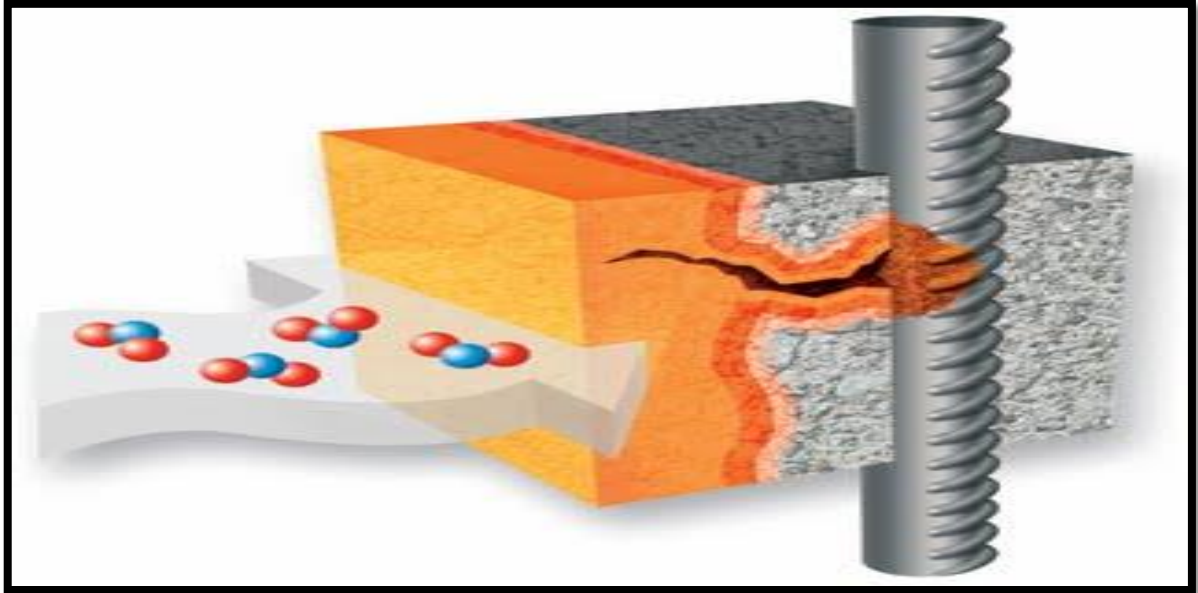
### 2.4.1 Carbonatación

La alta alcalinidad de hormigón, que promueve la formación de una capa de óxidos pasivantes sobre el acero, es debida principalmente a la portlandita formada durante la hidratación de los compuestos anhídridos del cemento y a los hidróxidos de sodio y potasio presentes. Estas sustancias sitúan el pH de la fase acuosa contenida en los poros del hormigón en los valores entre 12,6 y 14, en el extremo más alcalino de la escala de pH. (Galán García Isabel, Carbonatación del Hormigón: combinación de CO<sub>2</sub> con las fases hidratadas del cemento y frente de cambio de pH, Tesis Doctoral, 2011).

La carbonatación ocurre cuando el  $\text{CO}_2$  presente en la atmósfera ingresa al hormigón, este fenómeno se puede dar con mayor presencia en las ciudades con gran presencia industrial y ambiente urbano grande, debido a la gran presencia de gases en las mismas.

Como se mencionó anteriormente el alto pH del concreto (de orden 13 promedio), provee una protección contra la corrosión del acero embebido en el concreto, pero cuando el pH del hormigón decrece a un valor aproximado a 9 es cuando se inicia el proceso de carbonatación. Para que este proceso ocurra el dióxido de carbono tiene que estar en contacto con el agua y los componentes alcalinos presentes en los poros del concreto.

La velocidad de carbonatación depende de factores ambientales y factores relacionados al hormigón mismo. Entre los factores ambientales más importantes se encuentra la humedad relativa; el proceso de difusión del  $\text{CO}_2$  no se producirá en hormigones que estén totalmente saturados de agua y el  $\text{CO}_2$  en hormigones totalmente secos no reacciona, es por ello que la humedad relativa ideal para propiciar el fenómeno está entre el 50% y el 70%. La concentración de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera puede variar desde 0,03% para ambientes rurales y más de 0,1% para ambientes urbanos, estos últimos tienen una mayor incidencia para que se presente la carbonatación y, por último, un incremento de la temperatura podría acelerar notablemente la velocidad de carbonatación. (A.M Aguirre, R. Mejía de Gutiérrez, Durabilidad del hormigón armado expuesto a condiciones agresivas).



Fotografía 4: La carbonatación del hormigón armado se produce avanzando desde el exterior

Fuente: <http://nicepricesl.blogspot.com/2012/10/como-reparar-elementos-de-hormigon.html>.

Elaboración: El autor.

La cantidad de cemento es determinante no solo por el efecto que tiene sobre la porosidad del hormigón sino también por la capacidad que tiene al fijar el  $\text{CO}_2$ , como se verá más adelante. El tipo de cemento también influye en las condiciones de avance de la carbonatación, ya que el contenido en aluminatos y álcalis de las adiciones puede modificar la velocidad de avance del frente. La cantidad necesaria de  $\text{CO}_2$ , para bajar el pH hasta rangos casi neutros, en los que las armaduras dejan de estar protegidas; variará en la función de la reserva alcalina que el cemento aporte al hormigón, la cual depende tanto del tipo como la cantidad de cemento utilizado. (García Galán Isabel, Carbonatación del Hormigón: Combinación de  $\text{CO}_2$  con las fases hidratadas del cemento y frente de cambio de pH, 2011)

#### **2.4.2 Técnicas para determinar la carbonatación**

El método más utilizado para la medida de la carbonatación, en su relación con la prevención de la corrosión, es el empleo de un indicador de pH obtenido a partir de una disolución al 1% de fenolftaleína en alcohol etílico. Al pulverizar la disolución sobre el hormigón, según el color que adquiera, se puede identificar

si el pH en esa zona está por encima de 9, es decir, manteniendo la pasividad del acero o si, por el contrario, el pH se encuentra por debajo de 8 poniendo en riesgo el acero. Mediante este método se puede medir la profundidad de la zona de pH inferior a 8 denominada habitualmente “profundidad de carbonatación”, tal como recomienda las normas UNE 112011:1994 Y UNE-EN 14630:2007. (García Galán Isabel, Carbonatación del Hormigón: Combinación de CO<sub>2</sub> con las fases hidratadas del cemento y frente de cambio de pH, 2011).

Mediante el indicador de pH (solución de fenolftaleína al 1% en alcohol etílico) podemos determinar las áreas donde exista presencia de carbonatación, las áreas donde el pH es mayor a 9 se tornan de color violeta, mientras las áreas carbonatadas serán aquellas donde no se aprecia cambio de color es decir el concreto mantiene su color original.

## **2.5 Ataque por Cloruros**

Los cloruros, al igual que los sulfatos son sales inorgánicas que abundan en la naturaleza, y por esa razón, suelen hallarse en los componentes del concreto y en las aguas y suelos que tienen contacto con las estructuras, e incluso en ciertos ambientes atmosféricos. Si bien ambos tipos de sales pueden tener efectos perjudiciales sobre el concreto, su modo de actuar es diferente: en el caso de los sulfatos, se trata de reacciones químicas entre estos y ciertos productos de hidratación del cemento, que generan expansiones capaces de agrietar y desintegrar el concreto, en tanto que los efectos dañinos de los cloruros consisten en impulsar la corrosión del acero de refuerzo. Como en el caso de los sulfatos, para que la presencia de cloruros represente riesgo de daño, es necesario que se hallen en estado de solución y con un cierto grado de concentración en el medio que tiene contacto directo con el acero de refuerzo. (Montejo Fonseca Alfonso, Tecnología y Patología del Concreto Armado, 2013, Capítulo 18, pág. 446).

El ataque por cloruros al hormigón puede provenir de dos fuentes principales, en la primera los iones cloruros pueden estar presentes dentro de la mezcla del hormigón, (por hallarse contenido en el agua de mezclado, los agregados, o algún aditivo). (A.M Aguirre, R. Mejía de Gutiérrez, Durabilidad del hormigón armado expuesto a condiciones agresivas). En el segundo caso, los cloruros se

encuentran en el medio externo de contacto con la estructura (suelo, agua, aire) y penetran en el concreto a través de fisuras y otras discontinuidades, o por difusión. (Montejo Fonseca Alfonso, Tecnología y Patología del Concreto Armado, 2013, Capítulo 18, pág. 446).

Los iones de cloruro pueden estar presentes en el concreto de tres maneras enlazados, absorbidos y libres en el agua que se conservan en los poros, lo que constituye la disolución de poro. Los iones de cloruro que son dañinos para el acero de refuerzo son los que se hallan disueltos o libres, pero debido a los equilibrios que se presentan es posible que los que están absorbidos se incorporen a la disolución y se tornen más peligrosos. (El fenómeno de la corrosión en estructuras de concreto reforzado, Angélica del Valle- Tezozómoc Pérez-Miguel Martínez, Publicación técnica No 182.).

De acuerdo con la Norma Europea EN 206 se definen tres clases de severidad a la corrosión inducida por cloruros de origen distinto al marino, al igual que para la corrosión inducida por cloruros procedentes de agua de mar, tal como se indica en la tabla 2.5.

**TABLA 2.5.a** Clases de exposición para corrosión inducida por cloruros de acuerdo a la norma EN 206.

CLASE	DESCRIPCION	EJEMPLOS
XD1	Moderadamente húmedo	Superficies de hormigón expuestas a cloruros transportados por vía aérea
XD2	Húmedo, rara vez seco	Piscinas y hormigones en contacto con aguas industriales que contengan cloruros
XD3	Ciclos de humedad y sequedad	Elementos de puentes expuestos a salpicaduras que contengan cloruros, pavimentos, losas de aparcamientos

Fuente: A.M Aguirre, R. Mejía de Gutiérrez, Durabilidad del hormigón armado expuesto a condiciones agresivas.

Elaboración: El autor.



**TABLA 2.5.b** Clase de exposición para corrosión inducida por cloruros procedentes de agua de mar EN-206

CLASE	DESCRIPCION	EJEMPLOS
<b>XS1</b>	Exposición al aire que transporta sales marina, pero sin contacto directo con el agua de mar	Estructuras en la costa o en sus aproximaciones
<b>XS2</b>	Sumergido Permanentemente	Elementos de estructuras marinas
<b>XS3</b>	Zonas sometidas a la marea, a la salpicadura y a la espuma de mar	Elementos de estructuras marinas

Fuente: A.M Aguirre, R. Mejía de Gutiérrez, Durabilidad del hormigón armado expuesto a condiciones agresivas.

Elaboración: El autor.

El máximo contenido de cloruros de acuerdo con la norma EN 206 va de 0,2 a 0,4 iones de cloruros en relación a la masa de cemento para estructuras con acero reforzado y 0,1 al 0,2 para estructuras con hormigón pretensado. La norma ASTM ( American Society of Testing Materials) permite evaluar la susceptibilidad del hormigón a los iones de cloruros mediante un ensayo rápido de permeabilidad aunque esta técnica ha sido muy controvertida y se han desarrollado otro método que continúan siendo utilizados con fines comparativos por numerosos investigadores, particularmente por la rapidez del ensayo y su reducida complejidad. (A.M Aguirre, R. Mejía de Gutiérrez, Durabilidad del hormigón armado expuesto a condiciones agresivas.

La tabla 2.5.c muestra los límites máximos tolerables en el contenido de cloruros del concreto, para minimizar el riesgo de corrosión en el acero de refuerzo, según ACI 201, ACI 222 Y ACI 318.

**Tabla 2.5.c** Muestra los límites máximos tolerables en el contenido de cloruros.

Tipo de concreto y condiciones de exposición	Contenido máximos tolerables de ion cloruro (Cl <sup>-</sup> ) en el concreto, expresado como porcentaje en peso del cemento, según comités del ACI:		
	201 (a)	222 (b)	318 (a)
Concreto presforzado Concreto reforzado convencional:	0,06	0,8	0,06
Todo concreto en condiciones que represente riesgo de corrosión	-----	0,20	---
Concreto expuesto a la penetración de cloruros externos	0,10	----	0,15
Concreto expuesto a la humedad, sin cloruros	0,15	---	0,30
Concreto en condiciones permanentemente seca	Sin limitación	---	1,00

Fuente: Comisión Federal de Electricidad, "Manual de Tecnología del Concreto", sección 3, Concreto en estado endurecido. Editorial Limusa, Mexico, Venezuela, España, Colombia, 1994.

Elaboración: El autor.

Cuando se utiliza agua de amasado con cloruros, cierta cantidad reacciona con los compuestos hidratados del concreto para formar las sales de Friedel, otra cantidad se absorbe en la superficie de las paredes de los poros y sola una parte queda disuelta. Esta distribución depende del tipo y cantidad de cemento con que se dosifique el concreto. (El fenómeno de la corrosión en estructuras de concreto reforzado, Angélica del Valle- Tezozómoc Pérez-Miguel Martínez, Publicación técnica No 182.).

Hay dos consecuencias de la corrosión del acero. La primera es que los productos de corrosión ocupan un volumen varias veces más grande que el acero original de manera que su formación da por resultado el agrietamiento, el descascaramiento o la delaminación del concreto. Esto hace más fácil el ingreso de los agentes agresivos hacia el acero, con un aumento consecuente de la rapidez de la corrosión. La segunda es que el progreso de la corrosión en el ánodo reduce el área de sección recta del acero reduciendo así su capacidad de soportar carga. Con relación a esto hay que señalar que la corrosión inducida por cloruros se localiza en un ánodo pequeño, ocurriendo la picadura del acero. (Tecnología del Concreto, Adam M. Neville, 1999, Capítulo 11, pág. 394.)

### **2.5.1 Cloruros en la mezcla**

Los cloruros se pueden encontrar presentes en el concreto debido a que han incorporado en las mezclas por el empleo de agregados contaminados o por usar como agua de amasado el agua de mar o agua salobre, o agua proveniente de pozos subterráneos y además por el uso de aditivos que contienen cloruros.

Como una fuente posible de cloruros en la mezcla, el mismo cemento portland contiene solo una cantidad muy pequeña, no más del 0,01 por ciento por masa. Sin embargo, la escoria de alto horno granulada y molida puede tener un contenido importante de cloruros si su procesamiento comprende enfriamiento rápido con agua de mar. El agua para beber bien puede contener 250 ppm de iones de cloruro; una relación agua/cemento de 0,4, el agua contribuirá con la misma cantidad de iones de cloruro que el cemento portland. Para concreto reforzado, el contenido de cloruros del agregado no deberá exceder de 0,05 por ciento por masa del agregado total; esto se reduce hasta 0,03 por ciento cuando se emplea cemento resistente a sulfatos. (Tecnología del Concreto, Adam M. Neville, 1999, Capítulo 11, pág. 395)

**Tabla 2.5.1.a** Requisitos para condiciones de exposición especiales

<b>Condiciones de exposición</b>	<b>Concreto de peso normal; relación máxima agua-material cementante en peso</b>	<b>Concreto con agregado normal y ligero, f'c mínima, MPa</b>
Concreto que se pretende tenga baja permeabilidad en exposición al agua	0,50	28
Concreto expuesto a congelamiento y deshielo en condición húmeda o a productos químicos descongelantes	0,45	31
Para proteger el refuerzo en el concreto de la corrosión cuando está expuesto a cloruros de sales descongelantes, sal, agua salobre, o salpicaduras del mismo origen	0,40	35

Fuente: Reglamento ACI 318-08, Capítulo 4, Requisitos de Durabilidad. (A.M Aguirre, R. Mejía de Gutiérrez, Durabilidad del hormigón armado expuesto a condiciones agresivas.)

La Norma Europea da un valor de resistencia a la compresión simple a utilizar cuando el concreto se encuentra expuesto a condiciones adversas según sus tipos de condiciones de exposición (XD1, XD2, XD3).

Elaboración: El autor.

**Tabla 2.5.1.b.** Valores límites recomendados para hormigón según EN 206 (clases XD1 A XD3 y XS1 a XS3).

Clase	Máxima relación a/c	Clase de resistencia mínima MPa
<b>Otros cloruros distintos del agua de mar</b>		
XD1	0,55	30
XD2	0,55	37
XD3	0,35	45
<b>Agua de mar</b>		
XS1	0,50	30
XS2	0,45	35
XS3	0,45	35

Fuente: A.M Aguirre, R. Mejía de Gutiérrez, Durabilidad del hormigón armado expuesto a condiciones agresivas.

Elaboración: El autor.

## **2.6 EL AGRITAMIENTO Y SUS EFECTOS EN LA CORROSION DEL ACERO**

Uno de lo inconvenientes al trabajar con hormigón es el agrietamiento y fisuración ya sea el proveniente de la superficie o desde el cuerpo mismo del hormigón, este agrietamiento se presenta con facilidad esto debido a las propias características como son su baja resistencia a tracción y su reducida tenacidad, el agrietamiento parece ser la característica más negativa del concreto y más aún cuando se habla de presencia de agentes externos y internos que pueden provocar la corrosión. Estas fisuras se pueden presentar en el momento mismo de la puesta en obra del concreto, en el momento del curado, pueden pasar meses e incluso años para que se presenten.

Las causas de la fisuración pueden ser muy variadas y la determinación de su origen no siempre es fácil aunque, en general, puede decirse que las mismas causas producen idénticos tipos de fisuras. Hay que señalar que las fisuras de amplitud inferior a 0,05 mm se consideran como microfisuras y no son perceptibles a simple vista, careciendo por otra parte de importancia salvo en la interrupción que producen del monolitismo e impermeabilidad del hormigón. Las

fisuras de amplitud comprendida entre 0,1 y 0,2 mm no suelen ofrecer peligro de corrosión de armaduras en hormigón armado, salvo que se de la circunstancia de que el medio sea agresivo. (Fernández Cánovas Manuel, 2013, Hormigón, Décima edición, pág. 472).

El agrietamiento del concreto en el recubrimiento facilita el ingreso de cloruros y, por lo tanto, aumenta la corrosión. (Tecnología del Concreto, Adam M. Neville, 1999, Capítulo 11, pág. 399.).



Fotografía 5: Grietas del hormigón en edificios de Bahía de Caraquez.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor.

A continuación se detalla algunos de los factores que provocan el agrietamiento del concreto:

- Alto contenido de agua en el hormigón.
- Alta dosificación de cemento.
- Alto calor de hidratación del cemento.
- Los ciclos de sequedad y humedad debido al sol dan lugar a contracciones y expansiones que pueden provocar fisuras en el concreto.
- Las reacciones de los álcalis del cemento.

- Los cambios de temperatura.
- Los ciclos hielo- deshielo
- El ataque de sulfatos.
- Los movimientos de las estructuras debido a cargas diferenciales.
- Los excesos de cargas.
- La corrosión de las armaduras en el hormigón armado y especialmente cuando este está situado en un ambiente marino.

## **2.7 MÉTODOS DE PREVENCIÓN Y CONTROL DEL CONCRETO**

Mediante el desarrollo de la parte teórica de este trabajo de investigación se determina las diversas afectaciones que sufre el concreto expuesto a agentes agresivos: la presencia de sales, sulfatos, agentes químicos, ambientales, mala práctica constructiva que incluye la baja calidad de la mano de obra y el mal uso y aplicación de las normas constructivas son las que contribuyen a los diversos problemas presentes. Ante estos problemas se debe tener presente que existen métodos de control y prevención que ayudan al concreto y al refuerzo embebido a soportar y mitigar estos ataques.

### **2.7.1 Recubrimiento**

Uno de los métodos más importantes de prevención de la corrosión en el concreto son los recubrimientos ya que su función esencial es proteger al refuerzo o varillas de acero contra los agentes provenientes del medio exterior. Al hablar de corrosión dicha protección es referida a impedir y evitar o por lo menos restringir el acceso de aire, con sus correspondientes agentes dañinos (dióxido de carbono y oxígeno), agua y sales disueltas (cloruros). La eficiencia del recubrimiento depende principalmente de su permeabilidad, integridad y espesor. La permeabilidad del recubrimiento al agua depende de su porosidad, y esta a su vez, puede ser regulada por medio del uso de una adecuada relación agua cemento.

El espesor del recubrimiento para el acero de refuerzo es un factor importante en el control del transporte de cloruros: cuanto más grueso es el recubrimiento tanto más largo es el intervalo de tiempo antes de que la concentración de iones de cloruro en la superficie del acero alcance el valor inicial. Así, la calidad del

concreto ( en términos de su permeabilidad baja) y el espesor del recubrimiento funcionan juntos y pueden, por lo tanto, hasta cierto grado, cambiarse el uno por el otro. Por esta razón, las normas especifican con frecuencia combinaciones de recubrimiento y de resistencia del concreto de manera tal que un espesor menor de recubrimiento requiere una resistencia más alta, y viceversa. (Tecnología del Concreto, Adam M. Novilla, 1999, Capítulo 11, pág. 400.)

De acuerdo con los estudios de muchos investigadores, la penetración del frente de carbonatación, se da a una velocidad que sigue una ley que es función de la raíz cuadrada del tiempo. Esto, significa que, si el recubrimiento del concreto sobre el acero de refuerzo se reduce a la mitad, la condición crítica para un incipiente riesgo de corrosión se alcanza en la cuarta parte de tiempo. Por esta razón, ya ha sido plenamente demostrado por Steen Rostman, de Dinamarca, que el valor mínimo de recubrimiento para protección de armaduras debe ser de por lo menos 35 mm.

La tendencia general de las normas y reglamentos de construcción define la cantidad de recubrimiento requerido para garantizar la vida útil de una estructura en función de su grado de exposición a agentes agresivos, variando desde 1 cm para las condiciones más benignas, hasta 7.5 cm para aquellas muy agresivas. (<http://www.imcyc.com/revista/1998/oct/ataque.htm>).

### **2.7.2 Inhibidores de Corrosión**

Los inhibidores de corrosión son una buena alternativa debido a su bajo costo, los inhibidores de corrosión son sustancias que añadidas en pequeñas cantidades a un reactivo corrosivo, disminuye o elimina su agresividad frente al metal. Un inhibidor de corrosión es un material que se aplica o envuelve la superficie del metal (acero de refuerzo), la cual proporciona una superficie protectora que detiene la reacción corrosiva.

Existen tres tipos de inhibidores de corrosión los anódicos, catódicos y los mixtos; los inhibidores de corrosión en general han sido utilizados principalmente en el ataque de sales como es la presencia de cloruros.



### 2.7.3 Adiciones de materiales minerales

Las adiciones minerales que en general son las puzolanas ayudan a reducir la permeabilidad y en consecuencia la durabilidad del hormigón endurecido se incrementa en el mercado existen varios tipos de adiciones entre las cuales mencionamos las siguientes:

- **Humo de sílice:** es un material puzolánico de alta reactividad, subproducto del desecho de la fabricación de silicio metálico y aleaciones de ferrosilicio. Su proceso es resultado de la reducción de cuarzo de pureza elevada ( $\text{SiO}_2$ ) con carbón en hornos de arco eléctrico, a temperaturas mayores a  $2000\text{ }^\circ\text{C}$ . Debido a su finura varias veces superior a la del cemento este compuesto mineral en la mezcla de concreto permite una mayor y mejor oclusión de los poros, mejorando la interfase matriz agregado, y ofreciendo de esta manera un producto más estable, resistente y duradero.

([www.imcyc.com/revistacyt/sep11/artingenieria.html](http://www.imcyc.com/revistacyt/sep11/artingenieria.html)). Porcentajes de SF por encima del 10% afecta la reología de la mezcla e incrementa los costos, por lo cual se sugiere el uso de porcentajes entre 6 y 8% de la masa de cemento. Con respecto a la carbonatación, Kulakowski et al. Afirman que los hormigones con SF y relaciones agua-cemento de 0,45 a 0,50 incrementan la resistencia a la carbonatación; sin embargo, puede llegar a tener un efecto perjudicial si las relaciones agua-cemento son superiores. (A.M Aguirre, R. Mejía de Gutiérrez, Durabilidad del hormigón armado expuesto a condiciones agresivas.)

- **Escoria granulada de alto horno:** también llamada cemento de escoria, se produce de la escoria siderúrgica de alto horno, la cual es un cemento hidráulico no metálico que consiste básicamente en silicatos y aluminosilicatos de calcio. Este producto se desarrolla en estado fundido simultáneamente con el acero en un alto horno. La escoria granulada es áspera y tiene forma angular. En presencia del agua y de un activador, NaOH o CaO, ambos suministrados por el cemento portland, la escoria granulada se hidrata y se endurece de una manera similar al cemento portland. La escoria granulada de alto horno molida, cuando es empleada en los concretos para uso general en los Estados Unidos, normalmente

constituye del 30% al 45% de la masa del material cementante en la mezcla, pero algunos concretos de escoria tienen 70% o más de escoria. (PCA, Diseño y Control de mezclas de Concreto, pág. 80).

- **Cenizas Puzolanas:** la ceniza volante es un subproducto de la combustión del carbón pulverizado en plantas generadoras de electricidad y es el material cementante suplementario más utilizado en los Estados Unidos. La ceniza volante es básicamente un vidrio de silicato que contiene sílice, alúmina, hierro y calcio. Los constituyentes menores son magnesio, azufre, sodio, potasio y carbono. Los compuestos cristalinos están presentes en pequeñas cantidades. La masa específica relativa de la ceniza volante varía de 1.9 a 2.8 y el color es generalmente gris o marrón. Las cenizas volantes Clase F y Clase C de la ASTM C 618 se emplean comúnmente como aditivos puzolánicos en concretos de uso universal. Los materiales de Clase F son normalmente cenizas volantes con bajo contenido de calcio (menos del 10% de CaO) y contenido de carbono menor que 5%, pero algunas pueden contener hasta 10%.

## 2.8 Dosificación del Hormigón

El objetivo de un diseño de hormigón es obtener la mezcla que posea un mínimo de determinadas propiedades tanto en estado fresco como endurecido, al menor costo de producción posible. Las propiedades del hormigón endurecido son especificadas por el proyectista de la estructura y las propiedades del hormigón fresco están definidas básicamente por el tipo de construcción, las técnicas de colocación del hormigón, y del transporte mismo. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese y Tanesi, 2004).

El objetivo de la dosificación es buscar la mezcla óptima de los constituyentes, no solo por economía (dosificación óptima y ligante adecuado, suministro de agregados), sino también al cumplimiento de las normas técnicas que rigen el proceso (verificación de calidad, colocación y resistencia del hormigón).

El ACI-318S -08 dice que la dosificación de los materiales para concreto debe establecerse para lograr:

- Trabajabilidad y consistencia que permitan colocar fácilmente el concreto dentro del encofrado y alrededor del refuerzo bajo las condiciones de

colocación que vayan a emplearse, sin segregación ni exudación excesiva.

- Resistencia a exposiciones especiales requerido en el Capítulo 4.
- Conformidad con los requisitos de ensayo de resistencia de 5.6 del ACI.

Para desarrollo de esta investigación lo que tiene que ver al proporcionamiento de las mezclas de concreto se emplea el método de dosificación del ACI, que es el más usado y adecuado para cualquier obra de hormigón.

### **2.8.1 Método de dosificación del ACI**

El ACI basa su método en la búsqueda de una resistencia para el diseño de un hormigón, en el mismo se establece una relación agua/m.cementante que asegura durabilidad, trabajabilidad y apariencia uniforme del concreto en estado endurecido; además nos asegura que la dosificación escogida será la mejor opción en cuanto se refiere a economía.

A continuación se explica de manera breve la metodología que se sigue para el proporcionamiento de las mezclas de concreto:

#### **a) Resistencia.**

La resistencia a compresión de un hormigón  $f'_c$  a los 28 días es quizás el factor más importantes en la dosificación de mezclas de concreto, ya que depende de la calidad y de la cantidad de componentes con los que se diseñan la mezcla.

#### **b) Elección del revenimiento.**

El asentamiento se usa para medir la consistencia de una mezcla de concreto, la selección de este es el que inicia el proceso de diseño de una mezcla, el ACI nos da una tabla en la que se puede escoger el valor aproximado del revenimiento cuando no se especifica como dato de diseño o dato de partida. Este valor es un indicativo de trabajabilidad cuando se evalúa mezclas similares o de iguales características.

**Tabla 2.8.1.b).** Revenimientos Recomendados para Varios Tipos de Construcción.

Construcción de concreto	Revenimiento mm (pulg)	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación	75 (3)	25 (1)
Zapatas, cajones y muros de subestructuras sin refuerzo	75(3)	25 (1)
Vigas y muros reforzados	100(4)	25 (1)
Columnas de edificios	100(4)	25 (1)
Pavimentos y losas	75(3)	25 (1)
Concreto masivo	75(3)	25 (1)

Fuente: Diseño y Control de Mezclas de Concreto, (PCA), pág. 191. México.

Elaboración: El autor.

### **c) Contenido de Aire y agua de mezclado.**

El contenido de agua y aire en una mezcla de concreto está influenciada por un gran número de factores: tamaño, textura y forma del agregado, del revenimiento escogido de acuerdo al tipo de obra, a la relación agua cemento, al tipo de cemento utilizado en la mezcla, aditivos y en nuestro caso a la exposición a agentes agresivos y ambientes corrosivos.

El libro Diseño y control de mezclas de concreto da una tabla con valores recomendados para el uso del contenido de agua que se encuentra en función del revenimiento, sin el concreto necesita de la inclusión de aire o no y de los factores antes mencionados.

**Tabla 2.8.1.c** Valores del contenido de agua y aire para diferentes revenimiento y tamaño de agregado.

Revenimiento (mm)	Agua, kilogramos por metro cúbico de concreto, para los tamaños de agregados indicado							
	9,5 (mm)	12.5 (mm)	19 (mm)	25 (mm)	37.5 (mm)	50 (mm)	75 (mm)	150 (mm)
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	---
Cantidad aproximada de aire atrapado en un concreto sin aire incluido	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
<b>Concreto con aire incluido</b>								
25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	--
<b>Promedio del contenido de aire total recomendado para el nivel de exposición, porcentaje</b>								
Exposición leve	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
Exposición moderado	6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5	3
Exposición Severa	7.5	7	6	6	5.5	5	4.5	4
<p>*Estas cantidades de agua de mezcla son para utilizarse en el cálculo de contenidos de cementos en las mezclas de prueba. Estas cantidades son máximas para agregados gruesos razonables angulares con granulometría dentro de los límites de las especificaciones.</p>								

El asentamiento del concreto contenido agregado mayor que 37.5 mm se basa en el ensayo de revenimiento realizado después de la remoción de las partículas mayores que 37.5 mm, a través de cribado húmedo.

Fuente: Diseño y Control de Mezclas de Concreto, (PCA), pág. 190. México.

Elaboración: El autor.

#### **d) Relación agua-cemento.**

La relación agua- cemento es la división de la masa del agua para el material cementante (cemento portland), este valor debe ser elegido de acuerdo al diseño que se requiere, es decir depende la resistencia requerida y de las condiciones ambientales a las cuales se encontrará expuesta la estructura, la tabla 2.8.1.d indica cual debe ser la relación escogida de acuerdo a las condiciones y resistencia de cada proyecto.

**Tabla 2.8.1.d).** Relación agua-cemento máxima y resistencia de diseño mínima para varias condiciones de exposición

Condiciones de exposición	Relación agua-cemento máxima por masa de concreto	Resistencia a la compresión simple mínima $f'_c$ $\left(\frac{Kg}{m^2}\right)$ , (MPa)
Concreto protegido de la exposición a congelación-deshielo, de la aplicación de sales de deshielo o de sustancias agresivas	Elija la relación agua-cemento basándose en la resistencia, trabajabilidad y requisitos de acabado (terminación superficial)	Elija la resistencia basándose en los requisitos estructurales
Concreto que se pretende que tenga baja permeabilidad cuando sea expuesto al agua	0,50	280(28)
Concreto expuesto a congelación deshielo en la condición húmeda y a descongelantes	0,45	320(31)
Para protección contra la corrosión del refuerzo del concreto expuesto a cloruro de sales descongelantes, agua salobre, agua de mar o rociado de estas fuentes	0,40	350(35)

Fuente: Diseño y Control de Mezclas de Concreto, (PCA), pág. 186. México

También el ACI proporciona una tabla para elegir la relación agua-material cementante que se encuentra en función de la resistencia a la compresión requerida.

Elaboración: El autor.

**Tabla 2.8.1.d)-1.** Dependencia entre la relación agua-cemento y la resistencia a la compresión del concreto.

Resistencia a la compresión a los 28 días ( $\frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$ ), (MPa)	Relación agua-material cementante en masa	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
450(45)	0,38	0,31
400(40)	0,43	0,34
350(35)	0,48	0,40
300(30)	0,55	0,46
250(25)	0,62	0,53
200(20)	0,70	0,61
150(15)	0,80	0,72

Fuente: Diseño y Control de Mezclas de Concreto, (PCA), pág. 187. México.

Elaboración: El autor.

#### **e) Estimación del contenido de cemento.**

Para economizar la cantidad de cemento que se requiere en una mezcla debe minimizarse en lo posible, claro está sin sacrificar la calidad del concreto. La cantidad de cemento que se requiere en el proporcionamiento o dosificación de un hormigón viene dada por la división entre el contenido estimado de agua y la relación agua-material cementante.

#### **f) Estimación de la cantidad de agregado grueso.**

La cantidad de agregado grueso requerido para una mezcla o proporcionamiento de un hormigón depende del tamaño máximo nominal del agregado y del módulo de finura del agregado fino, y se estima a través de la tabla 2.8.1.f) dada por el ACI.



**Tabla 2.8.1.f).** Volumen de Agregado Grueso por Volumen Unitario de Concreto

<b>Tamaño máximo nominal del agregado mm(pulg)</b>	<b>Volumen del agregado grueso varillado (compactado) en seco por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino.</b>			
	<b>2.40</b>	<b>2.60</b>	<b>2.80</b>	<b>3.0</b>
9.5 (3/8)	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5(1/2)	0.59	0.57	0.55	0.53
19(3/4)	0.66	0.64	0.62	0.60
25(1)	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5(1 ½)	0.75	0.73	0.71	0.69
50(2)	0.78	0.76	0.74	0.72
75(3)	0.82	0.80	0.78	0.76
150(6)	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: Diseño y Control de Mezclas de Concreto, (PCA), pág. 188. México.

Elaboración: El autor.

### **g) Estimación del contenido de agregado fino.**

La cantidad de agregado fino se determina mediante dos procedimientos: por el método del peso y por el método del volumen absoluto. El método del volumen absoluto es el más preciso para el cálculo del agregado fino, el cual implica el uso de los volúmenes desplazados. El volumen total de los componentes agua, aire cemento y agregado grueso se suman y luego se restan de un metro cúbico hormigón para obtener la cantidad de agregado fino. El volumen absoluto del agua y demás componentes de la mezcla se calculan dividiendo la masa de cada uno por el producto de su masa relativa y la densidad del agua.

### **h) Ajustes por humedad**

Las correcciones por humedad son necesarias ya que en la práctica los agregados contienen una cantidad pequeña de humedad, y ya que la mayoría de los ensayos son hechos con las masas secas de los agregados, por lo tanto, en el momento de la dosificación o proporcionamiento se debe aumentar para compensar la humedad que se retiene y absorbe.

Una vez hechos los ensayos de contenido de humedad de los agregados (CH %) se realiza las correcciones por humedad tanto para los agregados como para el agua de mezclado.

Correcciones del peso de los agregados

$$\text{Agregado grueso} = \text{Peso (grava)} * (1 + \text{CH}) \quad [1]$$

En donde:

CH contenido de humedad en porcentaje

$$\text{Agregado fino} = \text{Peso (arena)} * (1 + \text{CH}) \quad [2]$$

Correcciones en el peso del agua mezclado

$$\text{Agua final} = \text{agua calculada} - (\text{peso de la grava} * (\text{CH} - \% \text{absorción}))$$

$$- (\text{peso de la arena} * (\text{CH} - \% \text{absorción})) \quad [3]$$

## 2.9 VIVIENDAS DE INTERES SOCIAL

Según la ONU: las viviendas de interés social son un espacio plenamente equipado, en vecindarios dotados de servicios urbanos accesibles, con relaciones que permitan la comunicación vecinal, donde es posible el desarrollo familiar y personal a todos los niveles que la sociedad avanzada demanda. Además, debe ser fija y habitable, que cumpla requisitos básicos de funcionalidad, seguridad, habitabilidad y accesibilidad, establecidos por las normas de cada país y con unos mínimos requisitos de confort, asilamiento climático (frío, humedad, lluvia, calor), seguridad estructural, calidad constructiva, entre otros.

Según BIEES (Banco del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social); una vivienda de interés social es aquella cuyo valor llega hasta los 40 mil dólares y que cumpla con los requisitos básicos de habitabilidad, funcionalidad y seguridad.

Luego del terremoto del 16 de abril de 2016 ocurrido en nuestro país, han surgido un gran número de problemas y deficiencias en las construcciones de las poblaciones afectadas de la provincia de Manabí: la deficiente aplicación de las

normas constructivas vigentes en el país, no contar con supervisión técnica al momento de la planeación, diseño y construcción; la mano de obra informal abona en el colapso de 1125 edificaciones.

Uno de los problemas que salió a luz y que es el principal enfoque de esta investigación es el uso de la arena de mar como material de construcción para diseño de hormigón sin ningún sustento técnico, según los informes de inspección visual y técnica de las edificación de las zonas afectadas, se determina el uso de arena de mar como material para usar en mezclas de concreto, mediante el desarrollo de la presente investigación se determina si el uso de este material es factible dentro de la aplicación de la norma NEC, cumpliendo con todos los parámetros que en ellas se indican como: seguridad, resistencia, corrosión, durabilidad y economía.

## **CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA**

### 3. Metodología

En este capítulo se caracterizan los materiales utilizados en la investigación, se describe los ensayos realizados para los distintos materiales que son requeridos en diseño de mezclas de concreto, se analiza tolerancias y límites establecidos por las normas NEC, ACI, ASTM, INEN.

#### 3.1 Arena de mar

En la región litoral del Ecuador e inicialmente en de Bahía de Caráquez se pretende la búsqueda de posibles usos de la arena de mar como material para la elaboración de hormigón; para esto se extrae material de la playa de esta ciudad, cerca de 200 kg con el objeto de primero realizar una caracterización de este material y luego hacer un análisis químico que nos permita el uso de este agregado en el diseño de mezclas de hormigón.



Figura 6: Bahía de Caráquez, lugar donde se recolectó la arena de mar.

Fuente: Google Earth 2017.

Elaboración: El autor.

#### 3.2 Agregados de cantera triturados fino y grueso.

Los agregados finos y gruesos que se utilizan en esta investigación son obtenidos de procesos de minería es decir de cantera, debido a que el costo de

los agregados de río es elevado dado que provienen de otras ciudades como Santo Domingo.

Los agregados tanto fino como grueso, son extraídos de la cantera Picoasa del cantón Jipijapa que se encuentra a aproximadamente una hora de Bahía de Caráquez.

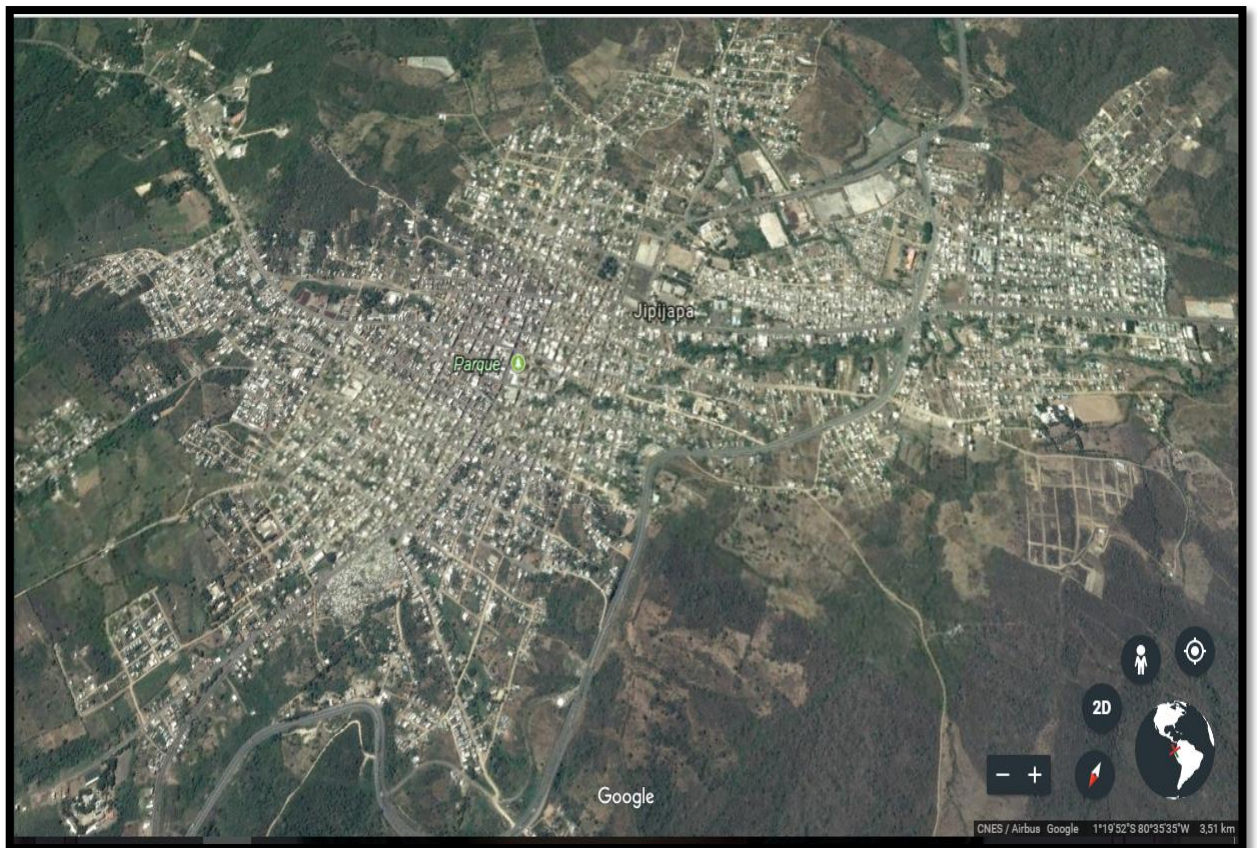


Figura 7: Cantón Jipijapa, cantera Picoaza lugar de procedencia de los agregados.

Fuente: Google Earth 2017.

Elaboración: El autor.

Con la finalidad de comparar diseños por parámetros de durabilidad, resistencia a la compresión simple, economía, porosidad también se diseñan hormigones con agregados que son utilizados en las construcciones de Loja provenientes de canteras, que posee características similares a los de la zona de estudio.



Figura 8: Cantera Catamayito vía Catamayo-Gonzanamá.

Fuente: Google Earth 2017.

Elaboración: El autor.

### 3.3 Granulometría de los Agregados

El tamaño de los granos de una muestra de agregado es importante en el diseño de una mezcla de hormigón, con estos parámetros se calcula las proporciones de agua, cemento y otros elementos que conforman la mezcla de diseño.

En la norma NTE INEN 696 se muestran los tamices por los cuales se debe hacer pasar una muestra para obtener su granulometría:

- Agregado grueso: 2", 1<sup>1/2</sup>", 1", 3/4", 1/2", 3/8", No. 4.
- Agregado Fino: No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50, No.100, No. 200.

Esto es para agregados que contengan en su estructura variación en su gradación, en este caso luego del análisis granulométrico obtenemos como resultado que la arena de mar posee una gradación constante en su totalidad

retenida en el tamiz No. 100 y con un módulo de finura de 0,94; estando este valor fuera de los rangos para diseño de hormigón que es de 2,1 a 3,6.

Del ensayo de granulometría de un agregado se obtienen factores que influyen luego en el diseño de los hormigones como: módulo de finura, tamaño máximo, tamaño máximo nominal. En la tabla 3.2.a se muestran los datos obtenidos del análisis granulométrico de la arena de mar y del agregado grueso utilizado en la investigación. Ver ANEXO I. ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LOS AGREGADOS.

**La tabla 3.2:** Valores de módulo de finura y tamaño máximo nominal obtenidos del análisis granulométrico.

<b>Materiales</b>	<b>Módulo de Finura</b>	<b>TMN</b>
Arena de Mar	0.94	0,150 mm
Triturado Fino Picoaza	3,54	½"
Triturado Fino Catamayito	2.55	2,36 mm

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Para la elaboración y diseño de mezclas de hormigón el módulo de finura de un material debe estar entre 2,30 hasta 3,10 (adimensional) para evitar problemas de segregación del agregado grueso. La arena de mar analizada tiene un módulo de finura de 0,94 y no cumple con los límites impuestos por las normas, como estrategia de diseño se realizan mezclas de arena de mar con la arena triturada para hacer una corrección del módulo de finura obteniendo una curva granulométrica óptima de diseño. La tabla 3.2.b muestra la proporción de las mezclas del agregado fino. Ver ANEXO I. Ensayos de laboratorio para los agregados.



**Tabla 3.2.b.** Módulo de finura de las mezclas de arenas.

Mezclas		Módulo de Finura	Nominación
Arena de mar	Triturado		
60%	40%	1,98	Clase A
50 %	50%	2,24	Clase B
40%	60%	2,5	Clase c

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

### 3.4 Densidad de los agregados

Una de las características que se utiliza generalmente en el diseño de mezclas de hormigón es la densidad relativa (DRSSS), que mide el volumen ocupado por el agregado en el hormigón.

Para determinar la densidad y la absorción del agua en el agregado grueso se utiliza la norma NTE INEN 857, en donde se muestran las siguientes ecuaciones:

$$DRSH = \frac{A}{B-C} \quad [1]$$

Dónde: (DRSH) Densidad relativa seca al horno

$$DRSSS = \frac{B}{B-C} \quad [2]$$

Dónde: (DRSS) Densidad relativa saturada superficialmente seca

$$DRA = \frac{A}{A-C} \quad [3]$$

$$\% \text{ absorcion} = \frac{B-A}{A} \times 100 \quad [4]$$

Dónde: (DRA) Densidad relativa real

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.

Las tablas 3.4.a) y 3.4.b) .Ver ANEXO I. ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LOS AGREGADOS. Respectivamente muestran los valores obtenidos mediante el ensayo de densidad y absorción del agregado grueso.

**Tabla 3.4.a)** Valores obtenidos de densidad y absorción del agregado grueso.

Parámetro	PROCEDENCIA	
	Cantera Catamayito	Cantera Picoasa Manabí
Densidad Masiva $\left(\frac{Kg}{m^3}\right)$	2638,39	2820
Densidad SSS $\left(\frac{Kg}{m^3}\right)$	2624,32	2861
Densidad Aparente $\left(\frac{Kg}{m^3}\right)$	2667,32	2930
% Absorción	0,52	1,33

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

**Tabla 3.4.b)** Valores obtenidos de densidad y absorción del agregado fino.

Parámetro	Procedencia		
	Arena de mar	Picoasa-Manabi	Catamayito
Densidad Masiva $\left(\frac{Kg}{m^3}\right)$	2740	2360	2577
Densidad SSS $\left(\frac{Kg}{m^3}\right)$	2762	2522	2612
Densidad Aparente $\left(\frac{Kg}{m^3}\right)$	2790	2800	2672
% Absorción	0,64	6,63	1,38

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

### 3.5 Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) en el agregado fino y grueso.

La norma NTE-INEN 858 y la ASTM C-128 dan el procedimiento a seguir para la determinación del peso unitario ya sea en estado suelto o compactado de los agregados. En los diseños y dosificaciones de mezclas de concreto se utiliza la masa unitaria compactada; mientras que, la masa unitaria suelta sirve para estimar la cantidad de material de un agregado para su adquisición en volumen.

El procedimiento por varillado por el cual se determina la masa unitaria compactada de un agregado: se aplica para aquellos materiales que presentan un tamaño nominal de 37,5 mm o menor llenando un recipiente estandarizado para este ensayo con material en tres capas compactadas cada una por medio de 25 varilladas.

Para el cálculo de la masa unitaria se utiliza la siguiente ecuación:

$$M = \frac{(G - T)}{V} \quad [5]$$

Donde:

M = masa unitaria (peso volumétrico) del agregado,  $\left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)$

G = masa del agregado más el molde, Kg

T = masa del molde, Kg.

V = volumen del molde,  $\text{m}^3$ .

La tabla 3.5 a y 3.3.b muestran los valores de las masas unitarias de la arena sin mezclar y mezcladas que se usa en el diseño de las mezclas de concreto. Ver ANEXO I. ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LOS AGREGADOS.

**Tabla 3.5.a)** Valores de masa unitaria suelta y compactada de los agregados utilizados.

Muestra	Agregado Fino Masa Unitaria $\left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)$	
	Densidad Compactada	Densidad Suelta
Arena Mar	1663	1482
Picoaza- Manabí	1732	1517
Catamayito	1696	1490
Agregado Grueso Masa Unitaria $\left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)$		
Picoaza- Manabí	1693	1485
Catamayito	1552	1374

Fuente: El autor

Elaboración: El autor.

**Tabla 3.5.b)** Valores de masa unitaria suelta y compactada de las mezclas de arena de mar con arena triturada que se utiliza en el diseño de las mezclas de concreto.

Proporción	Agregado Fino Mezclado Masa Unitaria $\left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)$		
	Nominación	Compactada	Suelta
60% Arena de mar- 40% Triturada	Clase A	1688	1549
50% Arena de mar- 50% Triturada	Clase B	1727	1568
40% Arena de mar-60% Triturada	Clase c	1764	1576

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

### 3.6 Resistencia a la abrasión o al desgaste de los agregados.

La resistencia a la abrasión de un agregado es un parámetro muy importante cuando se realiza diseños de hormigón y depende de las características propias del agregado. Este es un indicador de su resistencia y calidad del agregado grueso porque proporciona información acerca de su durabilidad.

La norma NTE-INEN 860 indica el procedimiento para calcular el porcentaje de desgaste de un material, se utiliza la máquina de los Ángeles se coloca una cantidad de agregado junto con la carga abrasiva (esferas de acero), por medio de revoluciones se produce un choque continuo entre el agregado y las esferas.

La diferencia entre la masa inicial y la masa luego del ensayo permite el cálculo del desgaste de un agregado mediante la siguiente ecuación:

$$(\%)D = \frac{B-C}{B} \times 100 \quad [6]$$

Donde:

D = valores de degradación expresado en %.

B = masa inicial de la muestra de ensayo, en g.

C = masa de la muestra retenida en el tamiz de 1,70 mm, después del ensayo, en g.

La tabla 3.6 muestra los resultados de los valores obtenidos en los ensayos de abrasión. Según norma NTE INEN 872 el valor máximo de desgaste de un árido para hormigón debe ser 50%. Ver ANEXO I. ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LOS AGREGADOS.

**Tabla 3.6** Valores de resistencia a la abrasión del agregado grueso

<b>Numero de esferas 12</b>	<b>Cantera Picoasa Manabí</b>	<b>Cantera Catamayito</b>
Masa inicial de Ensayo (g)	5034	5000,8
Masa retenida en Tamiz 1.75mm después de 500 Rev. (g)	3227,3	4699
Valor de Abrasión (%)	35,44	6%

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor

### 3.7 Determinación de sulfatos en el agregado grueso y fino

El contenido de sulfatos en los agregados casi siempre es muy bajo, estos se presentan en mayor cantidad cuando el hormigón se encuentra expuesto a aguas subterráneas, lagos o pozos; pudiendo ingresar a la masa de concreto y provocar reacciones expansivas.

Para analizar si un agregado tiene presencia de sulfatos se lo hace mediante la Norma ASTM C88 que determina la estabilidad a la disgregación de un agregado mediante el uso de sulfato de sodio o magnesio. Para la cual se analiza las muestras de arena de mar y los agregados finos y grueso de la zona de estudio.

Este ensayo se lleva a cabo por medio de inmersión repetida del árido en solución saturada en sulfato de sodio, seguidas de secado en horno a 110°C hasta lograr deshidratar parcial o totalmente las sales precipitadas en los espacios de los poros permeables; este método proporciona un estimado preliminar de la estabilidad a la disgregación de los agregados.

Según norma ASTM C33 el agregado fino debe tener una pérdida ponderada no mayor al 10% cuando se utiliza sulfato de sodio y en el caso del agregado grueso 18%.

La tabla 3.7 muestra los valores de pérdida de material o resistencia de disgregación de los materiales tanto fino como grueso. Ver ANEXO I. ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LOS AGREGADOS

**Tabla 3.7** Valores de resistencia a la disgregación de los materiales en solución de sulfato de sodio.

Material	Perdida Compensada en (%)	Observaciones
Arena de mar	2,2	< 12% Según INEN NTE 863 2011
Arena Triturada Picoaza	10,7	
Agregado grueso Manabí	12,2	
Agregado grueso Catamayito	1,9	

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

### 3.8 Determinación de pH, sulfuros y cloruros del agua de mezcla.

Una fuente potencial de cloruros y sulfatos en el concreto puede ser el uso de agua de mala calidad, el ACI y la Norma Ecuatoriana de Construcción consideran que cualquier agua que pueda ser bebible (agua potable es buena para el amasado del concreto), que no contenga impurezas de manera visible que puedan afectar a la composición del hormigón. De esta información y de nuestras visitas a Bahía de Caraquez se ha determinado que en la zona el agua utilizada para el amasado de hormigón es agua extraída de pozos y en otros casos agua del río Canoa; en el cual existe la posibilidad de contaminantes biológicos.

Por esto se realiza un análisis de presencia de cloruros y sulfatos en el agua los mismos que pueden afectar a las mezclas de diseño, de igual manera para el pH, porque el agua que se usa en el amasado de concreto debe estar en un rango de pH entre 6-9.

La tabla 3.8 muestra los valores obtenidos del análisis químico del agua que se utiliza en el diseño de las mezclas de hormigón. Ver ANEXO II. ENSAYOS QUIMICOS DEL AGUA PARA AMASADO DEL HORMIGON.

**Tabla 3.8** Resultados de ensayo químico del agua.

<b>Agua Rio Canoa</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>	<b>Limites ACI 318</b>
pH	Adimensional	8,1	6 - 9
Sulfatos	$\frac{\text{mg}}{\text{l}}$	780	150 - 1500
Cloruros	$\frac{\text{mg}}{\text{l}}$	353,61	1500
<b>Agua Pozo Bahía</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>	<b>Limites ACI 318</b>
pH	Adimensional	8,04	6 - 9
Sulfatos	$\frac{\text{mg}}{\text{l}}$	33	150 - 1500
Cloruros	$\frac{\text{mg}}{\text{l}}$	198,02	1500

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

### **3.9 Caracterización y determinación de presencia de sales en la arena de mar mediante el ensayo de Difracción de Rayos X (DRX).**

La difracción de rayos X (DRX) permite identificar las fases cristalinas de un material, este fenómeno se provoca como resultado de la interacción de los rayos X con los átomos de las sustancias cristalinas. Para realizar este ensayo se necesita de la preparación de una muestra de 30g que serán totalmente secados a horno, para luego ser pulverizado y cuarteado, de esta muestra seleccionar una de 3g para el DRX y luego un ensayo macroscópico para verificación de resultados.

Las muestras fueron enviadas al laboratorio de DRX, analizadas en el difractómetro Brucker del departamento de Físico-Química las mismas que recibieron dos tipos de análisis uno cualitativo y otro cuantitativo.

El análisis cualitativo se lo desarrolló en el software EVA, modificando la muestra en su eje X en función del pico del cuarzo y posteriormente se sustrajo el background de la muestra (ruido) sin suavizar los picos. Luego se dejó que el programa identifique los picos y estos se compararon en función del análisis macroscópico y el análisis químico mismo.

En el análisis cualitativo se modificó la posición del difractograma en su eje X en función del cuarzo, luego se añadieron las fases interpretadas en el cualitativo y se refinaron los resultados modificando tolerancias en la estructura cristalina.

La figura 3.9 a) y 3.9 b) muestran los resultados del DRX de una muestra de arena de mar sin alteración alguna y la otra una muestra de arena de mar con un periodo de lavada para eliminación de posibles sales. Ver ANEXO III. RESULTADO DEL ENSAYO DE DIFRACCION DE RAYOS X (DRX).



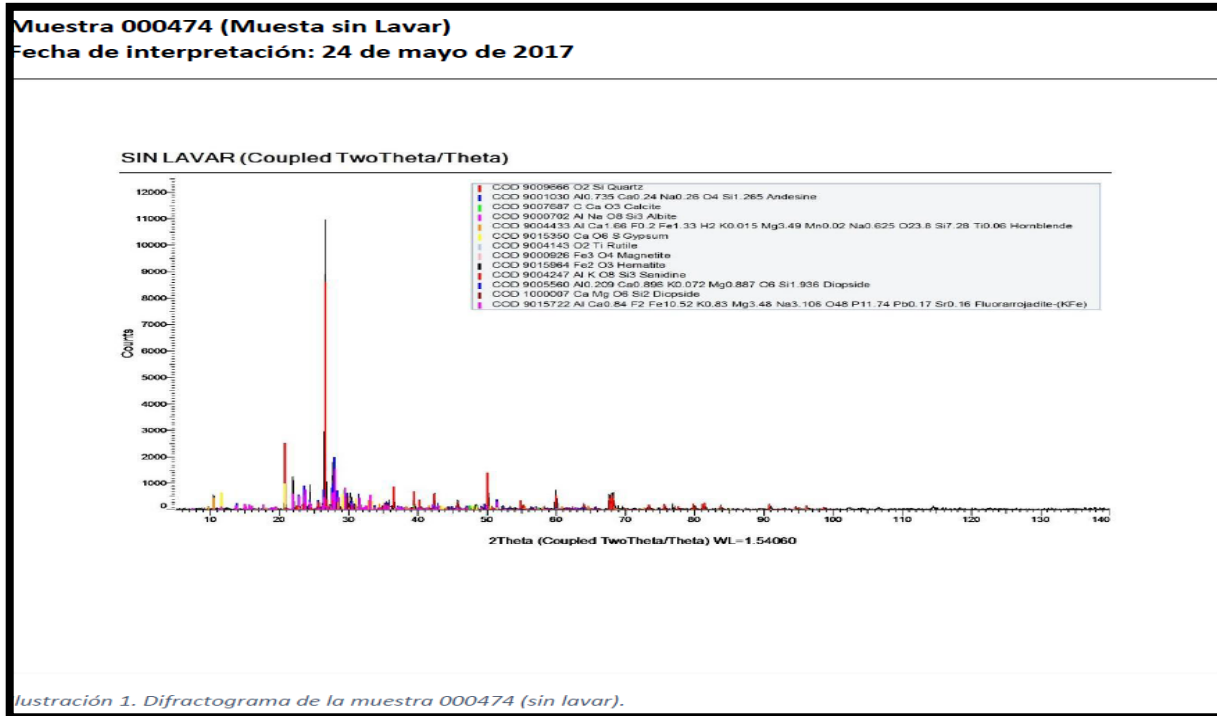


Ilustración 1. Difractograma de la muestra 000474 (sin lavar).

Figura 9. DRX de la arena mar.

Fuente: Laboratorio de Mineralogía y Petrografía de la UTPL

Elaboración: El autor.

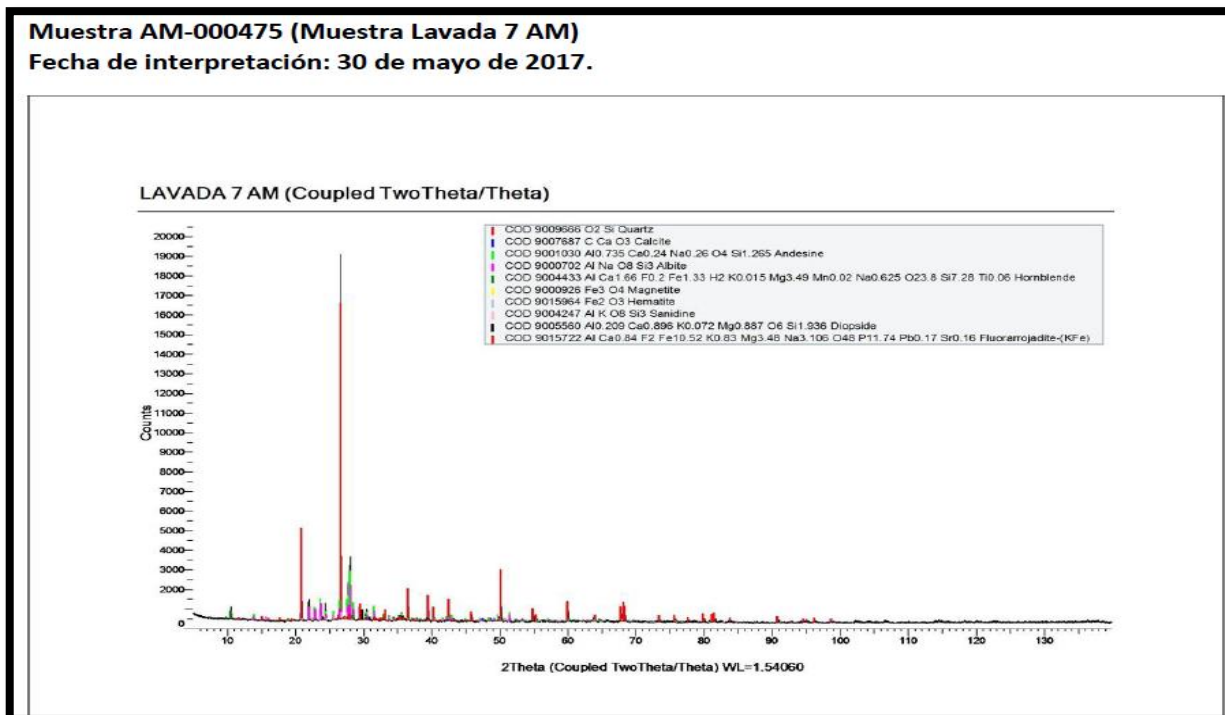


Figura 10. DRX de la arena mar con período de lavado de siete días.

Fuente: Laboratorio de Mineralogía y Petrografía de la UTPL

Elaboración: El autor.

### **3.10 Extracción de núcleos (testigos) de la zona de estudio.**

La extracción de testigos muchas veces puede ser conflictiva para algunos propietarios ya que se pueden presentar algún daño a la estructura si no se elige de manera correcta el lugar de extracción, pero en la mayoría de casos en la extracción de núcleos el daño estructural es mínimo. En nuestro caso las edificio Albatros y Vista azul se encuentran en proceso de demolición no existe problema al momento de realizar la actividad de extracción, tomando las debidas normas de seguridad debido al proceso inestabilidad de los edificios y la posibles réplicas sísmicas.

La extracción de estos testigos se lo hace con el fin de poder verificar como se encuentran construidas estas edificaciones, conocer la composición de la masa de hormigón extraída y comprobar en alguno de los casos; si es factible , el uso de arena de mar como material de construcción.

Estos testigos serán ensayados mediante la prueba de resistencia a la compresión simple para determinar si los procesos constructivos de las viviendas de Bahía de Caráquez. Además a estos núcleos se les realiza una prueba de pH para determinar la existencia de sales que alteren la consistencia del concreto por medio de agentes nocivos.

En la tabla 3.10 se muestran el número de testigos extraídos, sus valores de resistencia a la compresión simple y pH.

**Tabla 3.10** Valores de resistencia y pH de núcleos extraídos en la zona de estudio.

Probetas	Medidas		Resistencia a la compresión simple $\left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)$	pH Promedio (adimensional)
	Diámetro (cm)	Altura (cm)		
Edificio Albatros				
M1- PP	7,5	15,2	113,5	<b>10,80</b>
M1-3P-1	7,5	9,8	142,5	
M2-3P-1	7,5	9,8	98,5	
M2-3P-2	7,5	10,1	122,2	
M2-3P-3	7,4	15,3	83,1	
M2-3P-4	7,49	8,8	124,1	
M2-3P-5	7,5	15,3	92	
<b>Edificio Vista Azul</b>				
CB1-1P-1	7,4	14,7	113,5	<b>10,86</b>
CD2-1P-1	7,5	15,2	76,1	
CB1-1P-2	7,49	9,3	81,4	

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.



Fotografía 11: Extracción de núcleos en edificios de la zona de estudio.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

### **3.11 Diseño de las mezclas de hormigón**

En este apartado se detalla las diversas mezclas de concreto que se diseñan con los materiales expuestos en apartados anteriores deben cumplir con los requerimientos de las norma NEC en cuanto a calidad y resistencia, además de cumplir con el objetivo de esta investigación un hormigón económico, resistente y durable.

La metodología que se sigue para el diseño de las mezclas de concreto es el método Volumen Absoluto del ACI, ya que es el método más utilizado en el diseño de concreto.

Como el objetivo que se pretende alcanzar mediante este trabajo de investigación es proveer una mezcla de concreto por medio del uso de la arena de mar como materia principal; tomando como base los estudios previos de la arena mar como estrategia de diseño, se decide realizar mezclas de arena de mar con arena fina triturada de cantera, debido a que la arena de mar no cumple con los requisitos de módulo de finura requeridos para el diseño de hormigón,

además de no poseer una curva granulométrica óptima que se encuentre dentro de los rangos de diseño.

Las mezclas de agregado fino que se usan para el diseño de concreto son designadas mediante la siguiente denominación:

- Clase A = 60% arena de mar – 40% arena triturada
- Clase B = 50% arena de mar - 50% arena triturada
- Clase C = 40% arena de mar – 60% arena triturada

Para comparar economía, calidad, y resistencia a la compresión simple se realizan las mezclas de concreto de Clase M (100% arena de mar) y Clase T (100% agregados triturados) para obtener diseños que se asemejen a lo que se encuentra en la zona de estudio.

Para diseñar las mezclas de concreto que aquí se proponen se sigue el procedimiento que se detalla en el apartado 2.8.1 de este informe, además de tomar en cuenta las siguientes consideraciones generales de diseño:

- Resistencia a la compresión especificada 24 MPa
- Condiciones de Exposición Moderadas
- Asentamiento se toma como máximo un valor de 75 mm y mínimo 25mm
- La arena de mar se somete a un proceso de lavado de 7 días para eliminar la presencia de posibles sales a excepción de la mezcla denominada clase M.

La tabla 3.11 Ver anexo II. Diseño de mezclas de concreto. Muestran las diferentes mezclas de concreto que se diseñan, con sus variaciones en el material fino (mezcla arena de mar- arena triturada), además de los diseños hechos con materiales sin mezclar y que son la base para los diseños con combinaciones de material fino. Estas dosificaciones fueron calculadas para nueve cilindros de ensayo de 10x20 cm, es decir un volumen de 0,006 m<sup>3</sup>

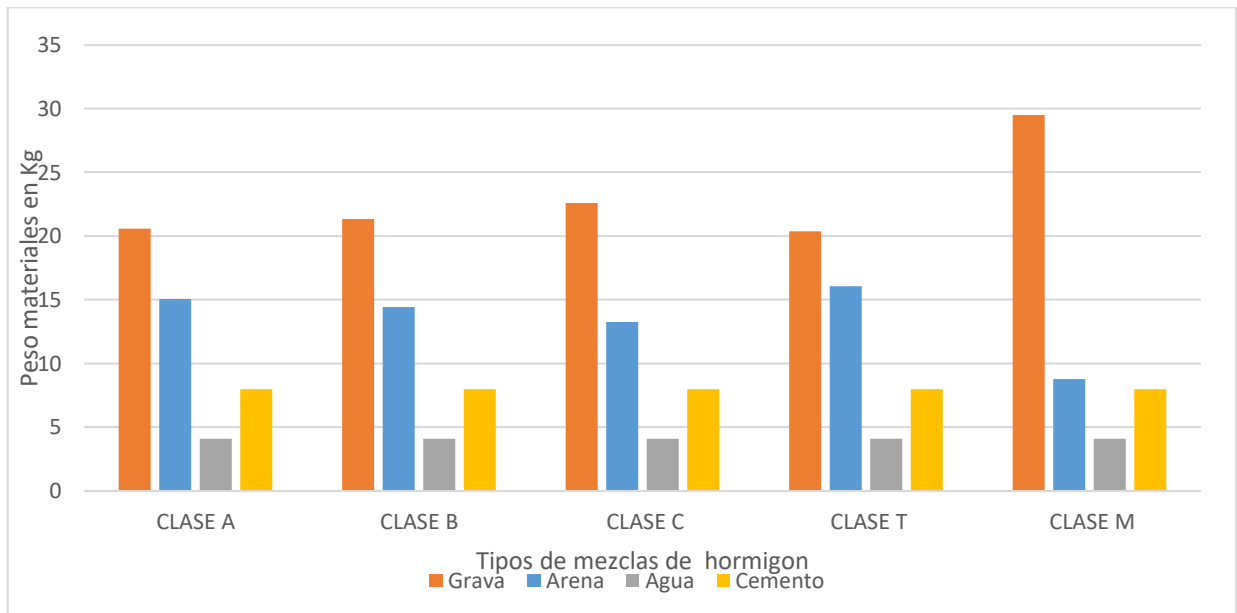
**Tabla 3.11.** Resultados de las proporciones de los materiales para las mezclas de hormigón según su tipo.

Tipo de mezcla	Clase A	Clase B	Clase C	Clase T	Clase M
Arena (Kg)	15,07	14,42	13,25	16,04	8,77
Grava(Kg)	20,59	21,34	22,60	20,37	29,48
Agua(Kg)	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
Cemento(Kg)	8	8	8	8	8

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

La figura 12 muestra la comparación de los materiales para los cinco diseños de hormigón.



**Figura 12.** Cuadro comparativo de las proporciones de las diferentes mezclas de concreto.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

### **3.12 Cálculo de la presencia de cloruros solubles en el agua, en testigos extraídos de la zona de estudio y especímenes diseñados para la investigación.**

Cuando los materiales que se utilizan en una construcción no son los habituales (canto rodado, grava y arena de río), surge una incertidumbre sobre el comportamiento de estos como parte de una mezcla de hormigón.

Más aún, sabiendo que en la zona en la que se desarrolla y se ve enfocada esta investigación se ha comprobado por inspecciones visuales desarrolladas por y por encuestas rápidas e informales hechas a las personas afectadas que los materiales empleados presentan una alta agresividad a una mezcla de concreto. Este es el caso del uso de arena de mar para construcción, en especial en estructuras de recursos deprimidos y bajos sin supervisión técnica.

Como es conocimiento por lo antes expuesto, la arena de mar puede acarrear consigo un sin número de problemas, uno de ellos es la presencia de sales de cloruros que pueden provocar graves afectaciones a un diseño y mezcla de concreto, como también a una obra ya construida.

La Norma ASTM C1152 indica el procedimiento a seguir para determinar los cloruros solubles en ácido y en agua:

- De todas las probetas de ensayo que corresponde a cinco clases, se obtiene aproximadamente  $10g \pm 0,01$  de polvo de concreto (por proceso de pulverizado).
- Colocar el polvo concreto en un vaso de precipitados de 250 ml.
- Se adiciona 50 ml de agua destilada.
- Se coloca en una plancha de calentamiento o evaporador la mezcla para hervir por cinco minutos y luego se deja de reposar por 24 horas.
- Filtrar por gravedad a través de un filtro de papel de textura fina.
- Se agrega 3ml de ácido nítrico y 3ml de preoxico de hidrógeno.
- Se cubre con una luna de reloj y se pone a reposar la mezcla de 1 a 2 minutos, luego de esto se calienta hasta llegar a la ebullición por unos dos segundos máximo.

- Por último se procede a la titulación de la mezcla por medio de una solución de nitrato de plata hasta conseguir un cambio de color de la mezcla.

La tabla 3.12 muestra que las mezclas diseñadas presentan un bajo contenido de cloruros en general que se expresa en porcentaje.

**Tabla 3.12.** Contenido de cloruros en las mezclas de concreto.

Muestra	Peso (g)	pH	Solución (ml)	% Cloruros	Cloruros en mg/l
Edificio Albatros	10 ± 0.01	7,61	175,5	0,075	0,032
Edificio Vista Azul	10 ± 0.01	8,23	35,7	0,25	0,1
A	10 ± 0.01	8,36	14,4	0	0
C	10 ± 0.01	8,61	175,5	1,73	0,79
M	10 ± 0.01	8,1	108,75	0,56	0,512
T	10 ± 0.01	8,59	60,4	0,49	0,22

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Los valores de la tabla 3,12 muestran que el proceso de lavado y la estrategia de mezclar arena de mar con arena fina triturada disminuye, e incluso se elimina la presencia de cloruros en el material fino, obteniendo valores que se encuentran dentro del rango del ACI.

### 3.13 Porosidad del concreto

La porosidad en el concreto es una característica muy importante y de esta depende otras propiedades como la resistencia a la compresión y durabilidad.

Dentro del concreto existen poros, la presencia de uno solo no produce ningún efecto pero debido a la naturaleza porosa del concreto, existen una infinidad de poros de distinto tamaño que se encuentran conectados entres si, formando redes de poros. La porosidad del concreto depende básicamente de la relación agua-cemento.

La presencia de poros en el concreto que se encuentra expuesto a ambientes agresivos, presencia de sales puede producir graves daños en las estructuras como baja resistencia, menor durabilidad a lo largo de vida de servicio, la aparición de grietas debido a esfuerzos de compresión o tensión que pueden



llevar a la corrosión del acero debido a presencia de humedad y de las mismas sales de materiales.

La norma ASTM C 642 nos indica el procedimiento para el cálculo del porcentaje de poros por el proceso de absorción de vapor de gas. Para realizar este ensayo se utilizó dos de nueve cilindros elaborados por cada mezcla. El criterio de evaluación establece que si %P < 10 la calidad del Hormigón es alta, entre 10 y 15 es buena, y finalmente, si es > 15 la calidad es baja.

Los pasos a seguir para el ensayo de poros son los siguientes:

- Luego del proceso de curado se selecciona dos cilindros de cada mezcla y se lo pesa en condición superficialmente seco.
- Se los coloca en horno a 110 °C ± 5 para secado por un periodo de 24 horas o hasta que se encuentren en su totalidad secos, y se toma este peso.
- Luego se los lleva a un proceso de ebullición por un periodo de tiempo de 5 horas, después se lo deja enfriar por 14 horas se le remueve la humedad superficial en caso de que existe presencia de humedad aun con una toalla y se determina este peso.

Los cálculos se realizan por medio de las siguientes ecuaciones dadas por norma ASTM C 642:

$$\text{Absorción después de la inmersión (\%)} = ((B - A)/A) \times 100 \quad [7]$$

$$\text{Absorción después de inmersión y ebullición (\%)} = ((C - A)/A) \times 100 \quad [8]$$

$$\text{Densidad seca global o bruta} = \left[ \frac{A}{(C - D)} \right] \rho = g \quad [9]$$

$$\text{Densidad global (o bruta) después de inmersión} = \left[ \frac{B}{(C - D)} \right] \rho \quad [10]$$

$$\text{Densidad global después de inmersión y ebullición} = \left[ \frac{C}{(C - D)} \right] \rho \quad [11]$$

$$\text{Densidad aparente} = \left[ \frac{A}{(A - D)} \right] \rho = g_2 \quad [12]$$

$$\text{Volumen de vacíos (espacios de poros permeables)} = \frac{(g_2 - g_1)}{g_2} \times 100 \quad [13]$$

O bien %

$$\text{Volumen de vacios} = \frac{(C-A)}{(C-D)} \times 100 \quad [14]$$

Donde:

A = Masa de muestra seca al horno, al aire, medida en g

B = Masa de muestra saturada de superficie seca después de inmersión, g

C = Masa de muestra saturada de superficie seca después de inmersión y ebullición, g

D = Masa sumergida aparente de la muestra suspendida en agua, después de inmersión y ebullición, g

$g_1 = \text{Densidad global (bruta) seca, } \frac{Mg}{m^3}$

$g_2 = \text{Densidad aparente, } \frac{Mg}{m^3}$

$\rho = \text{Densidad del agua} = 1 \frac{Mg}{m^3} = 1 \frac{g}{cm^3}$

La tabla 3.13 muestra los valores obtenidos del ensayo de porosidad se determina que los hormigones diseñados son de calidad alta y como la porosidad es relación de  $f'_c$  se obtienen valores altos superando al valor de diseño impuesto; exceptuando los de clase T que presenta una calidad buena debido a que el porcentaje de poros es del 11% pero su resistencia es la deseada.

La tabla 3.13. Muestra los resultados del ensayo de porosidad.

MUESTRA	ABSORCIÓN DESPUES DE INMERSIÓN	ABSORCIÓN DESPUES DE INMERSIÓN Y EBULLICIÓN	DENSIDAD SECA GLOBAL (o BRUTA) g1	DENSIDAD GLOBAL (o BRUTA) DESPUES DE	DENSIDAD GLOBAL (o BRUTA) DESPUES DE	DENSIDAD APARENTE g2	VOLUMEN DE VACIOS ( ESPACIO DE POROS	Calidad del hormiogn	Resistencia a la compresion simple (Mpa)
UNIDADES	%	%	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%		
FORMULA	$[(B-A)/A] \times 100$	$[(C-A)/A] \times 100$	$[A/(C-D)], \rho = g.$	$[B/(C-D)], \rho$	$[C/(C-D)], \rho$	$[A/(A-D)], \rho = g2$	$(g2-g1)/g2 \times 100$		
A8	4,67	3,85	2,27	2,37	2,36	2,48	8,72	Alta	29,75
A9	4,94	3,98	2,26	2,38	2,35	2,49	9,01	Alta	
B8	5,00	4,03	2,25	2,36	2,34	2,47	9,06	Alta	36,94
B9	5,09	4,13	2,26	2,38	2,36	2,50	9,35	Alta	
C8	4,98	3,87	2,26	2,37	2,35	2,48	8,75	Alta	37,06
C9	4,70	3,60	2,26	2,37	2,34	2,46	8,13	Alta	
M9	4,82	3,52	2,42	2,54	2,50	2,64	8,52	Alta	19,67
M8	4,92	3,63	2,43	2,55	2,52	2,66	8,81	Alta	
T9	6,65	5,02	2,30	2,46	2,42	2,60	11,56	Buena	25,74
T8	6,90	5,10	2,30	2,46	2,42	2,61	11,75	Buena	

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

El criterio de evaluación establece que si  $\%P < 10$  la calidad del Hormigón es alta, entre 10 y 15 es buena, y finalmente, si es  $> 15$  la calidad en baja, de acuerdo a este análisis los valores de la tabla 3.13 presentan hormigones de alta calidad lo que indica hormigones con  $f'_c$  por encima del estimado para esta investigación que es de 24 MPa, a excepción de los diseños de tipo clase M.

## **CAPÍTULO 4: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

## **4.- Análisis y discusión de Resultados**

### **4.1. Comparación de materiales y proporciones de las mezclas**

En el presente apartado se presentan los resultados que se obtienen de las variaciones de los materiales y de sus proporciones de las cinco mezclas de diseño de concreto que se hacen para llegar a alcanzar el objetivo principal de este trabajo de investigación.

Las mezclas clase M y clase T son realizados con arena de mar y agregados triturados en su totalidad respectivamente provenientes de Bahía de Caraquez con el propósito de igualar diseños a los existentes en la zona de estudio, esto en cuanto a materiales con un diseño correcto se considera las deficiencias y virtudes de estos materiales para posteriormente corregirlos.

Los diseños de las mezclas de clase A, B y C son realizados con las mezclas de arena de mar y arena triturada de acuerdo a las proporciones de diseño, para corregir la presencia excesiva de finos presentes en la arena de mar y por ende disminuir el porcentaje de agregado grueso, que sucede en los tipos M y T. Las variantes en las que se encuentra las mezclas de arena de mar y arena fina triturada de cantera son:

- Clase A = 60% arena de mar – 40% arena triturada
- Clase B = 50% arena de mar – 50% arena triturada
- Clase C = 40% arena de mar – 60% arena triturada

Con esta estrategia de diseño se pretende obtener mezclas económicas, durables y resistentes.

**Tabla 4.1** Muestra una comparación entre las diversas mezclas de concreto.

<b>Cuadro comparativo de los diseños de las mezclas de concreto: <math>\left(\frac{a}{c} = 0,50\right)</math></b>					
	<b>CLASE A</b>	<b>CLASE B</b>	<b>CLASE C</b>	<b>CLASE M</b>	<b>CLASE T</b>
ARENA (Kg)	13,25	14,42	15,07	8,77	16,04
GRAVA (Kg)	22,6	21,34	20,59	29,48	20,37
AGUA (Kg)	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
CEMENTO(Kg)	8	8	8	8	8
<b>M.F</b>	1,98	2,24	2,5	0,94	3,35

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

De la figura 13 se puede determinar que los diseños de clase B y C requieren menor cantidad de material grueso lo que significa ahorro económico. También podemos ver que estos diseños cumplen con el requisito de módulo de finura encontrándose dentro del rango 2,1 a 3,6 se observa que son materiales óptimos para diseño de hormigón.

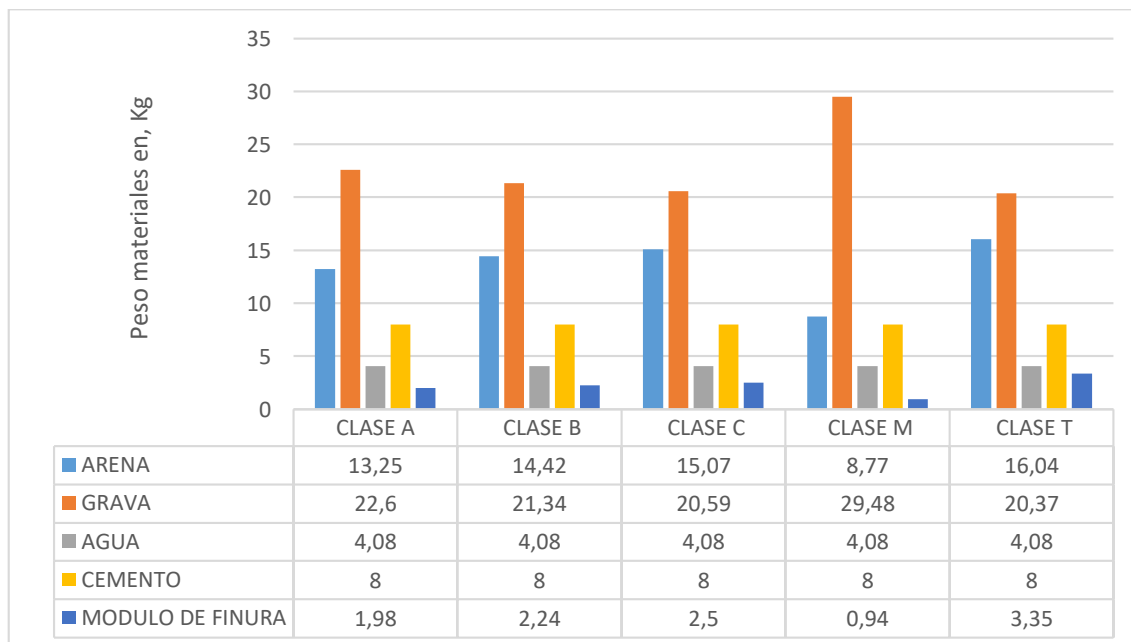


Figura 13. Muestra una comparación de proporciones de materiales entre los diseños de las diferentes mezclas.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor

#### 4.2. Comparación de resistencias de las mezclas con respecto al asentamiento.

En la tabla 4.2 se muestran las resistencias a la compresión simple que se obtuvieron de los diseños de las cinco diferentes mezclas en total 45 cilindros de ensayo. Los resultados aquí mostrados dan una guía del comportamiento de los materiales y proporciones de los mismos descritos en el epígrafe 4.1 y cuál es la mezcla más idónea que mejor se adapta y cumple con los requisitos de resistencia a compresión simple de 24 MPa requeridos para este trabajo de investigación.

**Tabla 4.2 Muestra los valores de resistencia a la compresión de las mezclas de diseño.**

Resistencia a la compresión a los 28 días en MPa					
Probeta	Clase A	Clase B	Clase C	Clase M	Clase T
1	30,37	39,75	36,314	21,65	25,17
2	30,84	37,29	39,521	20,05	24,96
3	31,73	37,09	35,794	24,24	26,31
4	30,88	36,98	38,726	17,54	28,53
5	29,95	36,76	34,539	22,97	28,49
6	26,15	35,53	38,667	16,62	25,05
7	28,34	35,21	35,882	17,33	25,25
Revenimiento (cm)	3,5	7	6	11	3
M. F	1,98	2,24	2,5	0,94	3,35

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor

La figura 7 compara los valores de resistencia a la compresión simple de los cinco diseños de hormigón se observa las mezclas que mejor se comportan ante la aplicación de cargas, los resultados obtenidos de  $f'_c$  superan en 60% al  $f'_c$  del proyecto exceptuando los diseños de tipo clase

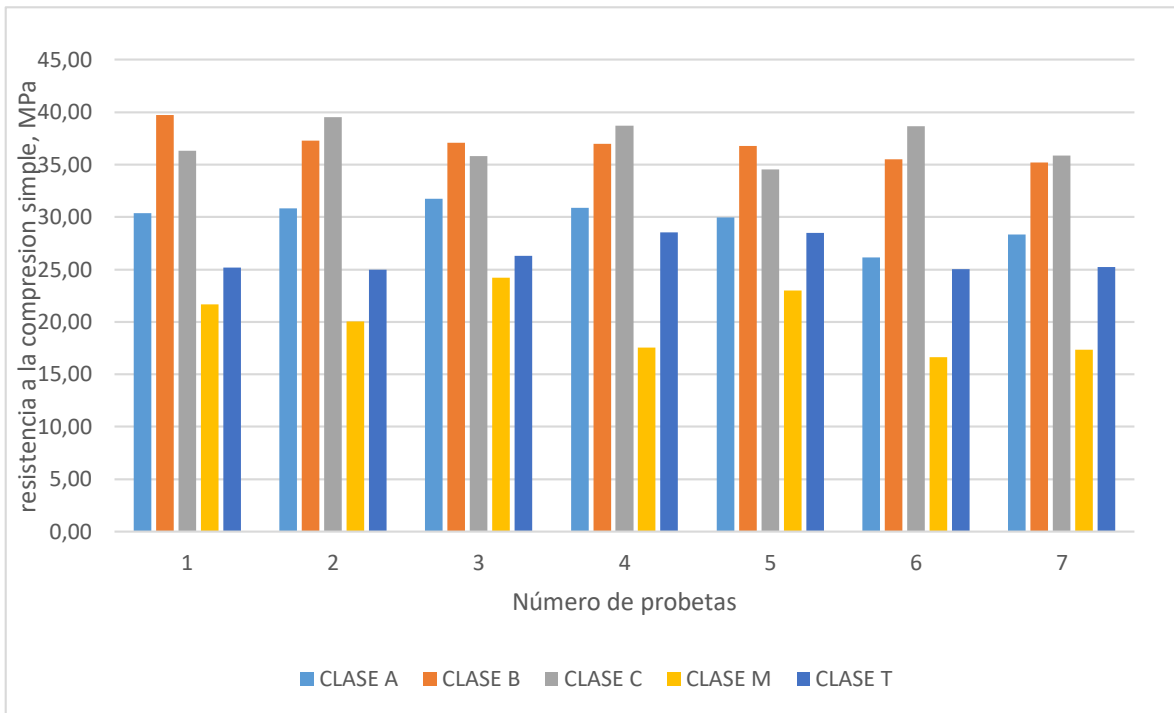
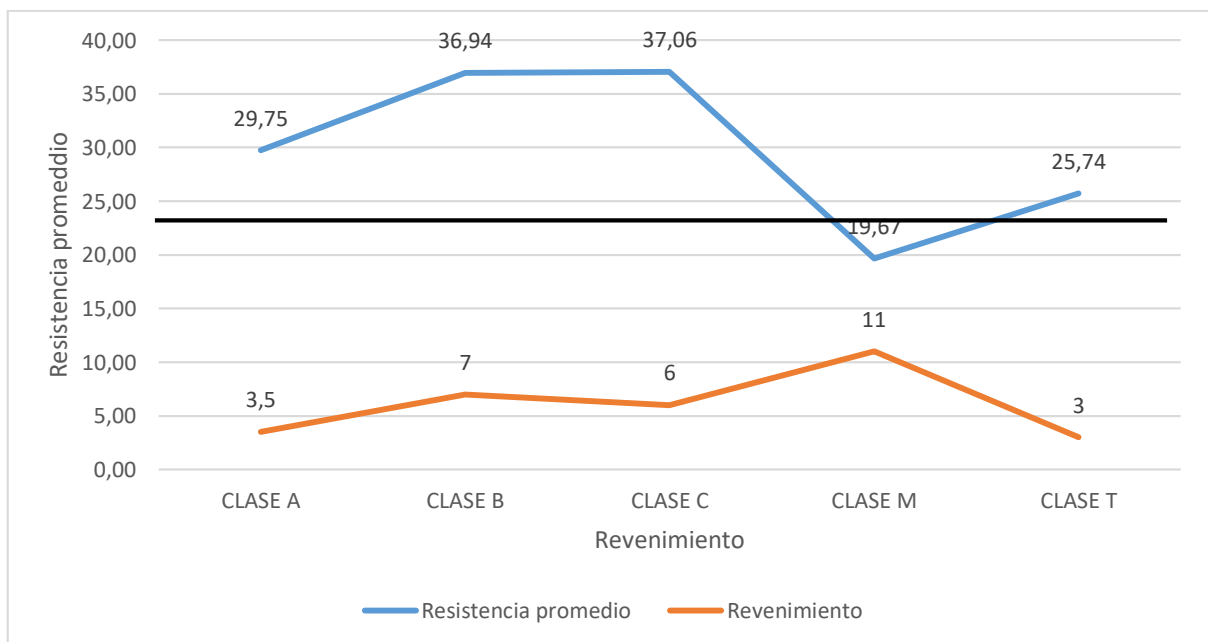


Figura 14. Muestra la comparación de las mezclas entre sus siete probetas.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor



La figura 15. Muestra la comparación entre la resistencia promedio de cada mezcla versus el asentamiento de las mismas.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor



Las figuras 14 y 15 dejan ver que los diseños de hormigón de clase B y C mediante el ensayo de compresión simple dan mayor valor de resistencia y estos diseños son los que se encuentran dentro del rango requerido de revenimiento de 2,5 cm a 7.5 cm determinado por el ACI-318-08 para mezclas de concreto.

#### **4.3 Análisis y comparación de la porosidad del concreto con respecto a la resistencia a la compresión.**

El agua que contiene sustancias nocivas (cloruros y sulfatos) penetran la masa de hormigón que contiene poros, en donde se aloja agua, gases y cuando se experimenta variación de temperatura y cargas mayores a las previstas se producen fisuras y a veces grietas, incluso carbonatación y actividad microbiana.

Para el ensayo de porosidad de los distintos diseños de hormigón se escogió dos probetas de cada una de las mezclas, luego del período de 28 días de curado se realiza el ensayo de absorción; a estas probetas no se las considera en los resultados de resistencia a la compresión por el proceso de afectación durante el ensayo.

Para evaluar el concreto en cuanto al porcentaje de poros se tiene en cuenta el criterio dado por la Norma ASTM C1152:

- % P < 10 = Calidad del concreto ALTA
- % P entre 10 y 15 = Calidad del concreto BUENA
- % P > 15 = Calidad del concreto BAJA

Tomando en consideración este criterio en la tabla 4,3 se muestran los resultados del ensayo de porosidad en las mezclas de diseño. Que una mezcla cumpla con los parámetros en cuanto a porosidad no significa que su resistencia sea alta o cumpla con el requisito de diseño de 24 MPa.

**Tabla 4.3** Resultado del ensayo de porosidad al concreto.

MUESTRA	ABSORCIÓN DESPUES DE INMERSIÓN	ABSORCIÓN DESPUES DE INMERSIÓN Y EBULLICIÓN	DENSIDAD SECA GLOBAL (o BRUTA) g1	DENSIDAD GLOBAL (o BRUTA) DESPUES DE	DENSIDAD GLOBAL (o BRUTA) DESPUES DE	DENSIDAD APARENTE g2	VOLUMEN DE VACIOS (o ESPACIO DE POROS)	Calidad del hormiogn	Resistencia a la compresion simple (Mpa)
UNIDADES	%	%	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%		
FORMULA	$[(B-A)/A] \times 100$	$[(C-A)/A] \times 100$	$[A/(C-D)], \rho = g_1$	$[B/(C-D)], \rho$	$[C/(C-D)], \rho$	$[A/(A-D)], \rho = g_2$	$(g_2 - g_1)/g_2 \times 100$		
A8	4,67	3,85	2,27	2,37	2,36	2,48	8,72	Alta	29,75
A9	4,94	3,98	2,26	2,38	2,35	2,49	9,01	Alta	
B8	5,00	4,03	2,25	2,36	2,34	2,47	9,06	Alta	36,94
B9	5,09	4,13	2,26	2,38	2,36	2,50	9,35	Alta	
C8	4,98	3,87	2,26	2,37	2,35	2,48	8,75	Alta	37,06
C9	4,70	3,60	2,26	2,37	2,34	2,46	8,13	Alta	
M9	4,82	3,52	2,42	2,54	2,50	2,64	8,52	Alta	19,67
M8	4,92	3,63	2,43	2,55	2,52	2,66	8,81	Alta	
T9	6,65	5,02	2,30	2,46	2,42	2,60	11,56	Buena	25,74
T8	6,90	5,10	2,30	2,46	2,42	2,61	11,75	Buena	

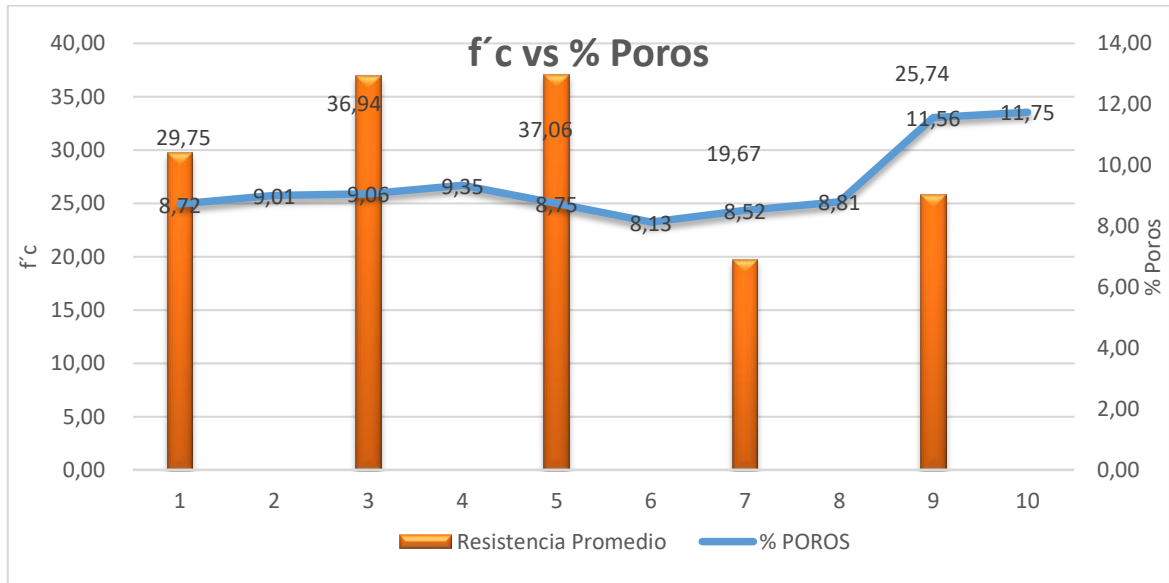
Fuente: El autor.

Elaboración: El autor

La tabla 4.3 muestra que las mezclas diseñadas clase A,B,C presentan alta calidad por la baja presencia de poros, así mismo la resistencia a la compresión simple esta intrínsecamente ligada a la porosidad, mezclas con menor presencia de poros presentan mayor resistencia superando en 60% al valor de diseño. Se debe observar que la mezcla clase T la porosidad se cumple pero la resistencia a la compresión simple no cumple obtenido un valor de 25,74 MPa cuyo exceso es de 0,93% por seguridad se desecha.

La mezcla de clase M cumple los requisitos de porosidad pero la resistencia a la compresión simple está por debajo del óptimo de esta investigación, esto sucede porque los vacíos son ocupados por las partículas de la arena de mar, pero ante la acción de la presencia de cargas no existe cohesión entre los agregados produciendo la falla de manera más temprana.

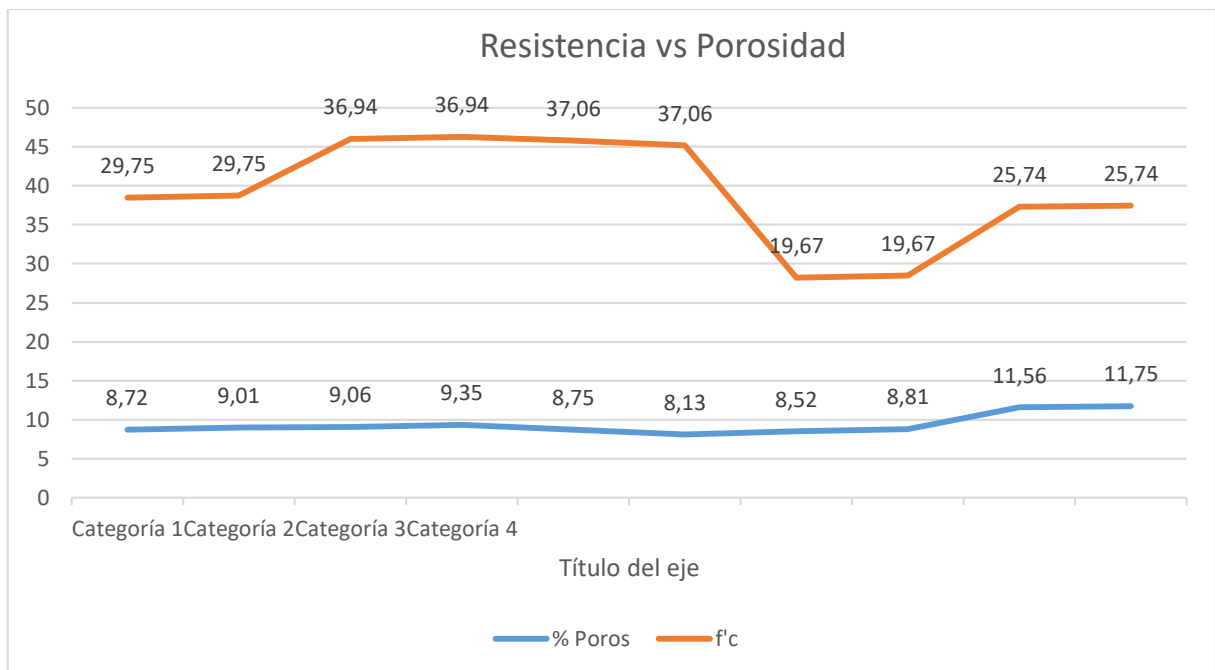
Se realiza la comparación entre  $f'_c$  y %P para asegurar la compresión en un régimen que pueda tener %P en exceso. Así se tiene:



**Figura 16.** Muestra la relación entre porosidad y resistencia promedio de las mezclas.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor



**Figura 17.** Muestra otra comparación de porosidad y resistencia promedio de las mezclas. Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

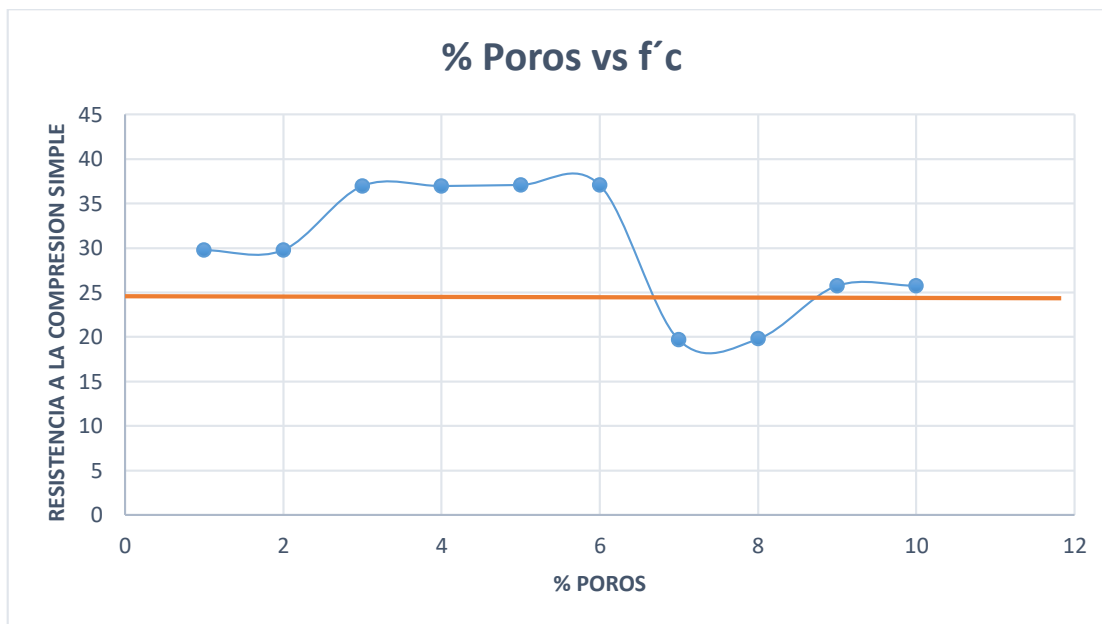


Figura 18. Relación entre porosidad y  $f'_c$ .

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor

Los gráficos 16,17 y 18 muestran que la resistencia a la compresión simple es función de la porosidad lo que se expresa de mejor manera con la expresión:

$$\langle \%P \rangle f'_c \quad [1]$$

Esta expresión se cumple para los diseños A, B, C, T teniendo resistencia alta superando a la de diseño en el mejor de los casos en 60%(diseños B y C), esto no aplica para los diseños de la clase M por no cumplir con el parámetro de  $f'_c$ , no obstante cumple con porosidad.

#### 4.4 Análisis de los resultados del ensayo de cloruros solubles en agua de las muestras de ensayo.

La investigación se desarrolla en el litoral ecuatoriano con un ambiente calificado por el ACI como agresivo para el concreto; debido a la humedad, presencia de sales en los materiales, contacto con el agua de mar; mano de obra no calificada, aumentando la inestabilidad de la estructura, uso de arena de mar como

agregado que sustituya y disminuya la presencia de arena fina triturada de cantera en las mezclas de concreto.

La arena de mar como material para la construcción no es convencional y no es normalizado su uso en Ecuador, en base a los hechos ocurridos por el sismo de Pedernales, se determinó que en ciertas construcciones por lo general en los sectores deprimidos económicamente se la usa, por esto se propone una posible solución a los problemas que se presentan al usar este material al desarrollar este trabajo de investigación.

La arena de mar por el mismo hecho de estar en contacto con las mareas hace pensar en la presencia de sales en su composición y los efectos que esta produce en una mezcla de concreto, por esto se realiza un análisis de presencia de sales y cloruros a las mezclas de diseño y a los testigos obtenidos en las visitas técnicas anteriores; con el objeto de verificar y si hubiere la presencia de estos agentes nocivos, proveer una solución diseñando una mezcla óptima que soporte estos efectos.

**La tabla 4.4** Muestra los resultados del ensayo determinación de cloruros según ASTM C 1152 en las mezclas de concreto de acuerdo a su clase.

<b>Muestra</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>pH</b>	<b>Solución (ml)</b>	<b>% Cloruros</b>
Edificio Albatros	10 ± 0.01	7,61	175,5	0,075
Edificio Vista Azul	10 ± 0.01	8,23	35,7	0,25
Clase A	10 ± 0.01	8,36	14,4	0
Clase C	10 ± 0.01	8,61	175,5	1,73
Clase M	10 ± 0.01	8,1	108,75	0,56
Clase T	10 ± 0.01	8,59	60,4	0,49

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Los resultados presentados en la tabla 4.4 demuestran que las cinco mezclas de concreto diseñadas es nula la presencia de sales y cloruros, incluso en los diseños hechos con arena de mar sin proceso de lavado. Brindando confianza que al seguir diseños y procedimientos óptimos los efectos en la arena de mar como parte de una mezcla de concreto cumple con las normas de diseño para hormigón.

#### 4.5 Análisis del pH de las mezclas en el posible proceso de un frente de carbonatación.

El pH del concreto como ya se explica en el capítulo 2 de esta investigación tiene que estar en un rango de 12 a 14 es decir alcalino, cuando el hormigón está dentro de este rango existe la presencia de la denominada capa de pasivación que protege al acero, si el pH desciende a valores menores a 9 se pierde esta capa protectora natural que brinda el concreto al refuerzo promoviendo la formación de capas de óxido e iniciando un proceso de carbonatación.

Ante la posible presencia de sales hacer un ensayo de pH de las mezclas de diseño y comprobar que estos valores se encuentren dentro de los rangos; para que en el tiempo de vida útil no existan problemas de corrosión y la aparición de fisuras.

La tabla 4,5 muestra los valores obtenidos del ensayo de pH realizado mediante el uso de un peachímetro.

**Tabla 4.5 Muestra los resultados de pH de las mezclas de diseño.**

<b>Muestras</b>	<b>Peso Muestra</b>	<b>pH (12-14)</b>
Edificio Albatros	10.01 g	10.80
Edificio Vista Azul	10.04 g	10.86
Muestra A	10.04 g	11.67
Muestra M	10.02 g	11.68
Muestra T	10.006 g	11.35
Muestra B	10.02 g	11.53
Muestra C	10.009 g	11.74 g

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Los valores de la tabla 4,5 muestran resultados por debajo del rango permitido de 12 a 14, estos ensayos se puede ver afectados por la precisión del equipo medido de pH, el proceso experimental en que se realiza el ensayo, la edad temprana del concreto y el tiempo de exposición de las muestras.

Otra forma de verificar el proceso de carbonatación en el concreto es mediante la aplicación de una solución de fenolftaleína al 1% a las superficies en la que fallan el concreto y en las superficies que hacen mediante procesos de cortado;

el color es el indicativo, si no existe carbonatación un color rosa indica la no presencia del fenómeno, mientras que el no cambio de color de la superficie del concreto nos indica que el proceso se ha iniciado.



Fotografía 19: Muestra el cambio de color del concreto indicando la no presencia de carbonatación.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

#### **4.6 Elección de la mejor opción de diseño en base a parámetros de economía y resistencia.**

El propósito de esta investigación es diseñar concreto mediante el uso de arena de mar que cumpla los requisitos exigidos por la norma NEC como resistencia, durabilidad, porosidad también debe ser económico que se adapte a los sectores deprimidos económicamente.

Para esto se realiza un análisis económico de los posibles costos de las mezclas diseñadas, con los precios de los materiales de la zona de estudio y comparándolos con los que encontramos en nuestra localidad. Considerando que esta opción de diseño escogida debe cumplir parámetros de resistencia a la compresión de 24 MPa que es la óptima en esta investigación.

La tabla 4.6.a) Muestra los precios de los materiales que usan en las construcciones de la zona de estudio y los que se utilizan en Loja.

Bahía de Caráquez		Loja	
Materiales	1m <sup>3</sup>	Materiales	1m <sup>3</sup>
Grava 3/4	25 \$	Grava (canto rodado)	20 \$
Arena	33 \$	Arena de Rio	13 \$
Arena de rio		Grava Triturada	15 \$

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Tabla 4.6 b) Muestra la los valores de los precios de distintas mezclas según su proporción de materiales.

VARIACION DE PRECIOS EN \$ PARA f'c de 24 Mpa										
	CLASE A		CLASE B		CLASE C		CLASE M		CLASE T	
	BAHIA	LOJA	BAHIA	LOJA	BAHIA	LOJA	BAHIA	LOJA	BAHIA	LOJA
CEMENTO	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
ARENA	56,5277189	22,2684953	61,70223795	24,30694222	64,737758	25,5027531	37,03468846	14,58942273	62,8929784	24,7760218
GRAVA	69,2092611	55,3674089	65,01771429	52,01417143	62,3858128	49,9086502	91,4470197	73,15761576	66,4585899	53,1668719
SUMAN	188,73698	140,635904	189,7199522	139,3211137	190,123571	138,411403	191,4817082	150,7470385	192,351568	140,942894

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

La tabla 4.6 b muestra lo que costaría diseñar cada mezclas para un volumen de un m<sup>3</sup>, de este análisis comparativo económico podemos determinar que los diseños de las mezclas tipo B y C son las que presentan un costo menor en su elaboración debido a que la reducción de agregado fino triturado es de un 60% y 50% respectivamente mediante el uso de arena de mar sin verse afectado la característica más importante de diseño que es la resistencia a la compresión simple, siendo estos diseños los que mayor resistencia poseen.

La figura 20 muestra la comparación de costo en dólares para las mezclas diseñadas sin la reducción que se efectúa por el uso de la arena de mar.



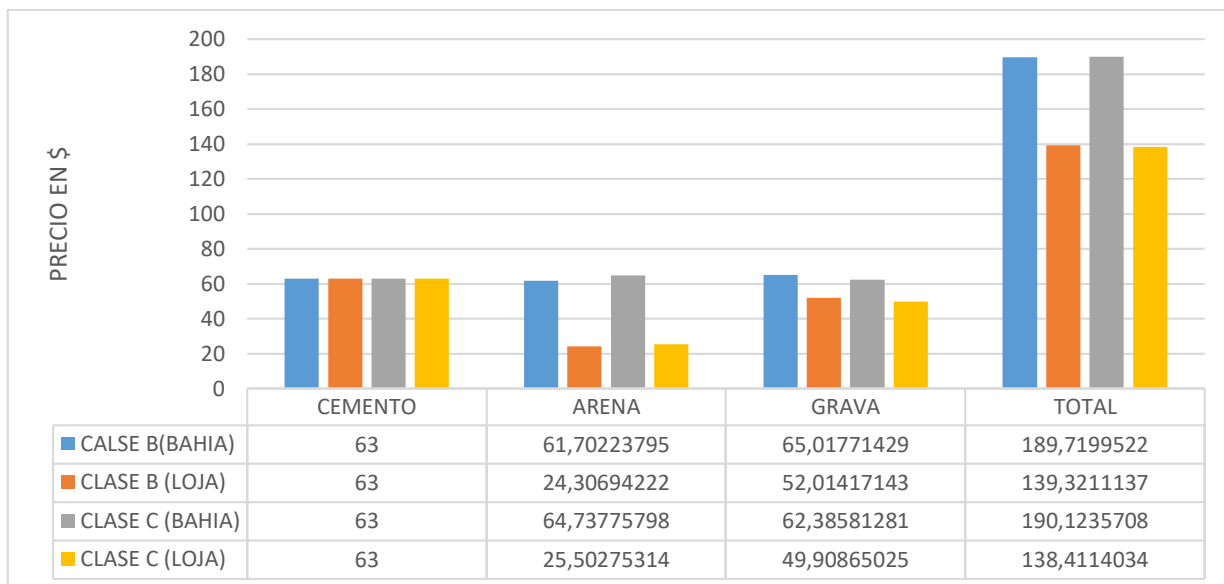


Figura 20. Muestra las mezclas que cumple con requisitos de economía y resistencia.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

La figura 21 muestra lo que costarían las mezclas diseñadas con el uso de la arena de mar presentando una reducción en el costo económico.

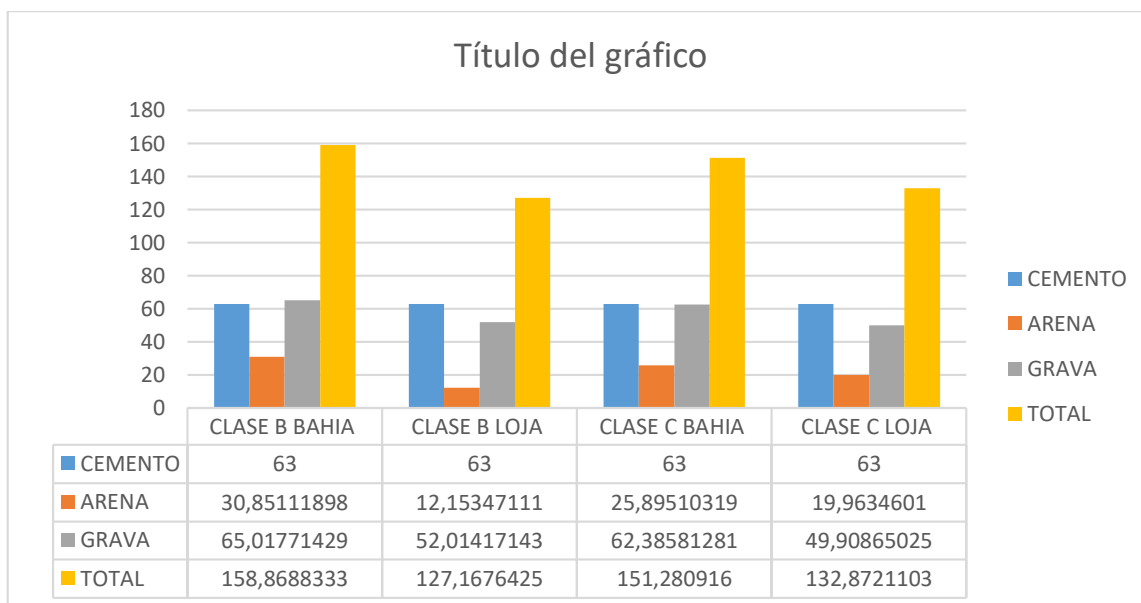


Figura 21. Muestra la reducción en precios luego de restar los factores de 50% y 40%.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

## CONCLUSIONES

- Los ensayos químicos (sulfatos < 12%, cloruros 0.51%, pH 11.59, fenolftaleína color rosa) realizados en el marco de las normas ACI, ASTM, NEC, INEN para arena de mar, agregado grueso, agua de amasado cumplen satisfactoriamente con los requisitos de estas normas, por lo que se concluye son óptimos para el uso en una mezcla de concreto elaborado con arena de mar.
- Los ensayos mecánicos y físicos (abrasión 35,44%, granulometrías, peso específico, densidad  $2356 \frac{Kg}{m^3}$ ), realizados bajo cumplimiento de las normas (NTE INEN 860, NTE INEN 696, AASHTO T-19) para los agregados gruesos y finos cumplen satisfactoriamente con los requisitos de las mismas, por lo que se concluye son óptimos para el uso en una mezcla de concreto.
- La estrategia de diseño de mezclar arena de mar con arena triturada permite concluir que las mezclas clase B (50% arena de mar-50% arena triturada) y clase C (60% arena de mar – 40% arena triturada) son las óptimas para corregir el módulo de finura de la arena de mar, ubicándolo a este en los rangos requeridos (2,3 a 3.6) para diseño de concreto.
- La mezcla de diseño clase M (arena de mar es su totalidad) presenta valores bajos de M. F, es un factor decisivo en baja de  $f'c$  por la presencia abundante de finos que forma segregación y dificulta la trabajabilidad. Obteniendo resultados menores a 24 MPa valor referente de esta investigación.
- Se realiza mezclas de arena de mar con arena fina triturada de cantera en porcentajes deseados para alcanzar el  $f'c$  óptimo, estas mezclas se signaron como A, B, C. Los valores obtenidos para  $f'c$  de los tres grupos cumplen satisfactoriamente los objetivos planteados, incluso el revenimiento está dentro del rango.

- El uso de arena de mar de manera estratégica (mezclas) incrementa  $f'c$  hasta 60% del referente objetivo (24 MPa) o lo que es lo mismo 37 MPa, también se observa ahorro económico entre 30 y 40 dólares por metro cubico de concreto.
  
- Las mezclas de concreto diseñadas se analizan para verificar la posible presencia de sales mediante ensayo de cloruros, obteniendo valores muy por debajo de los requeridos por el ACI capítulo 4, lo que nos permite concluir que la arena de mar no afectara de manera nociva al concreto ni al acero de refuerzo por lo que su uso de manera técnica y controlada es posible en ambientes no agresivos (zonas costeras).
  
- El pH en promedio de todas las mezclas está en un valor de 11,53 los que da concreto de buena calidad en la zona más alcalina, no presentando posibles procesos de carbonatación que luego afectan al refuerzo.
  
- La prueba de fenolftaleína al 1% realizada en las superficie de los hormigones de las distintas muestras para comprobar de forma visual los posibles frentes de carbonatación comprueba que los valores pH son efectivos no dando lugar a el proceso de iniciación de carbonatación, por ende a posibles afectación al acero de refuerzo.
  
- En cuanto al ensayo de porosidad podemos concluir que las mezclas de diseño tienen calidad Alta debido a que la presencia de poros es menor al 10%, arrojando mezclas resistencia y durables.

## RECOMENDACIONES

- Para todo diseño de mezclas de concreto el primer paso es hacer un estudio de los materiales y propiedades de los agregados para ver si son aptos para este uso, ya que estos influyen en las características y desempeño del hormigón.
- Los resultados que se obtienen de esta investigación son aplicables para otros proyectos, siempre y cuando se lo haga bajo las mismas condiciones y que no exista el contacto con agentes nocivos o presencia de agua de mar.
- A pesar que la arena de mar según los estudios no muestra presencia significativa de sales es conveniente realizar un lavado a esta arena para eliminar ciertas sustancias como material vegetal.
- Se recomienda tener cuidado en el curado de los especímenes, esto se lo puede hacer en una piscina y cámara humedad cuidando que no exista variación de temperatura y la presencia de otros especímenes curándose en el mismo lugar.
- Se recomienda con base a esta investigación realizar un estudio que se prolongue en el tiempo para poder ver de una forma más eficaz los efectos y consecuencias a los diseños producidos quizás sometiendo los especímenes al contacto con agua de mar o ambiente agresivos.
- Se recomienda tener especial cuidado en los ensayos químicos como son los de cloruros y fenolftaleína por que se trabaja con sustancias peligrosas y un leve descuido podría ser de preocupación.
- La prueba de fenolftaleína se debe realizar justo después del ensayo de compresión, sin dejar que transcurra mucho tiempo porque la interacción con el ambiente  $\text{CO}_2$  cambian las características del hormigón y es posible que esta prueba se vea afectada.

## BIBLIOGRAFÍA

- American Society of Testing Materials ASTM C-128.(2004). Método de Ensayo Normalizado para Determinar la Densidad, la Densidad Relativa (Gravedad Específica), y la Absorción de Agregados Finos
- American Society of Testing Materials ASTM C 642. (1997). Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete
- American Society of Testing Materials ASTM C 1152.(2012). Standard Test Method for Acid-Soluble Chloride in Mortar and Concrete.
- AASHTO T-19. (2004). STANDARD METHOD OF TEST FOR BULK DENSITY (“UNIT WEIGHT”) AND VOIDS IN AGGREGATE.
- American Concrete Institute. (2008). Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-08). (Versión en español y en sistema métrico).
- American Concrete Institute. (2000). Guía para la Durabilidad del Hormigón (ACI 201.2R-01).
- American Concrete Institute. (2010). Protection of Metals in Concrete Against Corrosion (222R-01).
- A. M. Aguirre, R. Mejía de Gutiérrez, (2013), Durabilidad del hormigón armado expuesto a condiciones agresivas.
- Angélica del Valle- Tezozómoc Pérez-Miguel Martínez, (2001), El fenómeno de la corrosión en estructuras de concreto reforzado, Publicación técnica No 182.
- Arthur H. Nilson, Diseño de Estructuras de Concreto, Traducido de la Duodécima edición en inglés.

- Diego Sánchez de Guzmán, 2011, Durabilidad y Patología del Concreto.
- Fernández Cánovas Manuel, 2013, Hormigón, Décima edición.
- Galán García Isabel, Carbonatación del Hormigón: combinación de CO<sub>2</sub> con las fases hidratadas del cemento y frente de cambio de pH, Tesis Doctoral,( 2011).
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, (Octubre 2006), Cemento y Concreto Resistente a Sulfatos.
- Jack C. McCormac – Russell H. Brown.(2011). Diseño de Concreto Reforzado. Octava Edición.
- Kosmatka, S.H,Kerkhoff, B.,Panarese,W.C., & Tanesi,J.(2004). Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Portland Cement Association. México. Grupo Apasco.
- Luis Alberto Rojas Keim, Estudio de la Durabilidad de Estructuras Antiguas de Hormigón Armado con Énfasis en la Corrosión de las Armaduras,(2006), Memoria para obtener el título de Ingeniero Civil.
- Montejo Fonseca Alfonso, (2013), Tecnología y Patología del Concreto Armado.
- Neville. Adam M, (1995), Tecnología del concreto, capítulo 10.
- Norma Europea de Hormigón EN 206-1, (2002).
- NTE INEN 696. (2011). Áridos. Análisis Granulométrico en los áridos, fino y grueso.
- NTE.INEN 860. (2011). Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de los ángeles.

- Omar Guzman Gonzales. Influencia del Agrietamiento del Concreto en la Corrosión del Acero de Refuerzo ,(2008), Tesis para obtener el Grado de Maestro en Ciencias.
  
- Portland Cement Association PCA , Diseño y Control de mezclas de Concreto. (2004). Primera Edición.
  
- Villarino, A. (2001). Ciencia y Tecnología de los Materiales. España. Escuela Politécnica Superior de Ávila.

## **ANEXOS**



**Anexo I. Ensayos de laboratorio realizado a los  
agregados.**

# GRANULOMETRIAS

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA						
BÚSQUEDA DE POSIBLES USOS SOSTENIBLES DE ARENA DE MAR PARA CONCRETO REFORZADO EN VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL						
GRANULOMETRÍA DEL ÁRIDO FINO						
<b>PROYECTO:</b> DOSIFICACIÓN DE 240 fc <sup>3</sup> Kg/cm <b>OBRA:</b> HORMIGÓN <b>LOCALZ.:</b> BAHÍA DE CARÁQUEZ - CANTÓN SUCRE <b>FECHA:</b> abril-2017 <b>CANTERA:</b> BAHÍA DE CARÁQUEZ - CANTÓN SUCRE						
<b>MATERIAL:</b> Arena de mar <b>LÍMITE LÍQUIDO =</b> NP <b>PESO IN.:</b> 1.534,50 gr <b>ÍNDICE PLÁSTICO =</b> NP						
MAILLA No.	MASA RET. PARCIAL	MASA RET. ACUMULADA	% RET.	% PASA	% PASA CORREG.	% RET.AC
2	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00
1 1/2	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00
1	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00
3/4	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00
1/2	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00
3/8	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00
# 4	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00
PASA # 4	1.534,50	1.534,50	100,00			
SUMAN	1.534,50	1.534,50	100,00			
PESO HUM=	1534,50	w% =	0,00	P.SECO=	1534,50	
# 8	1,40	1,40	0,09	99,91	99,91	0,09
# 16	1,19	2,59	0,17	99,83	99,83	0,17
# 30	0,70	3,29	0,21	99,79	99,79	0,21
# 50	10,67	13,96	0,91	99,09	99,09	0,91
# 100	1399,86	1413,82	92,14	7,86	7,86	92,14
# 200	90,03	1503,85	98,00	2,00	2,00	98,00
PASA #200	30,65	30,65	2,00			
SUMAN	1534,50	1534,50	100,00			

M. F. = 0,94

GRANULOMETRÍA

LOG (DIÁMETRO micras)

<b>ING. Bolívar Maza</b> Director de Proyecto de Fin de Titulación	<b>Jorge Valdivieso B.</b> Profesional en Formación
-----------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------



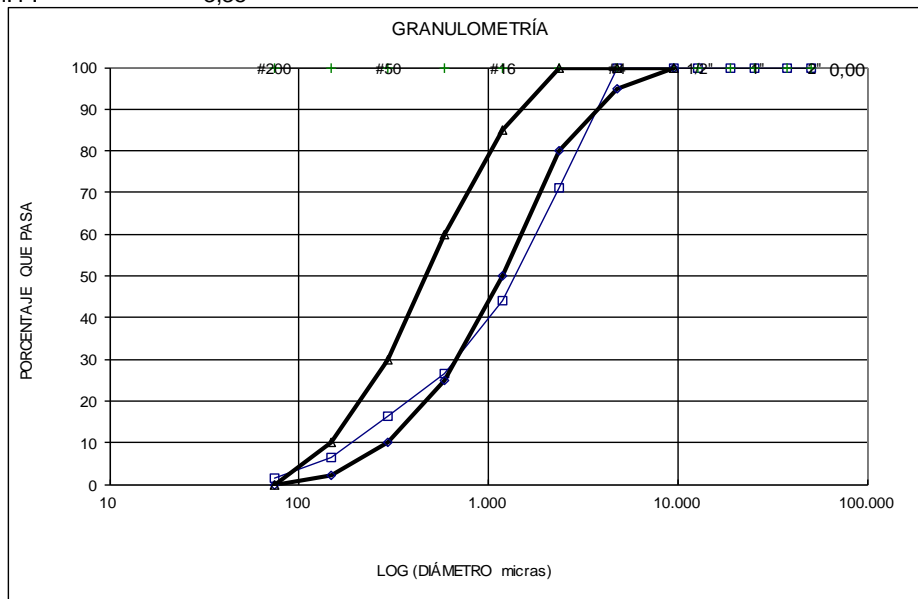
UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

BÚSQUEDA DE POSIBLES USOS SOSTENIBLES DE ARENA DE MAR PARA CONCRETO REFORZADO EN VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

GRANULOMETRÍA DEL ÁRIDO FINO TRITURADO

PROYECTO:	DOSIFICACIÓN DE 240 fc´ Kg/cm						
OBRA:	HORMIGÓN						
LOCALZ.:	BAHÍA DE CARÁQUEZ - CANTÓN SUCRE						
FECHA:	abril-2017	CANTERA:	BAHÍA DE CARÁQUEZ - CANTÓN SUCRE				
MATERIAL:	Arena triturada		LÍMITE LÍQUIDO =	NP			
PESO IN.:	1.854,46	gr	ÍNDICE PLÁSTICO =	NP			
MAILLA No.	MASA RET. PARCIAL	MASA RET. ACUMULADA	% RET.	% PASA	% PASA CORREG.	% RET.AC	
2	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	
1 1/2	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	
1	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	
3/4	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	
1/2	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	
3/8	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	
# 4	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	
PASA # 4	1.854,46	1.854,46	100,00				
SUMAN	1.854,46	1.854,46	100,00				
PESO HUM=	1854,46	w% =	0,00	P.SECO=	1854,46		
# 8	533,20	533,20	28,75	71,25	71,25	28,75	
# 16	503,07	1036,27	55,88	44,12	44,12	55,88	
# 30	325,32	1361,59	73,42	26,58	26,58	73,42	
# 50	192,35	1553,94	83,79	16,21	16,21	83,79	
# 100	182,47	1736,41	93,63	6,37	6,37	93,63	
# 200	91,19	1827,60	98,55	1,45	1,45	98,55	
PASA #200	26,86	26,86	1,45				
SUMAN	1854,46	1854,46	100,00				

M. F. = 3,35



ING. Bolívar Maza

Director de Proyecto de Fin de Titulación

Jorge Valdivieso B.

Profesional en Formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

BÚSQUEDA DE POSIBLES USOS SOSTENIBLES DE ARENA DE MAR PARA CONCRETO REFORZADO EN VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

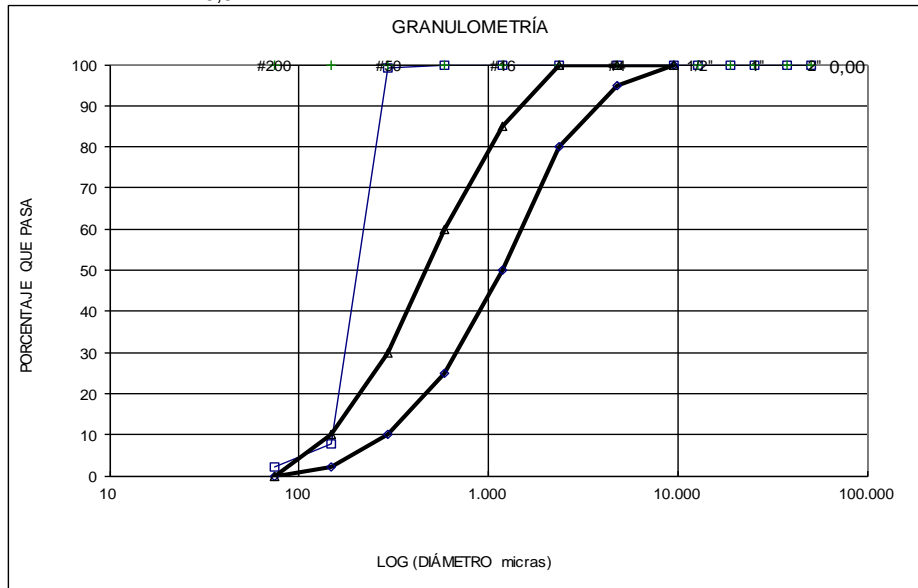
GRANULOMETRÍA DEL ÁRIDO FINO

PROYECTO: DOSIFICACIÓN DE 240 fc Kg/cm  
 OBRA: HORMIGÓN  
 LOCALZ.: BAHÍA DE CARÁQUEZ - CANTÓN SUCRE  
 FECHA: abril-2017 CANTERA: BAHÍA DE CARÁQUEZ - CANTÓN SUCRE

MATERIAL: Arena de mar LÍMITE LÍQUIDO = NP  
 PESO IN.: 1.534,50 gr ÍNDICE PLÁSTICO = NP

MALLA No.	MASA RET. PARCIAL	MASA RET. ACUMULADA	% RET.	% PASA	% PASA CORREG.	% RET.AC
2	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00
1 1/2	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00
1	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00
3/4	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00
1/2	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00
3/8	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00
# 4	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00
PASA # 4	1.534,50	1.534,50	100,00			
SUMAN	1.534,50	1.534,50	100,00			
PESO HUM=	1534,50	w% =	0,00	P.SECO=	1534,50	
# 8	1,40	1,40	0,09	99,91	99,91	0,09
# 16	1,19	2,59	0,17	99,83	99,83	0,17
# 30	0,70	3,29	0,21	99,79	99,79	0,21
# 50	10,67	13,96	0,91	99,09	99,09	0,91
# 100	1399,86	1413,82	92,14	7,86	7,86	92,14
# 200	90,03	1503,85	98,00	2,00	2,00	98,00
PASA #200	30,65	30,65	2,00			
SUMAN	1534,50	1534,50	100,00			

M. F. = 0,94



Ing. Bolívar Maza

Director de Proyecto de Fin de Titulación

Jorge Valdivieso B.

Profesional en Formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

BÚSQUEDA DE POSIBLES USOS SOSTENIBLES DE ARENA DE MAR PARA CONCRETO REFORZADO EN VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

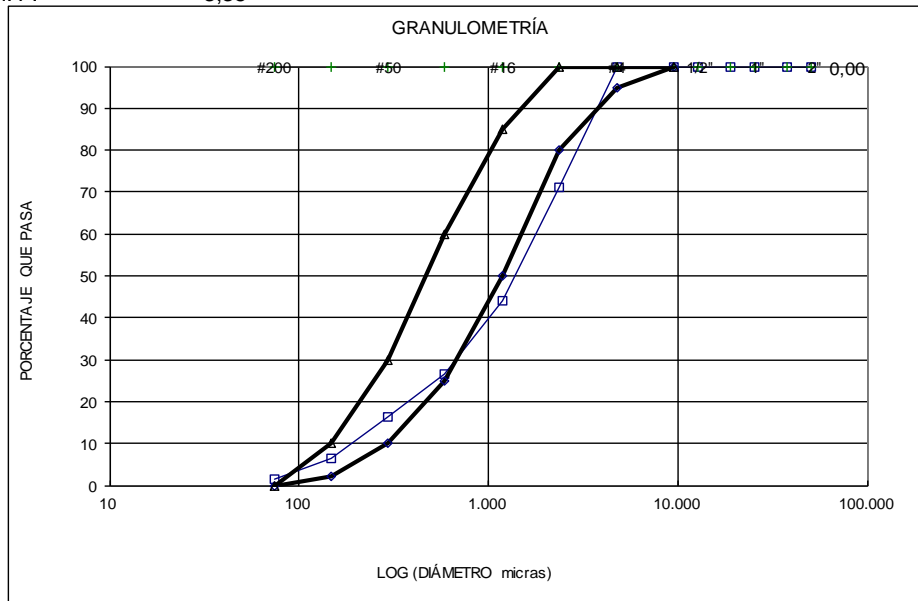
GRANULOMETRÍA DEL ÁRIDO FINO TRITURADO

PROYECTO: DOSIFICACIÓN DE 240 fc<sup>3</sup> Kg/cm  
 OBRA: HORMIGÓN  
 LOCALZ.: BAHÍA DE CARÁQUEZ - CANTÓN SUCRE  
 FECHA: abril-2017 CANTERA: BAHÍA DE CARÁQUEZ - CANTÓN SUCRE

MATERIAL: Arena triturada LÍMITE LÍQUIDO = NP  
 PESO IN.: 1.854,46 gr ÍNDICE PLÁSTICO = NP

MAILLA No.	MASA RET. PARCIAL	MASA RET. ACUMULADA	% RET.	% PASA	% PASA CORREG.	% RET.AC
2	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00
1 1/2	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00
1	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00
3/4	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00
1/2	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00
3/8	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00
# 4	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00
PASA # 4	1.854,46	1.854,46	100,00			
SUMAN	1.854,46	1.854,46	100,00			
PESO HUM=	1854,46	w% =	0,00	P.SECO=	1854,46	
# 8	533,20	533,20	28,75	71,25	71,25	28,75
# 16	503,07	1036,27	55,88	44,12	44,12	55,88
# 30	325,32	1361,59	73,42	26,58	26,58	73,42
# 50	192,35	1553,94	83,79	16,21	16,21	83,79
# 100	182,47	1736,41	93,63	6,37	6,37	93,63
# 200	91,19	1827,60	98,55	1,45	1,45	98,55
PASA #200	26,86	26,86	1,45			
SUMAN	1854,46	1854,46	100,00			

M. F. = 3,35



ING. Bolívar Maza

Jorge Valdivieso B.

Director de Proyecto de Fin de Titulación

Profesional en Formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

**BÚSQUEDA DE POSIBLES USOS SOSTENIBLES DE ARENA DE MAR PARA CONCRETO REFORZADO EN VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL**

MEZCLA ARENA PARA HORMIGÓN

PROYEC : **TESIS DE GRADO**

OBRA : Posibles Usos de Arena de M.

MUESTRA # 1: ARENA TRITURADA

LOCALZ.: BAHÍA DE CARÁQUEZ

MUESTRA # 2: ARENA DE MAR

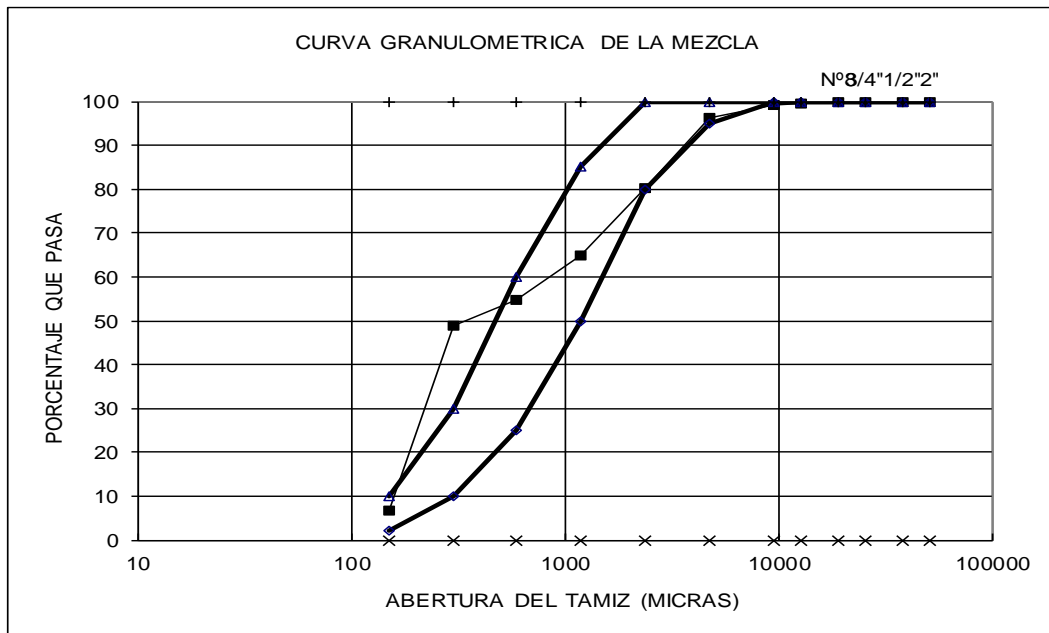
FECHA : JUNIO 2016

MUESTRA # 3:

TAMIZ Nº	MUESTRAS % PASA			NORMA MOP		MEZCLA	MEZCLA
	Nº 1	Nº 2	Nº 3	MINIMO	MAXIMO	% PASA	% R.A.
2"	100,00	100,00		100,00	100,00	100,00	0,00
1/2"	100,00	100,00		100,00	100,00	100,00	0,00
1"	100,00	100,00		100,00	100,00	100,00	0,00
3/4"	99,54	100,00		100,00	100,00	99,72	0,28
1/2"	99,07	100,00		100,00	100,00	99,44	0,56
3/8"	98,78	100,00		100,00	100,00	99,27	0,73
Nº4	93,90	99,97		95,00	100,00	96,33	3,67
Nº8	66,90	99,98		80,00	100,00	80,13	19,87
Nº16	41,43	99,80		50,00	85,00	64,78	35,22
Nº30	24,96	99,75		25,00	60,00	54,88	45,12
Nº50	15,22	99,06		10,00	30,00	48,76	51,24
Nº100	5,98	7,86		2,00	10,00	6,73	93,27
Nº200	1,36	2,00		0,00	0,00	1,62	98,38

MUESTRA Nº 1 % = 60  
 MUESTRA Nº 2 % = 40  
 MUESTRA Nº 3 % = 0

MF: 2,50



**ING. BOLÍVAR MAZA**

**JORGE VALDIVIESO**

Director de Proyecto de Fin de Carrera

Profesional en Formacion



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

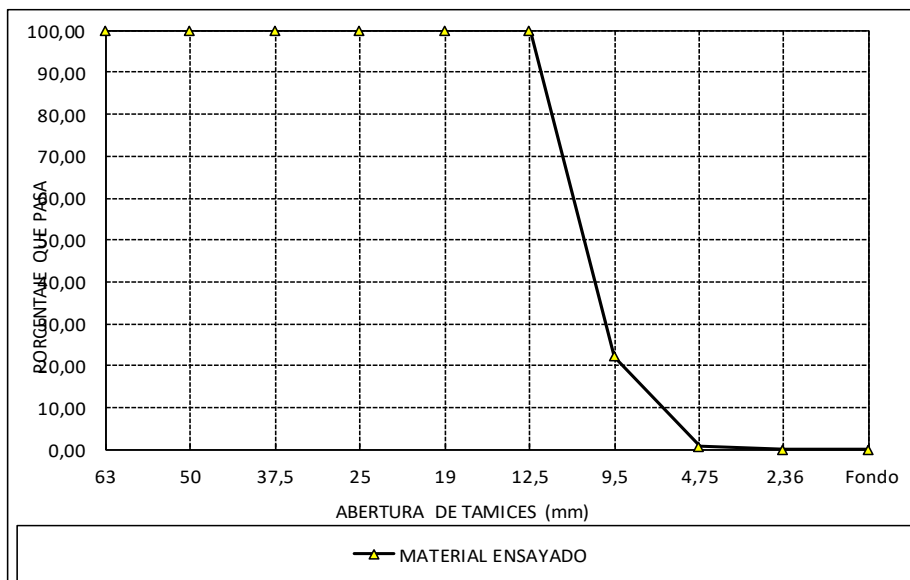
**NORMA:** NTE INEN 696 (ASTM C136)  
**PROVIENE:** Catamayito  
**REALIZADO POR :** Jorge Eduardo Valdivieso B.

**MATERIAL:** Árido grueso (3/4")  
**FECHA:** 01-abr-2017

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL ÁRIDO GRUESO**

MM.	TAMIZ	PESO RETENIDO (g)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	FAJA DE TRABAJO
75	3"	0,00	0,00	0,00	100,00	
63	2 1/2"	0,00	0,00	0,00	100,00	
50	2"	0,00	0,00	0,00	100,00	100
37,5	1 1/2"	0,00	0,00	0,00	100,00	95 - 100
25	1"	0,00	0,00	0,00	100,00	
19	3/4"	0,00	0,00	0,00	100,00	35 - 70
12,5	1/2"	0,00	0,00	0,00	100,00	
9,5	3/8"	3518,00	3518,00	77,82	22,19	10 - 30
4,750	Nº.4	971,00	4489,00	99,29	0,71	0 - 5
	Pasa Nº.4					
2,360	Nº.8	20,00	4509,00	99,73	0,27	
2,000	Nº.10					
1,180	Nº.16					
0,850	Nº.20					
0,600	Nº.30					
0,425	Nº.40					
0,300	Nº.50	6,00	4515,00	99,87	0,13	
0,150	Nº.100					
0,075	Nº.200	3,00	4518,00	99,93	0,07	
	Pasa Nº.200	3,00	3,00	0,07		
	<b>TOTAL</b>	<b>4521,00</b>		<b>100,07</b>		

Peso total de la muestra: 4521,00      Tamaño Máximo Nominal 3/4"



**OBSERVACIONES:**

El tamaño nominal del agregado es de 3/4 de pulgada , valor que corresponde al recomendado por la norma NTE INEN 872 - Áridos para hormigón. Requisitos.

Ing. Bolívar Hernán Maza  
**DIRECTOR DE PROYECTO DE  
 FIN DE TITULACION**

Jorge Valdivieso B.  
**PROFESIONAL EN FORMACIÓN**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

**NORMA:** NTE INEN 696 (ASTM C136)  
**PROVIENE:** Catamayito  
**REALIZADO POR :** Jorge Eduardo Valdivieso B.

**MATERIAL:** Arena triturada  
**FECHA:** 01-abr-2107

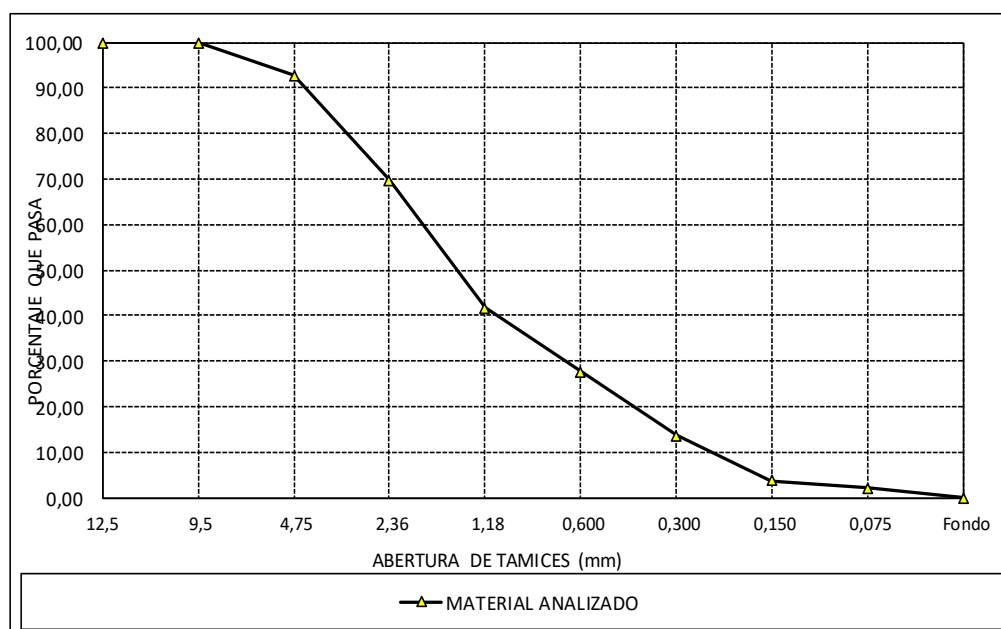
**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL ÁRIDO FINO**

MM.	TAMIZ	PESO RETENIDO (g)	PESO RETENIDIO ACUMULADO (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	FAJA DE TRABAJO
9,5	3/8"	0,00	0,00	0,00	100,00	100
4,750	Nº.4	311,00	311,00	7,22	92,78	95 - 100
	Pasa Nº.4	3683,00	3994,00	93,00		
2,360	Nº.8	180,00	131,00	23,25	69,75	80 - 100
1,180	Nº.16					50 - 85
0,600	Nº.30					25 - 60
0,300	Nº.50	316,00	447,00	79,33	13,67	5 - 30
0,150	Nº.100					0 - 10
0,075	Nº.200	65,00	512,00	90,87	2,13	
	Pasa Nº.200		12,00	2,13		
	<b>TOTAL</b>	4305,00	4305,00	100,00		

Peso total de la muestra: 4305,00

Módulo de Finura: MF = 2,94

Requisitos de gradación de la arena para Hormigón: Módulo de Finura: 2.3 a 3.1




Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Ing. Bolívar Hernán Maza  
**DIRECTOR DE PROYECTO DE  
 FIN DE TITULACIÓN**

Jorge Valdivieso B  
**PROFESIONAL EN FORMACIÓN**



## PESO ESPEFICO

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</b> <b>DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL</b> <b>LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES</b>																																						
<b>NORMA:</b> AASHTO T-19 <b>PROVIENE:</b> Bahía de Caráquez (Cantón Sucre) <b>REALIZADO POR :</b> Jorge Valdivieso B.	<b>MATERIAL:</b> Arena fina de mar <b>FECHA:</b> 01-jun-2017																																						
<b>DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) EN EL ÁRIDO FINO</b>																																							
<b>MASA UNITARIA O DENSIDAD APARENTE EN ESTADO SUELTO</b>																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">Ensayo número</th> <th style="width: 10%;"></th> <th style="width: 15%;">1</th> <th style="width: 15%;">2</th> <th style="width: 15%;">3</th> <th style="width: 15%;">4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Volumen del recipiente: (m<sup>3</sup>)</td> <td>V</td> <td>2,650</td> <td>2,650</td> <td>2,650</td> <td>2,650</td> </tr> <tr> <td>Peso del recipiente:(kg)</td> <td>T</td> <td>9,326</td> <td>9,326</td> <td>9,326</td> <td>9,326</td> </tr> <tr> <td>Peso del recipiente más muestra (kg)</td> <td>G</td> <td>13,301</td> <td>13,241</td> <td>13,251</td> <td>13,211</td> </tr> <tr> <td>Peso de la muestra de ensayo (kg)</td> <td>G - T</td> <td>3,975</td> <td>3,915</td> <td>3,925</td> <td>3,885</td> </tr> <tr> <td>Densidad aparente: (kg/m<sup>3</sup>)</td> <td>M</td> <td>1,500</td> <td>1,477</td> <td>1,481</td> <td>1,466</td> </tr> </tbody> </table>	Ensayo número		1	2	3	4	Volumen del recipiente: (m <sup>3</sup> )	V	2,650	2,650	2,650	2,650	Peso del recipiente:(kg)	T	9,326	9,326	9,326	9,326	Peso del recipiente más muestra (kg)	G	13,301	13,241	13,251	13,211	Peso de la muestra de ensayo (kg)	G - T	3,975	3,915	3,925	3,885	Densidad aparente: (kg/m <sup>3</sup> )	M	1,500	1,477	1,481	1,466	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">           Densidad Aparente estado suelto:           <math display="block">M = \frac{(G - T)}{V}</math> </td> <td style="width: 40%; text-align: center;"> <b>Valor Promedio Masa Unitaria o Densidad Aparente sin varillar</b>   <b>1,481 kg/m<sup>3</sup></b> </td> </tr> </table>	Densidad Aparente estado suelto: $M = \frac{(G - T)}{V}$	<b>Valor Promedio Masa Unitaria o Densidad Aparente sin varillar</b>  <b>1,481 kg/m<sup>3</sup></b>
Ensayo número		1	2	3	4																																		
Volumen del recipiente: (m <sup>3</sup> )	V	2,650	2,650	2,650	2,650																																		
Peso del recipiente:(kg)	T	9,326	9,326	9,326	9,326																																		
Peso del recipiente más muestra (kg)	G	13,301	13,241	13,251	13,211																																		
Peso de la muestra de ensayo (kg)	G - T	3,975	3,915	3,925	3,885																																		
Densidad aparente: (kg/m <sup>3</sup> )	M	1,500	1,477	1,481	1,466																																		
Densidad Aparente estado suelto: $M = \frac{(G - T)}{V}$	<b>Valor Promedio Masa Unitaria o Densidad Aparente sin varillar</b>  <b>1,481 kg/m<sup>3</sup></b>																																						
<b>MASA UNITARIA O DENSIDAD APARENTE EN ESTADO COMPACTADO</b>																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">Ensayo número</th> <th style="width: 10%;"></th> <th style="width: 15%;">1</th> <th style="width: 15%;">2</th> <th style="width: 15%;">3</th> <th style="width: 15%;">4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Volumen del recipiente: (m<sup>3</sup>)</td> <td>V</td> <td>2,650</td> <td>2,650</td> <td>2,650</td> <td>2,650</td> </tr> <tr> <td>Peso del recipiente:(kg)</td> <td>T</td> <td>9,326</td> <td>9,326</td> <td>9,326</td> <td>9,326</td> </tr> <tr> <td>Peso del recipiente más muestra (kg)</td> <td>G</td> <td>13,736</td> <td>13,731</td> <td>13,726</td> <td>13,736</td> </tr> <tr> <td>Peso de la muestra de ensayo (kg)</td> <td>G - T</td> <td>4,410</td> <td>4,405</td> <td>4,400</td> <td>4,410</td> </tr> <tr> <td>Densidad aparente: (kg/m<sup>3</sup>)</td> <td>M</td> <td>1,664</td> <td>1,662</td> <td>1,660</td> <td>1,664</td> </tr> </tbody> </table>	Ensayo número		1	2	3	4	Volumen del recipiente: (m <sup>3</sup> )	V	2,650	2,650	2,650	2,650	Peso del recipiente:(kg)	T	9,326	9,326	9,326	9,326	Peso del recipiente más muestra (kg)	G	13,736	13,731	13,726	13,736	Peso de la muestra de ensayo (kg)	G - T	4,410	4,405	4,400	4,410	Densidad aparente: (kg/m <sup>3</sup> )	M	1,664	1,662	1,660	1,664	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">           Densidad Aparente estado compactado:           <math display="block">M = \frac{(G - T)}{V}</math> </td> <td style="width: 40%; text-align: center;"> <b>Valor Promedio Masa Unitaria o Densidad Aparente por varillado</b>   <b>1,663 kg/m<sup>3</sup></b> </td> </tr> </table>	Densidad Aparente estado compactado: $M = \frac{(G - T)}{V}$	<b>Valor Promedio Masa Unitaria o Densidad Aparente por varillado</b>  <b>1,663 kg/m<sup>3</sup></b>
Ensayo número		1	2	3	4																																		
Volumen del recipiente: (m <sup>3</sup> )	V	2,650	2,650	2,650	2,650																																		
Peso del recipiente:(kg)	T	9,326	9,326	9,326	9,326																																		
Peso del recipiente más muestra (kg)	G	13,736	13,731	13,726	13,736																																		
Peso de la muestra de ensayo (kg)	G - T	4,410	4,405	4,400	4,410																																		
Densidad aparente: (kg/m <sup>3</sup> )	M	1,664	1,662	1,660	1,664																																		
Densidad Aparente estado compactado: $M = \frac{(G - T)}{V}$	<b>Valor Promedio Masa Unitaria o Densidad Aparente por varillado</b>  <b>1,663 kg/m<sup>3</sup></b>																																						
<b>Ing. Bolívar Hernán Maza</b> <b>DIRECTOR DE PROYECTO DE</b> <b>FIN DE TITULACION</b>	<b>Jorge Valdivieso B.</b> <b>PROFESIONAL EN FORMACIÓN</b>																																						



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

**NORMA:** AASHTO T-19  
**PROVIENE:** Picoasa (Jipijapa)  
**REALIZADO POR :** Jorge Valdivieso B.

**MATERIAL:** Arena triturada  
**FECHA:** 01-jun-2017

**DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) EN EL ÁRIDO FINO**

**MASA UNITARIA O DENSIDAD APARENTE EN ESTADO SUELTO**

Ensayo número		1	2	3	4
Volumen del recipiente: (m <sup>3</sup> )	V	2,650	2,650	2,650	2,650
Peso del recipiente:(kg)	T	9,326	9,326	9,326	9,326
Peso del recipiente más muestra (kg)	G	13,261	13,321	13,376	13,431
Peso de la muestra de ensayo (kg)	G - T	3,935	3,995	4,050	4,105
Densidad aparente: (kg/m <sup>3</sup> )	M	1,485	1,508	1,528	1,549

Densidad Aparente estado suelto:	$M = \frac{(G - T)}{V}$	<b>Valor Promedio Masa Unitaria o  Densidad Aparente sin varillar</b> <b>1,517 kg/m<sup>3</sup></b>
----------------------------------	-------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**MASA UNITARIA O DENSIDAD APARENTE EN ESTADO COMPACTADO**

Ensayo número		1	2	3	4
Volumen del recipiente: (m <sup>3</sup> )	V	2,650	2,650	2,650	2,650
Peso del recipiente:(kg)	T	9,326	9,326	9,326	9,326
Peso del recipiente más muestra (kg)	G	13,866	13,911	13,896	13,986
Peso de la muestra de ensayo (kg)	G - T	4,540	4,585	4,570	4,660
Densidad aparente: (kg/m <sup>3</sup> )	M	1,713	1,730	1,725	1,758

Densidad Aparente estado compactado:	$M = \frac{(G - T)}{V}$	<b>Valor Promedio Masa Unitaria o  Densidad Aparente por varillado</b> <b>1,732 kg/m<sup>3</sup></b>
--------------------------------------	-------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Ing. Bolívar Hernán Maza  
**DIRECTOR DE PROYECTO DE  
FIN DE TITULACIÓN**

Jorge Valdivieso Bejarano  
**PROFESIONAL EN FORMACIÓN**



# UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

**NORMA:** ASTM C127

**MATERIAL:** Árido grueso

**PROVIENE:** Bahía de Caráquez (Cantón Sucre)

**REALIZADO POR :** Jorge Valdivieso B.

## DATOS:

PESO EN EL AIRE:	2280,00	gr
PESO SUMERGIDO:	1483,00	gr
PESO SECO:	2250,00	gr
DENSIDAD MASIVA:	2,82	gr/cm <sup>3</sup>
DENSIDAD SSS:	2,861	gr/cm <sup>3</sup>
DENSIDAD APARENTE:	2,93	gr/cm <sup>3</sup>
ABSORCION:	1,33%	

Ing. Bolívar Hernán Maza

Jorge Valdivieso B.

**DIRECTOR DE PROYECTO DE**

**PROFESIONAL EN FORMACIÓN**

**FIN DE TITULACIÓN**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

**NORMA:** AASHTO T-19

**MATERIAL:** Arena fina de mar 40% - 60% DIEZ DIEZ

**PROVIENE:** Bahía de Caráquez - Catamayito

**FECHA:** [REDACTED]

**REALIZADO POR :** Jorge Valdivieso B.

**DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) EN EL ÁRIDO FINO**

**MASA UNITARIA O DENSIDAD APARENTE EN ESTADO SUELTO**

Ensayo número		1	2	3	4
Volumen del recipiente: (m <sup>3</sup> )	V	2,650	2,650	2,650	2,650
Peso del recipiente:(kg)	T	9,326	9,326	9,326	9,326
Peso del recipiente más muestra (kg)	G	13,476	13,451	13,536	13,551
Peso de la muestra de ensayo (kg)	G - T	4,150	4,125	4,210	4,225
Densidad aparente: (kg/m <sup>3</sup> )	M	1,566	1,557	1,589	1,594

Densidad Aparente estado suelto:	$M = \frac{(G - T)}{V}$	<b>Valor Promedio Masa Unitaria o</b> <b>Densidad Aparente sin varillar</b> <b>1,576 kg/m<sup>3</sup></b>
----------------------------------	-------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**MASA UNITARIA O DENSIDAD APARENTE EN ESTADO COMPACTADO**

Ensayo número		1	2	3	4
Volumen del recipiente: (m <sup>3</sup> )	V	2,650	2,650	2,650	2,650
Peso del recipiente:(kg)	T	9,326	9,326	9,326	9,326
Peso del recipiente más muestra (kg)	G	13,996	14,021	13,986	13,996
Peso de la muestra de ensayo (kg)	G - T	4,670	4,695	4,660	4,670
Densidad aparente: (kg/m <sup>3</sup> )	M	1,762	1,772	1,758	1,762

Densidad Aparente estado compactado:	$M = \frac{(G - T)}{V}$	<b>Valor Promedio Masa Unitaria o</b> <b>Densidad Aparente por varillado</b> <b>1,764 kg/m<sup>3</sup></b>
--------------------------------------	-------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Ing. Bolívar Hernán Maza  
**DIRECTOR DE PROYECTO DE**  
**FIN DE TITULACIÓN**

Jorge Valdivieso B.  
**PROFESIONAL EN FORMACIÓN**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

**NORMA:** AASHTO T-19 **MATERIAL:** Arena fina de mar 50% - 50% DIEZ DIEZ  
**PROVIENE:** Bahía de Caráquez - Catamayito **FECHA:**    
**REALIZADO POR :** Jorge Valdivieso B.

**DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) EN EL ÁRIDO FINO**

**MASA UNITARIA O DENSIDAD APARENTE EN ESTADO SUELTO**

Ensayo número		1	2	3	4
Volumen del recipiente: (m <sup>3</sup> )	V	2,650	2,650	2,650	2,650
Peso del recipiente:(kg)	T	9,326	9,326	9,326	9,326
Peso del recipiente más muestra (kg)	G	13,481	13,461	13,456	13,531
Peso de la muestra de ensayo (kg)	G - T	4,155	4,135	4,130	4,205
Densidad aparente: (kg/m <sup>3</sup> )	M	1,568	1,560	1,558	1,587

Densidad Aparente estado suelto:	$M = \frac{(G - T)}{V}$	<b>Valor Promedio Masa Unitaria o Densidad Aparente sin varillar</b> <b>1,568 kg/m<sup>3</sup></b>
----------------------------------	-------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------

**MASA UNITARIA O DENSIDAD APARENTE EN ESTADO COMPACTADO**

Ensayo número		1	2	3	4
Volumen del recipiente: (m <sup>3</sup> )	V	2,650	2,650	2,650	2,650
Peso del recipiente:(kg)	T	9,326	9,326	9,326	9,326
Peso del recipiente más muestra (kg)	G	13,891	13,931	13,906	13,886
Peso de la muestra de ensayo (kg)	G - T	4,565	4,605	4,580	4,560
Densidad aparente: (kg/m <sup>3</sup> )	M	1,723	1,738	1,728	1,721

Densidad Aparente estado compactado:	$M = \frac{(G - T)}{V}$	<b>Valor Promedio Masa Unitaria o Densidad Aparente por varillado</b> <b>1,727 kg/m<sup>3</sup></b>
--------------------------------------	-------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------

Ing. Bolívar Hernán Maza  
**DIRECTOR DE PROYECTO DE**  
**FIN DE TITULACIÓN**

Jorge Valdivieso B.  
**PROFESIONAL EN FORMACIÓN**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

**NORMA:** AASHTO T-19  
**PROVIENE:** Bahía de Caráquez - Catamayito  
**REALIZADO POR :** Jorge Valdivieso B.

**MATERIAL:** Arena fina de mar 60% - 40% triturado  
**FECHA:**

**DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) EN EL ÁRIDO FINO**

**MASA UNITARIA O DENSIDAD APARENTE EN ESTADO SUELTO**

Ensayo número		1	2	3	4
Volumen del recipiente: (m <sup>3</sup> )	V	2,650	2,650	2,650	2,650
Peso del recipiente:(kg)	T	9,326	9,326	9,326	9,326
Peso del recipiente más muestra (kg)	G	13,431	13,426	13,416	13,451
Peso de la muestra de ensayo (kg)	G - T	4,105	4,100	4,090	4,125
Densidad aparente: (kg/m <sup>3</sup> )	M	1,549	1,547	1,543	1,557

Densidad Aparente estado suelto:	$M = \frac{(G - T)}{V}$	<b>Valor Promedio Masa Unitaria o  Densidad Aparente sin varillar</b> <b>1,549 kg/m<sup>3</sup></b>
----------------------------------	-------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**MASA UNITARIA O DENSIDAD APARENTE EN ESTADO COMPACTADO**

Ensayo número		1	2	3	4
Volumen del recipiente: (m <sup>3</sup> )	V	2,650	2,650	2,650	2,650
Peso del recipiente:(kg)	T	9,326	9,326	9,326	9,326
Peso del recipiente más muestra (kg)	G	13,801	13,796	13,801	13,796
Peso de la muestra de ensayo (kg)	G - T	4,475	4,470	4,475	4,470
Densidad aparente: (kg/m <sup>3</sup> )	M	1,689	1,687	1,689	1,687

Densidad Aparente estado compactado:	$M = \frac{(G - T)}{V}$	<b>Valor Promedio Masa Unitaria o  Densidad Aparente por varillado</b> <b>1,688 kg/m<sup>3</sup></b>
--------------------------------------	-------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Ing. Bolívar Hernán Maza  
**DIRECTOR DE PROYECTO DE  
FIN DE TITULACION**

Jorge Valdivieso B.  
**PROFESIONAL EN FORMACIÓN**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

**NORMA:** AASHTO T-19  
**PROVIENE:** Catamayito  
**REALIZADO POR :** Jorge Eduardo Valdivieso

**MATERIAL:** Árido grueso (3/4")  
**FECHA:** 01-jul-2017

**DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) EN EL ÁRIDO GRUESO**

**MASA UNITARIA O DENSIDAD APARENTE EN ESTADO SUELTO**

Ensayo número		1	2	3	4
Volumen del recipiente: (m <sup>3</sup> )	V	12,400	12,400	12,400	12,400
Peso del recipiente:(kg)	T	9,326	9,326	9,326	9,326
Peso del recipiente más muestra (kg)	G	26,191	26,366	26,561	26,361
Peso de la muestra de ensayo (kg)	G - T	16,865	17,040	17,235	17,035
Densidad aparente: (kg/m <sup>3</sup> )	M	1,360	1,374	1,390	1,374

Densidad Aparente estado suelto:	$M = \frac{(G - T)}{V}$	<b>Valor Promedio Masa Unitaria o  Densidad Aparente sin varillar</b> <b>1,374 kg/m<sup>3</sup></b>
----------------------------------	-------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**MASA UNITARIA O DENSIDAD APARENTE EN ESTADO COMPACTADO**

Ensayo número		1	2	3	4
Volumen del recipiente: (m <sup>3</sup> )	V	12,400	12,400	12,400	12,400
Peso del recipiente:(kg)	T	9,326	9,326	9,326	9,326
Peso del recipiente más muestra (kg)	G	28,461	28,456	28,571	28,801
Peso de la muestra de ensayo (kg)	G - T	19,135	19,130	19,245	19,475
Densidad aparente: (kg/m <sup>3</sup> )	M	1,543	1,543	1,552	1,571

Densidad Aparente estado compactado:	$M = \frac{(G - T)}{V}$	<b>Valor Promedio Masa Unitaria o  Densidad Aparente por varillado</b> <b>1,552 kg/m<sup>3</sup></b>
--------------------------------------	-------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Ing. Bolivar Hernán Maza  
**DIRECTOR DE PROYECTO DE  
FIN DE TITULACIÓN**

Jorge Valdivieso B.  
**PROFESIONAL EN FORMACIÓN**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

**NORMA:** NTE INEN 860 (ASTM C131)  
**PROVIENE:** Catamayito  
**REALIZADO POR :** Jorge Eduardo Valdivieso B.

**MATERIAL:** Árido grueso  
**FECHA:** 01-abr-2017

**DETERMINACIÓN DEL VALOR DE LA DEGRADACIÓN DEL ÁRIDO GRUESO DE PARTICULAS MENORES A 37.5 MM EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES**

**GRADACIÓN DE LA MUESTRA**

Tamices (mm)		Masa de la muestra de ensayo (g)			
		G r a d a c i ó n			
Pasa	Retenido	A	B	C	D
37,5	25	1262,00			
25	19	1261,00			
19	12,5	1255,00			
12,5	9,5	1256,00			
9,5	6,7				
6,7	4,75				
4,75	2,36				
<b>Total</b>		5034,00			

Ensayo número	1	2
Número de esferas:	12	
Masa inicial de la muestra de ensayo (g) B:	5034,00	5034,00
Masa retenida en tamiz 1.70mm después de 500 revoluciones (g) C:	3272,50	3227,30
Valor de abrasión después de 500 revoluciones (%) D:	<b>34,99</b>	<b>35,89</b>

**Valor de Abrasión (%)**

$$D(\%) = \frac{B - C}{B} \times 100$$

Valor de Abrasión= **35,44** %

Ing. Alonso R. Zúñiga Suárez  
**DIRECTOR DE PROYECTO DE  
 FIN DE TITULACION**

Jorge Eduardo Valdivieso B.  
**PROFESIONAL EN FORMACIÓN**



## **Anexo II. Ensayo de DRX de la arena de mar.**

## UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MINERALOGÍA

Proyecto P-017-050 "Evaluación de la corrosión del acero en elementos estructurales, sector Bahía de Caráquez (TFT)"

Informe de Interpretación de la Difractometría de Rayos X (DRX) Fecha: 31 de mayo de 2017

Por: Ing. David Ricardo González Burneo- Técnico de Laboratorio.

Las muestras fueron enviadas al Laboratorio de DRX, fueron corridas en el difractómetro BRUCKER del departamento de Físico-Química por la ingeniera Mónica Vega. Los resultados (difractogramas) recibieron dos tipos de análisis uno CUALITATIVO y otro CUANTITATIVO.

El análisis cualitativo se lo desarrolló en el software EVA, modificando la muestra en su eje X en función del pico del cuarzo y posteriormente se substrajo el "background" de la muestra (ruido) sin suavizar los picos. Luego se dejó que el programa identifique los picos y estos se compararon en función del análisis macroscópico y el análisis químico del mismo.

En el análisis cualitativo se modificó la posición del difractograma en su eje X en función del cuarzo. Luego se añadieron las fases interpretadas en el análisis cualitativo y se refinaron los resultados modificando tolerancias en la estructura cristalina.

Nota: El análisis cualitativo no permite identificar con precisión fases cristalinas minoritarias, por ejemplo menores a un dos por ciento.

Los resultados de las muestras ensayadas se los muestra a continuación:

Muestra 000474 (Muestra sin Lavar)

Fecha de interpretación: 24 de mayo de 2017

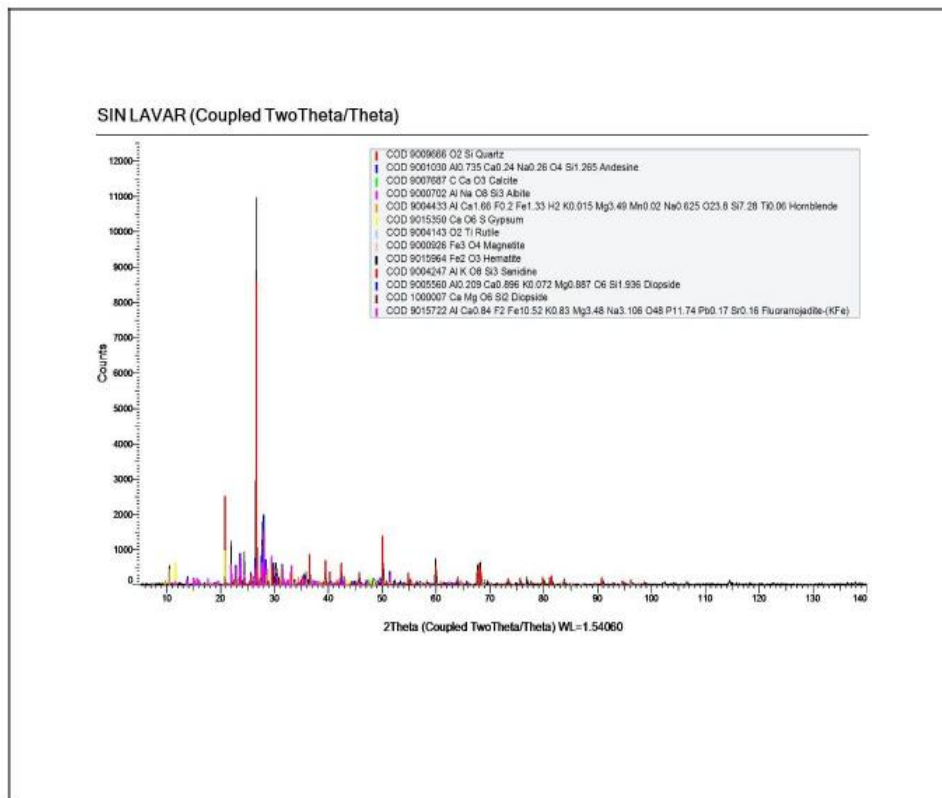


Ilustración 1. Difractograma de la muestra 000474 (sin lavar).

La cuantificación de los componentes o fases de la muestra se da en la siguiente tabla:

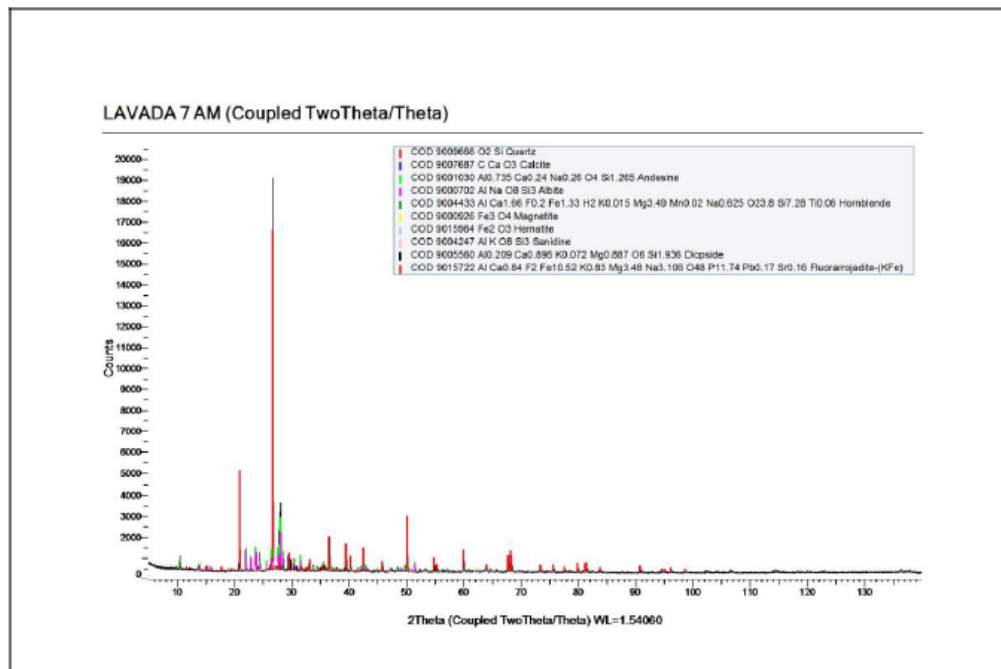
Mineral	Tipo de mineral	Porcentaje
Cuarzo	Sílice	47.77
Albita	Silicatos- Plagioclasas de Na-Ca	17.45
Andesina		6.22
Sanidina	Silicatos- Feldespato de K	0.56
Diópsido	Silicatos- Piroxeno de Mg-Fe	6.41
Hornblenda	Silicatos- Anfíbol de Fe-Mg-Ca-K	7.01
Calcita	Carbonato de calcio	6
Magnetita	Óxido ferroso-férrico	0.7
Hematita	Óxido férrico	0.38
Rutilo	Óxido de titanio	0.01
Fluoroarjadita (K-Fe)	Fosfato de K-Fe-F	6.35
Yeso	Sulfato de calcio hidratado	1.15

Se corrió un análisis químico de Fluorescencia de Rayos X adicional, en el cual los resultados de los principales componentes fueron:

Óxido/Elemento	Porcentaje
SiO <sub>2</sub>	64.8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.08
S	0.069
K <sub>2</sub> O	0.718
CaO	10.9
TiO <sub>2</sub>	1.24
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6
MnO	0.15

**Observaciones:** Según el análisis macroscópico de la muestra y según el ensayo químico de FRX debería haber entre un 1 o 2% de ilmenita (óxido de titanio y hierro) que no se identificó con DRX. El MgO tiene un error elevado en el equipo de FRX y generalmente no es detectado, el Na<sub>2</sub>O no es detectado por el equipo.

**Muestra AM-000475 (Muestra Lavada 7 AM)**  
**Fecha de interpretación: 30 de mayo de 2017.**



La cuantificación de los componentes o fases de la muestra se da en la siguiente tabla:



Mineral	Tipo de mineral	Porcentaje
Cuarzo	Sílice	59.9
Albita	Silicatos- Plagioclasas de Na-Ca	5.13
Andesina		8.49
Sanidina	Silicatos- Feldespato de K	3.4
Diópsido	Silicatos- Piroxeno de Mg-Fe	2.62
Hornblenda	Silicatos- Anfíbol de Fe-Mg-Ca-K	10.38
Calcita	Carbonato de calcio	6.14
Magnetita	Óxido ferroso-férrico	0.19
Hematita	Óxido férrico	0.24
Fluoroarrojadita (K-Fe)	Fosfato de K-Fe-F	4.31

Se corrió un análisis químico de Fluorescencia de Rayos X adicional, en el cual los resultados de los principales componentes fueron:

Óxido/Elemento	Porcentaje
SiO <sub>2</sub>	64.5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.9
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.944
S	0.162
K <sub>2</sub> O	0.625
CaO	10.8
TiO <sub>2</sub>	1.12
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.72
MnO	0.143

**Observaciones:** Según el análisis macroscópico de la muestra y según el ensayo químico de FRX debería haber entre un 1 o 2% de ilmenita (óxido de titanio y hierro) que no se identificó con DRX. La presencia de azufre (S) en el ensayo de FRX indica que existe la posibilidad de existencia de Fe. El MgO tiene un error elevado en el equipo de FRX y generalmente no es detectado, el Na<sub>2</sub>O no es detectado por el equipo.

Ing. David González  
Técnico de Laboratorio de Mineralogía y Petrografía

Nota: Los resultados pertenecen a las muestras ensayadas, el laboratorio no se hace responsable por el muestreo de las mismas.

### **Anexo III. Ensayos químicos del agua de la zona de estudio.**

CODIGO: R.4.1.1  
 VERSION: 4  
 FECHA: 01-06-2016  
 ELABORADO POR: Diego Maza Estrada  
 REVISADO Y APROBADO POR: Mercedes  
 Villa Achupallas

UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA  
 REGISTRO DE RESULTADOS R.4.1.4  
 LABORATORIOS UTPL



FECHA DEL INFORME: 2017-04-26  
 INFORME No. 170159667  
 SOLICITUD DE ANALISIS: 667

INFORMACIÓN DEL CLIENTE:

NOMBRE: Posibles usos de la arena de mar en concreto reforzado en viviendas de interés social  
 DIRECCIÓN: Loja  
 TELEFONO: 980739933 email: jebv1986@hotmail.com

DATOS DE MUESTREO:

PROCEDIMIENTO DE MUESTREO: n/a  
 FECHA DE MUESTREO: n/a  
 IDENTIFICACIÓN DEL OBJETO DE MUESTREO: Agua de Río  
 LUGAR DE MUESTREO: Portoviejo

DATOS GENERALES DE LAS MUESTRAS:

DESCRIPCIÓN: Río Bahía  
 CONDICIÓN: Las muestras son transportadas por el cliente y llegan al laboratorio a una temperatura entre 3 -7 °C  
 FECHA DE RECEPCIÓN: 2017-04-17

RESULTADOS:

DETERMINACIÓN	FECHA DE ENSAYO		MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO	U	Norma ACI-318
	INICIO	FIN					Requisitos de agua para Concreto Estructural
pH	2017-04-17	2017-04-17	LUTPL-pH- ELECT-001	Adimensional	8,04	2,6%	6 - 9
Sulfatos	2017-04-17	2017-04-17	LUTPL-SO <sub>4</sub> -HACH-006	mg/l	33	3,3%	150 - 1500
Cloruros	2017-04-17	2017-04-17	LUTPL-CL-VOL-008	mg/l	198,02	4,0%	1500

OBSERVACIONES:

El informe de ensayo no se puede reproducir parcialmente, excepto en su totalidad con la aprobación escrita del laboratorio.  
 Los resultados representan exclusivamente la muestra (s) analizada (s).  
 Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE

Glosario

n/a: No Aplica  
 n/d: No disponible.  
 U: Incertidumbre expandida con valor de k=2 y con un 95% de confianza.  
 <: Menor al límite de detección

Norma ACI-318

Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural y Comentario

Eider Técnico  
 Ing. Silvio David Aguilar Ramirez

Técnico Analista  
 Ing. Diego Ernesto Maza Estrada



CODIGO: R.4.1.1  
 VERSION: 4  
 FECHA: 01-06-2016  
 ELABORADO POR: Diego Maza Estrada  
 REVISADO Y APROBADO POR: Mercedes  
 Villa Achupallas

UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA  
 REGISTRO DE RESULTADOS R.4.1.4  
 LABORATORIOS UTPL

  
 Servicio de Acreditación Ecuatoriano  
 Acreditación N° OAE LE C 12-005  
 LABORATORIO DE ENSAYOS

FECHA DEL INFORME: 2017-04-26  
 INFORME No. 170159666  
 SOLICITUD DE ANALISIS: 666

INFORMACIÓN DEL CLIENTE:

NOMBRE: Posibles usos de la arena de mar en concreto reforzado en viviendas de interés social  
 DIRECCIÓN: Loja  
 TELEFONO: 980739933 email: jebv1986@hotmail.com

DATOS DE MUESTREO:

PROCEDIMIENTO DE MUESTREO: n/a  
 FECHA DE MUESTREO: n/a  
 IDENTIFICACIÓN DEL OBJETO DE MUESTREO: Agua de Río  
 LUGAR DE MUESTREO: Portoviejo

DATOS GENERALES DE LAS MUESTRAS:

DESCRIPCIÓN: Río Canoa  
 CONDICIÓN: Las muestras son transportadas por el cliente y llegan al laboratorio a una temperatura entre 3-7 °C  
 FECHA DE RECEPCIÓN: 2017-04-17

RESULTADOS:

DETERMINACIÓN	FECHA DE ENSAYO		MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO	U	Norma ACI-318
	INICIO	FIN					Requisitos de Agua para Concreto Estructural
pH	2017-04-17	2017-04-17	LUTPL-pH- ELECT-001	Adimensional	8,1	2,6%	6 - 9
Sulfatos	2017-04-17	2017-04-17	LUTPL-SO <sub>4</sub> -HACH-006	mg/l	780	3,3%	150 - 1500
Cloruros	2017-04-17	2017-04-17	LUTPL-CL-VOL-008	mg/l	353,61	4,0%	1500

OBSERVACIONES:

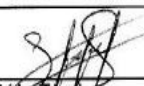
El informe de ensayo no se puede reproducir parcialmente, excepto en su totalidad con la aprobación escrita del laboratorio.  
 Los resultados representan exclusivamente la muestra (s) analizada (s).  
 Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE

Glosario

n/a: No Aplica  
 n/d: No disponible.  
 U: Incertidumbre expandida con valor de k=2 y con un 95% de confianza.  
 <: Menor al límite de detección

Norma ACI-318

Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural y Comentario

  
 Líder Técnico  
 Ing. Silvio David Aguilar Ramírez



  
 Técnico Analista  
 Ing. Diego Ernesto Maza Estrada



**Anexo IV. Diseños de las mezclas de concreto y ensayos a las probetas de estudio.**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

**MÉTODO:** ACI **MATERIALES:** Arena y grava  
**PROVIENE:** Bahía de Caráquez (Cantón Sucre) **RESISTENCIA:** 240 Kg/cm<sup>2</sup>  
**REALIZADO POR :** Jorge Valdivieso Bejarano

**DOSIFICACION DE HORMIGONES**

**DATOS DE LOS MATERIALES**

MATERIAL	ORIGEN	D <sub>ss</sub>	D <sub>ac</sub>	Da	M.F.	%AD.
CEMENTO		3,15				
ARENA	BAHIA DE CARAQUES	2,762	1,663	1,481	0,94	0,64
GRAVA	SAN ISIDRO	2,861	1,693	1,485	7,57	1,33

**VARIABLES**

a/c	0,51	ASENT	7,50	T.M.A.G	19,00
Vol apc G	806	agua	205	AIRE	0,00
% GRA. ARE	0,03	% A. G.	0,75		

**DOSIFICACIÓN**

MATERIAL	VOL.REAL	DOS.PESO	D. UNIT.	D. SACO	VOL. AP.	PARI.
CEMENTO	128	402	1,00	50,00		402
AIRE						
AGUA	205	205	0,51	25,50		205
ARENA	190	526	1,31	65,43	44,18	355
GRAVA	477	1365	3,39	169,74	114,30	919
TOTAL	1000	2498		H. F.	2,50	

**CORRECCIÓN DE ARENA Y GRAVA**

MATERIAL	VOL.REAL	DOS.PESO	D. UNIT.	D. SACO	VOL. AP.	PARI.
ARENA	187	516	1,28	64,22	43,36	<b>1,34</b>
GRAVA	480	1375	3,42	170,99	115,15	<b>3,5</b>

**PARIHUELAS**

ARENA	32cm.	32cm.	32 cm.
GRAVA	32cm.	32cm.	32 cm.

Ing. Bolívar Hernán Maza  
**DIRECTOR DE PROYECTO DE**  
**FIN DE TITULACIÓN**

Marco Antonio Guaya O.  
 Jorge Valdivieso Bejarano



# UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

MÉTODO: ACI  
 PROVIENE: Bahía de Caráquez (Cantón Sucre)  
 REALIZADO POR : Jorge Valdivieso Bejarano

MATERIALES: Arena y grava triturada  
 RESISTENCIA: 240 Kg/cm<sup>2</sup>

### DATOS DE LOS MATERIALES

MATERIALES	ORIGEN	D <sub>ss</sub>	D <sub>ac</sub>	D <sub>a</sub>	M.F.	%AD.
CEMENTO		3,15				
ARENA	PICOASA	2,522	1,732	1,517	3,35	6,63
GRAVA	SAN ISIDRO	2,861	1,693	1,485	7,57	1,33

### VARIABLES

a/c	0,51	ASENT.	7,50	T.M.A.G	19,00
Vol apc G	565	agua	205	AIRE	0,00
% GRA. ARE.	6,1	% A. G.	0,75		

### DOSIFICACIÓN

MATERIAL	VOL.REAL	DOS.PESO	D. UNIT.	D. SACO	VOL. AP.	PARI.
CEMENTO	128	402	1,00	50,00		402
AIRE	0					
AGUA	205	205	0,51	25,50		205
ARENA	333	840	2,09	104,48	68,87	554
GRAVA	334	957	2,38	118,98	80,12	644
SUMAN	1000	2403		H. F.	2,40	

### CORRECCIÓN DE ARENA Y GRAVA

MATERIAL	VOL.REAL	DOS.PESO	D. UNIT.	D. SACO	VOL. AP.	PARI.
ARENA	351	885	2,20	110,07	72,56	<b>2,2</b>
GRAVA	317	906	2,25	112,65	75,86	<b>2,3</b>

### PARIHUELAS

ARENA	32cm.	32cm.	32 cm.
GRAVA	32cm.	32cm.	32 cm.

Ing. Bolívar Hernán Maza  
 DIRECTOR DE PROYECTO DE  
 FIN DE TITULACIÓN

Jorge Valdivieso Bejarano  
 PROFESIONAL EN FORMACIÓN

**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

**MÉTODO:** ACI **MATERIALES:** Arena y grava  
**PROVIENE:** Bahía de Caráquez (Cantón Sucre) - Catamayito **RESISTENCIA:** 240 Kg/cm<sup>2</sup>  
**REALIZADO POR :** Jorge Valdivieso Bejarano

**DOSIFICACION DE HORMIGONES****DATOS DE LOS MATERIALES**

MATERIALES	ORIGEN	D <sub>ss</sub>	D <sub>ac</sub>	D <sub>a</sub>	M.F.	%AD.
CEMENTO		3,15				
ARENA 40T - 60M	BAHIA / CATAMAYITO	2,684	1,688	1,549	1,98	0,81
GRAVA 3/4	CATAMAYITO	2,645	1,552	1,374	-	0,52

**VARIABLES**

a/c	0,51	ASENT.	7,50	T.M.A.G	19,00
Vol apc G	710	agua	205	AIRE	0,00
% GRA. ARE.	0,71	% A. G.	2,46		

**DOSIFICACIÓN**

MATERIAL	VOL.REAL	DOS.PESO	D. UNIT.	D. SACO	VOL. AP.	PARI.
CEMENTO	128	402	1,00	50,00		402
AIRE						
AGUA	205	205	0,51	25,50		205
ARENA	251	673	1,67	83,73	54,05	435
GRAVA	417	1102	2,74	137,07	99,76	802
TOTAL	1000	2382		H. F.	2,38	

**CORRECCION DE ARENA Y GRAVA**

MATERIAL	VOL.REAL	DOS.PESO	D. UNIT.	D. SACO	VOL. AP.	PARI.
ARENA	242	650	1,62	80,90	52,23	1,61
GRAVA	425	1124	2,80	139,85	101,79	3,15

**PARIHUELAS**

ARENA	32cm.	32cm.	32 cm.
GRAVA	32cm.	32cm.	32 cm.

Ing. Bolívar Hernán Maza  
 DIRECTOR DE PROYECTO DE  
 FIN DE TITULACIÓN

Jorge Valdivieso Bejarano  
 PROFESIONAL EN FORMACIÓN



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

**MÉTODO:** ACl **MATERIALES:** Arena y grava  
**PROVIENE:** Bahía de Caráquez (Cantón Sucre) - Catamayo **RESISTENCIA:** 240 Kg/cm<sup>2</sup>  
**REALIZADO POR :** Jorge Valdivieso Bejarano

**DOSIFICACION DE HORMIGONES**

**DATOS DE LOS MATERIALES**

MATERIALES	ORIGEN	D <sub>ss</sub>	D <sub>ac</sub>	D <sub>a</sub>	M.F.	%AD.
CEMENTO		3,15				
ARENA 50T - 50M	BAHIA / CATAMAYITO	2,665	1,727	1,568	2,24	0,87
GRAVA 3/4	CATAMAYITO	2,645	1,552	1,374	-	0,52

**VARIABLES**

a/c	0,51	ASENT.	7,50	T.M.A.G	19,00
Vol apc G	667	agua	205	AIRE	0,00
% GRA. ARE.	0,71	% A. G.	3,07		

**DOSIFICACIÓN**

MATERIAL	VOL.REAL	DOS.PESO	D. UNIT.	D. SACO	VOL. AP.	PARI.
CEMENTO	128	402	1,00	50,00		402
AIRE	0					
AGUA	205	205	0,51	25,50		205
ARENA	276	736	1,83	91,50	58,34	469
GRAVA	391	1035	2,58	128,77	93,72	753
TOTAL	1000	2378		H. F.	2,38	

**CORRECCIÓN DE ARENA Y GRAVA**

MATERIAL	VOL.REAL	DOS.PESO	D. UNIT.	D. SACO	VOL. AP.	PARI.
ARENA	266	709	1,76	88,17	56,22	<b>1,69</b>
GRAVA	401	1062	2,64	132,07	96,12	<b>2,9</b>

**PARIHUELAS**

ARENA	32cm.	32cm.	32 cm.
GRAVA	32cm.	32cm.	32 cm.

Ing. Bolívar Hernán Maza  
**DIRECTOR DE PROYECTO DE**  
**FIN DE TITULACIÓN**

Jorge Valdivieso Bejarano  
**PROFESIONAL EN FORMACIÓN**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

**MÉTODO:** ACI  
**PROVIENE:** Bahía de Caráquez (Cantón Sucre) - Catamayo  
**REALIZADO POR :** Jorge Valdivieso B.  
**MATERIALES:** Arena y grava  
**RESISTENCIA:** 240 Kg/cm<sup>2</sup>

**DOSIFICACION DE HORMIGONES**

**DATOS DE LOS MATERIALES**

MATERIALES	ORIGEN	D <sub>ss</sub>	D <sub>ac</sub>	D <sub>a</sub>	M.F.	%AD.
CEMENTO		3,15				
ARENA 60T - 40M	BAHIA / CATAMAYITO	2,646	1,764	1,576	2,5	0,94
GRAVA 3/4	CATAMAYITO	2,645	1,552	1,374	-	0,52

**VARIABLES**

a/c	0,51	ASENT.	7,50	T.M.A.G	19,00
Vol apc G	640	agua	205	AIRE	0,00
% GRA. ARE.=	0,71	% A. G.	3,67		

**DOSIFICACIÓN**

MATERIAL	VOL.REAL	DOS.PESO	D. UNIT.	D. SACO	VOL. AP.	PARI.
CEMENTO	128	402	1,00	50,00		402
AIRE						
AGUA	205	205	0,51	25,50		205
ARENA	292	772	1,92	96,06	60,94	490
GRAVA	376	993	2,47	123,55	89,92	723
TOTAL	1000	2373		H. F.	2,37	

**CORRECCION DE ARENA Y GRAVA**

MATERIAL	VOL.REAL	DOS.PESO	D. UNIT.	D. SACO	VOL. AP.	PARI.
ARENA	280	741	1,84	92,21	58,49	<b>1,8</b>
GRAVA	387	1024	2,55	127,41	92,73	<b>2,8</b>

**PARIHUELAS**

ARENA	32cm.	32cm.	32 cm.
GRAVA	32cm.	32cm.	32 cm.

Ing. Bolívar Hernán Maza  
**DIRECTOR DE PROYECTO DE**  
**FIN DE TITULACIÓN**

Jorge Valdivieso B.  
**PROFESIONAL EN FORMACIÓN**



# UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

MÉTODO: ACI  
 PROVIENE: Bahía de Caráquez (Cantón Sucre)  
 REALIZADO POR: Jorge Eduardo Valdivieso B.

MATERIALES: Arena y grava  
 RESISTENCIA: 240 Kg/cm<sup>2</sup>

### ROTURA DE CILINDROS CLASE M

NUMERO	CODI GO	CLASE M	NUMERO	CODI GO	CLASE T
1	M1	216,5	1	T1	251,7
2	M2	200,5	2	T2	249,6
3	M3	242,4	3	T3	263,1
4	M4	175,4	4	T4	285,3
5	M5	229,7	5	T1	284,9
6	M6	166,2	6	T2	250,5
7	M7	173,3	7	T3	252,5
8	f' cm	200,57	8	f' cm	262,51



# UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

MÉTODO: ACI  
 PROVIENE: Bahía de Caráquez (Cantón Sucre)  
 REALIZADO POR: Jorge Eduardo Valdivieso B.

MATERIALES: Arena y grava  
 RESISTENCIA: 240 Kg/cm<sup>2</sup>

### ROTURA DE CILINDROS CLASE A

N°	Identificación Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	D (m)	Sección m <sup>2</sup>	L (m)	Peso (kg)	Carga (kgf)	Resistencia			Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Tipo de falla
									Kgf/cm <sup>2</sup>	MPa	%		
1	A1	02-jul-17	01-ago-17	0,107	0,0085	0,199	3,82	24.334,00	309,70	30,37	126,5%	2.265,41	1
				0,101									
2	A2	02-jul-17	01-ago-17	0,101	0,0081	0,200	3,83	24.707,00	314,50	30,84	128,5%	2.372,52	3
				0,101									
3	A3	02-jul-17	01-ago-17	0,102	0,0080	0,201	3,833	25.422,00	323,60	31,73	132,2%	2.368,43	1
				0,100									
4	A4	02-jul-17	01-ago-17	0,101	0,0080	0,201	3,82	24.739,00	314,90	30,88	128,7%	2.391,01	2
				0,101									
5	A5	02-jul-17	01-ago-17	0,102	0,0080	0,201	3,83	23.992,00	305,40	29,95	124,8%	2.375,98	1
				0,101									
6	A6	02-jul-17	01-ago-17	0,101	0,0080	0,200	3,82	20.952,00	266,70	26,15	109,0%	2.392,26	1
				0,101									
7	A7	02-jul-17	01-ago-17	0,101	0,0080	0,202	3,84	22.701,00	289,00	28,34	118,1%	2.369,21	5
				0,102									
f'cm:									303,40	29,75	124,0%	2.362,12	



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

MÉTODO: ACI  
 PROVIENE: Bahía de Caráquez (Cantón Sucre)  
 REALIZADO POR : Jorge Eduardo Valdivieso B.

MATERIALES: Arena y grava  
 RESISTENCIA: 240 Kg/cm<sup>2</sup>

**ROTURA DE CILINDROS CLASE B**

N°	Identificación Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	D (m)	Sección m <sup>2</sup>	L (m)	Peso (kg)	Carga (kgf)	Resistencia			Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Tipo de falla
									Kgf/cm <sup>2</sup>	MPa	%		
1	B1	03-jul-17	01-ago-17	0,102	0,0082	0,201	3,82	31.844,00	405,30	39,75	165,6%	2.331,55	1
				0,102									
2	B2	03-jul-17	01-ago-17	0,101	0,0080	0,200	3,83	29.881,00	380,30	37,29	155,4%	2.381,73	1
				0,102									
3	B3	03-jul-17	01-ago-17	0,101	0,0080	0,201	3,87	29.710,00	378,20	37,09	154,5%	2.396,02	1
				0,101									
4	B4	03-jul-17	01-ago-17	0,101	0,0080	0,200	3,83	29.625,00	377,10	36,98	154,1%	2.387,87	2
				0,101									
5	B5	03-jul-17	01-ago-17	0,101	0,0080	0,200	3,87	29.444,00	374,80	36,76	153,1%	2.415,15	5
				0,101									
6	B6	03-jul-17	01-ago-17	0,101	0,0080	0,200	3,82	28.462,00	362,30	35,53	148,0%	2.394,66	2
				0,101									
7	B7	03-jul-17	01-ago-17	0,100	0,0081	0,200	3,85	28.206,00	359,00	35,21	146,7%	2.390,84	5
				0,102									
f'cm:									376,71	36,94	153,9%	2.385,40	





## UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

MÉTODO: ACI

MATERIALES: Arena y grava

PROVIENE: Bahía de Caráquez (Cantón Sucre)

RESISTENCIA: 240 Kg/cm<sup>2</sup>

REALIZADO POR: Jorge Eduardo Valdivieso Bejarano

### ROTURA DE CILINDROS CLASE C

N°	Identificación Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	D (m)	Sección m <sup>2</sup>	L (m)	Peso (kg)	Carga (kgf)	Resistencia			Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Tipo de falla	
									Kgf/cm <sup>2</sup>	MPa	%			
1	C1	04-jul-17	01-ago-17	0,105	0,0088	0,200	3,82	29.092,00	370,30	36,31	151,3%	2.164,37	2	
				0,107										
2	C2	04-jul-17	01-ago-17	0,112	0,0089	0,201	3,84	31.663,00	403,00	39,52	164,7%	2.144,60	1	
				0,101										
3	C3	04-jul-17	01-ago-17	0,101	0,0080	0,200	3,81	28.675,00	365,00	35,79	149,1%	2.377,73	2	
				0,101										
4	C4	04-jul-17	01-ago-17	0,101	0,0081	0,201	3,84	31.022,00	394,90	38,73	161,4%	2.361,09	2	
				0,102										
5	C5	04-jul-17	01-ago-17	0,100	0,0080	0,201	3,8	27.673,00	352,20	34,54	143,9%	2.359,69	5	
				0,102										
6	C6	04-jul-17	01-ago-17	0,101	0,0079	0,199	3,81	30.980,00	394,30	38,67	161,1%	2.413,51	1	
				0,100										
7	C7	04-jul-17	01-ago-17	0,101	0,0079	0,201	3,84	28.750,00	365,90	35,88	149,5%	2.432,46	5	
				0,099										
								f'cm:	377,94	37,06	154,4%	2.321,92		



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

**MÉTODO:** ACI  
**PROVIENE:** Bahía de Caráquez (Cantón Sucre)  
**REALIZADO POR :** Jorge Eduardo Valdivieso B.

**MATERIALES:** Arena de Mar - Arena Triturada y Grava Triturada 3/4  
**RESISTENCIA:** 240 Kg/cm<sup>2</sup>

**Tabla 1.** Dosificación de prueba con agregados de cantera y mina.

TIPO DE MEZCLA	CLASE M		CLASE T	
	Masa (kg)	Proporción	Masa (kg)	Proporción
CEMENTO	401,96	1,00	401,96	1,00
AGUA	205,00	0,51	205,00	0,51
ARENA	516,28	1,28	884,88	2,20
GRAVA	1374,63	3,42	905,59	2,25

TIPO DE MEZCLA	CLASE A		CLASE B		CLASE C	
	Masa (kg)	Proporción	Masa (kg)	Proporción	Masa (kg)	Proporción
CEMENTO	401,96	1,00	401,96	1,00	401,96	1,00
AGUA	205,00	0,51	205,00	0,51	205,00	0,51
ARENA	650,39	1,62	708,85	1,76	741,26	1,84
GRAVA	1124,32	2,80	1061,73	2,64	1024,27	2,55

Fuente: El Autor.

**Nota:**

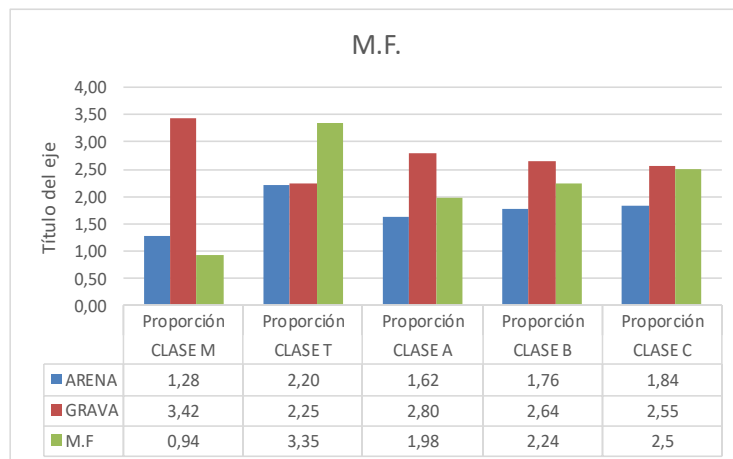
Clase M: Grava 3/4 - San Jacinto / Arena de Mar - Bahía

Clase T: Grava 3/4 - San Jacinto / Arena Triturada - Picoasa

Clase A: Grava 3/4 - Catamayito / Arena de Mar - Bahía 60% / Areana Triturada - Catamayito 40%

Clase B: Grava 3/4 - Catamayito / Arena de Mar - Bahía 50% / Areana Triturada - Catamayito 50%

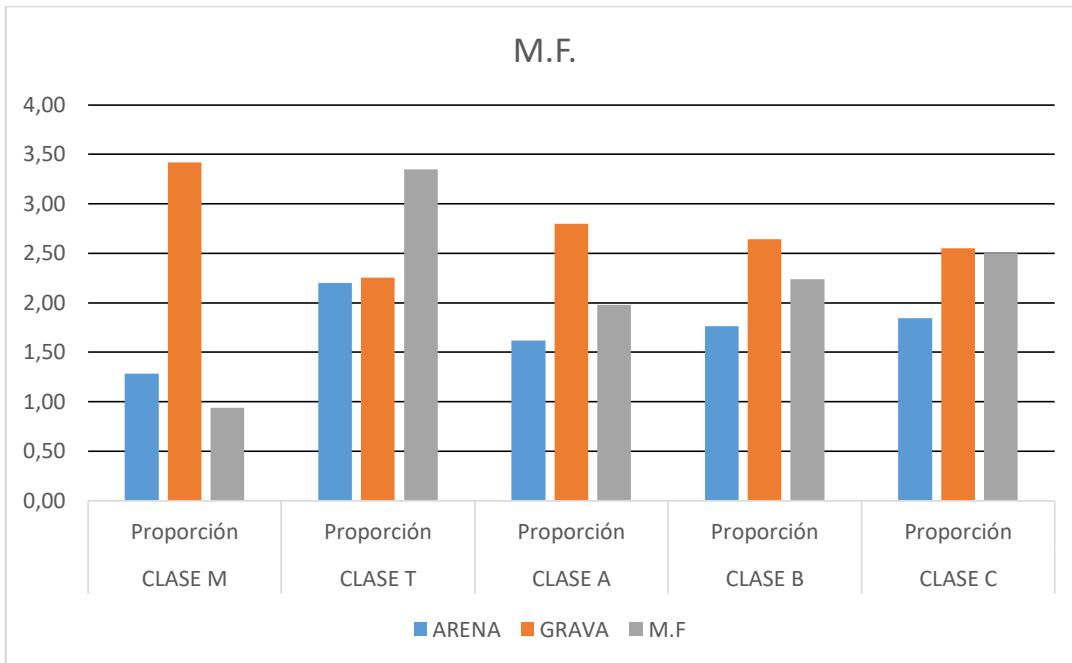
Clase C: Grava 3/4 - Catamayito / Arena de Mar - Bahía 40% / Areana Triturada - Catamayito 60%



Ing. Bolívar Hernán Maza  
**DIRECTOR DE PROYECTO DE**  
**FIN DE TITULACIÓN**

Jorge Eduardo Valdivieso B.  
**PROFESIONAL EN FORMACIÓN**





**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**

**BÚSQUEDA DE POSIBLES USOS SOSTENIBLES DE ARENA DE MAR PARA PARA CONCRETO REFORZADO EN VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL.**

Mediciones del pH del concreto

Muestras	Peso Muestra	pH
Edificio Albatros	10.01 g	10.80
Edificio Vista Azul	10.04 g	10.86
Muestra A	10.04 g	11.67
Muestra M	10.02 g	11.68
Muestra T	10.006 g	11.35
Muestra B	10.02 g	11.53
Muestra C	10.009 g	11.74 g

**ING. BOLIVAR MAZA**

**JORGE VALDIVIESO**

Director de Proyecto de Fin de Carrera Profesional en Formación



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL**  
 BÚSQUEDA DE POSIBLES USOS SOSTENIBLES DE ARENA DE MAR PARA PARA CONCRETO REFORZADO EN  
 VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL.  
 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, LA ADSORCIÓN Y LOS VACÍOS EN EL CONCRETO ENDURECIDO - ASTM C 642 - 97

PROY. :

UBIC. : LOJA

FECHA : JULIO-2017

MUESTRA	W INICIAL	W SECA AL HORNO	W SATURADA LUEGO DE INMERSIÓN	W SATURADA LUEGO DE EBULLICIÓN DE H2O	W SUMERGIDA APARENTE
	(gr)	A (gr)	B (gr)	C (gr)	D (gr)
A8	3.820,00	3.640,00	3.810,00	3.780,00	2.175,00
A9	3.825,00	3.645,00	3.825,00	3.790,00	2.180,00
B8	3.795,00	3.600,00	3.780,00	3.745,00	2.145,00
B9	3.830,00	3.635,00	3.820,00	3.785,00	2.180,00
C8	3.810,00	3.615,00	3.795,00	3.755,00	2.155,00
C9	3.800,00	3.615,00	3.785,00	3.745,00	2.145,00

MUESTRA	ABSORCIÓN DESPUES DE INMERSIÓN	ABSORCIÓN DESPUES DE INMERSIÓN Y VACÍOS	DENSIDAD SECA GLOBAL (o BRUTA)	DENSIDAD GLOBAL (o BRUTA) DESPUES DE	DENSIDAD GLOBAL (o BRUTA) DESPUES DE	DENSIDAD APARENTE g2	VOLUMEN DE VACIOS ( ESPACIO DE POROS)
A8	4,67	3,85	2,27	2,37	2,36	2,48	8,72
A9	4,94	3,98	2,26	2,38	2,35	2,49	9,01
B8	5,00	4,03	2,25	2,36	2,34	2,47	9,06
B9	5,09	4,13	2,26	2,38	2,36	2,50	9,35
C8	4,98	3,87	2,26	2,37	2,35	2,48	8,75
C9	4,70	3,60	2,26	2,37	2,34	2,46	8,13



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

MAR PARA PARA CONCRETO REFORZADO EN VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL.

**DETERMINACION DE CLORUROS SEGÚN ASTM C 1152**

Muestra	Peso (g)	Ph	Solucion (ml)	% Cloruros	Cloruos en mg/l
Ea	10 ± 0.01	7,61	175,5	0,075	0,032
Ev	10 ± 0.01	8,23	35,7	0,25	0,1
A	10 ± 0.01	8,36	14,4	0	0
C	10 ± 0.01	8,61	175,5	1,73	0,79
M	10 ± 0.01	8,1	108,75	0,56	0,512
T	10 ± 0.01	8,59	60,4	0,49	0,22

**ING. BOLIVAR MAZA**  
Director de Proyecto de Fin de  
Carrera

**JORGE VALDIVIESO**  
Profesional en Formación

**Anexo V. ANEXO FOTOGRÁFICO.**

Extracción de núcleos.



Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Toma de la muestra de agua.



Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.



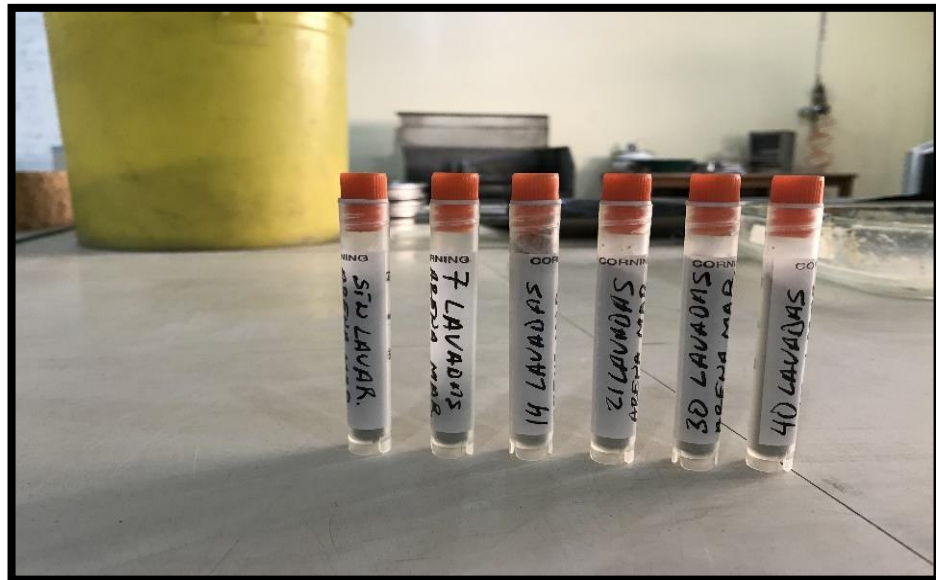
Ensayo a la compresión de los núcleos de hormigón.



Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Muestras para el ensayo DRX.



Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Diseño de las mezclas de hormigón.



Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Elaborado de probetas de ensayo.



Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Curado de las muestras de hormigón.



Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Ensayo a compresión de las probetas de diseño.



Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Ensayo de pH de los hormigones.



Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Ensayo de cloruros en el hormigón.



Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

