



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Evaluación de la oxidación del acero de refuerzo en elementos estructurales de concreto reforzado. Sector Bahía de Caráquez.

TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTOR: Guaya Ordóñez, Marco Antonio.

DIRECTOR: Maza, Bolívar Hernán, MSc.

LOJA – ECUADOR

2018



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>

2018

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ingeniero

Bolívar Hernán Maza.

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: **Evaluación de la oxidación del acero de refuerzo en elementos estructurales de concreto reforzado. Sector Bahía de Caráquez**, realizado por Marco Antonio Guaya Ordóñez, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, septiembre de 2018

f).....

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Marco Antonio Guaya Ordóñez declaro ser autor del presente trabajo de titulación: **Evaluación de la oxidación del acero de refuerzo en elementos estructurales de concreto reforzado. Sector Bahía de Caráquez**, de la Titulación de Ingeniero Civil, siendo 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 o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f.

Autor: Guaya Ordóñez, Marco Antonio

Cédula: 1104783376

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primeramente a Dios nuestro padre celestial por cuidarme y darme la fortaleza necesaria para seguir en el camino a pesar de las adversidades presentadas.

De igual forma a mis padres Bolivio, Marlene, mis hermanas Patricia y Ximena, por su gran sacrificio y apoyo brindado, que sin duda alguna en el trayecto de mi vida me han demostrado su amor, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos.

A mí amada esposa Jesenia y a mi pequeño hijo Ragnar, por ser inspiración y mi fortaleza para el cumplimiento de mis objetivos y metas de la vida.

A todas las personas que he conocido en esta etapa, con quienes hemos compartido muchas experiencias las cuales han dejado recuerdos imborrables, además de grandes enseñanzas.

MAGUAYAER.

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi sincero agradecimiento por el apoyo brindado a:

A la Universidad Técnica Particular de Loja, a la Titulación de Ingeniería Civil, a sus docentes, especialmente a mi director de tesis Ing. Bolívar Hernán Maza, por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de la misma.

A mis padres por la entera confianza depositada en mí en todo este tiempo de formación profesional, quienes además me han concedido lo necesario para culminar esta meta.

A todos mis familiares, amigos y personas que me ayudaron de forma directa e indirectamente en la realización de este Trabajo de Fin de Titulación.

MAGUAYAER.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	i
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	xv
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
CAPÍTULO I: ANTECEDENTES	3
1.1. Introducción.....	4
1.2. Alcance	4
1.3. Justificación.....	5
1.4. Objetivos de la investigación	5
1.4.1. Objetivo general.	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
1.5. Metodología de investigación	5
1.6. Estructura del trabajo de fin de titulación	7
2. CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE	8
2.1. Historia del acero	9
2.2. El acero	10
2.2.1. Definición general.....	10
2.2.2. Mecanismos de la corrosión	11
2.3. Tipos de corrosión.....	14

2.3.1. Corrosión bimetálica.....	14
2.3.2. Corrosión uniforme.....	14
2.3.3. Corrosión localizada.....	15
2.3.4. Corrosión por picaduras.....	15
2.3.5. Corrosión en grietas.....	16
2.3.6. Corrosión bajo esfuerzo.....	16
2.4. Corrosión del acero de refuerzo.....	17
2.4.1. Protección del acero.....	17
2.4.2. Causas de la corrosión.....	17
2.4.3. Carácter electroquímico de la corrosión.....	18
2.5. Factores generadores de la corrosión.....	18
2.5.1. Contenido de Humedad.....	18
2.5.2. Concentración de cloruros.....	20
2.5.3. Temperatura.....	20
2.5.4. Existencia de macro pares galvánicos.....	20
2.5.5. Iones Cloruro y otros Agentes Agresivos.....	20
2.6. Vida Útil.....	23
2.7. Factores que reducen el tiempo de servicio del hormigón.....	23
2.8. Modelos de predicción de vida útil.....	24
2.8.1. Modelos empíricos.....	24
2.8.2. Modelos basados en la comparación del desempeño.....	25
2.8.3. Modelos matemáticos.....	25
2.8.4. Modelos de corrosión del acero de refuerzo.....	25
2.8.5. Modelos de avance del frente de carbonatación.....	26
2.8.6. Modelos de penetración de iones cloruro.....	27
2.8.7. Modelos estocásticos.....	27
2.9. Evaluación de la corrosión en estructuras de concreto.....	27
2.9.1. El método de la Media Celda.....	28
2.9.2. El método de resistencia a la polarización lineal.....	29

2.10. Tipos de hormigón.....	31
2.10.1. Clasificación por su densidad.	31
2.10.2. Clasificación por su composición.....	32
2.10.3. Clasificación en función de su armado.	32
2.11. Propiedades del hormigón.....	32
2.11.1. Propiedades del hormigón fresco.	32
2.11.2. Propiedades del hormigón endurecido.	35
2.12. Curado del hormigón.....	43
2.13. Componentes del hormigón.....	44
2.13.1. Agregados.....	44
2.13.2. Aditivos.....	50
2.14. Dosificación del hormigón.....	52
2.14.1. Método de dosificación del ACI.	52
2.14.2. Elaboración y toma de muestras de los especímenes.	59
2.14.3. Curado de especímenes de hormigón.....	60
2.3.1 Propiedades mecánicas en especímenes finales de hormigón.....	60
2.15. Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados.....	61
2.15.1. Análisis granulométrico.	61
2.15.2. Densidad, densidad relativa y capacidad de absorción.	62
2.15.3. Densidad, densidad relativa y capacidad de absorción para el agregado grueso.	63
2.15.4. Densidad, densidad relativa y capacidad de absorción para el agregado fino.	63
2.15.5. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) en el agregado fino y grueso	64
2.15.6. Resistencia a la abrasión o al desgaste del agregado grueso.	65
2.15.7. Contenido de humedad en los agregados.	67
3. CAPÍTULO III: MATERIALES UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN.....	69
3.1. Selección del acero.....	70
3.2. Selección de agregados	70
3.2.1. Ciudad de Loja.	70
3.2.2. Bahía de Caráquez.....	70

3.3.	Selección del cemento	72
3.4.	Selección del agua	72
3.4.1.	Agua de pozo	72
3.4.2.	Agua de quebrada - Río Canoa	73
3.5.	Selección de la arena de mar	74
3.6.	Selección del equipo para extraer núcleos	75
3.6.1.	Detector de acero de refuerzo.	76
3.7.	Equipo de esclerometría.....	76
4.	CAPÍTULO IV: INVESTIGACIÓN REALIZADA Y RESULTADOS	77
4.1.	Esquema de la investigación realizada.....	78
4.2.	Determinación del porcentaje de corrosión del acero de refuerzo por variación de masa. 79	
4.3.	Determinación del módulo de finura (MF) y de tamaño máximo nominal (TMN) de los agregados.....	82
4.4.	Determinación del porcentaje de corrosión del acero de refuerzo por variación de masa. 83	
4.5.	Determinación de densidades y absorción del agregado fino.	84
4.6.	Determinación de la masa unitaria suelta y compactada de los agregados.	85
4.7.	Determinación de la resistencia a la abrasión del agregado grueso.	85
4.8.	Diseño de mezclas de hormigón para probetas de prueba.	86
4.8.1.	Diseño de mezclas con agregados de la cantera San isidro y Picoazá.....	86
4.8.2.	Diseño de mezclas con agregados de la cantera San Isidro y Arena de Mar.....	93
4.8.3.	Diseño de mezclas clase A.....	99
4.8.4.	Diseño de mezclas clase B.....	100
4.8.5.	Diseño de mezclas clase C	101
4.8.6.	Determinación de las propiedades físico químicas de los agregados y del concreto endurecido.....	102
4.9.	Ensayo de Esclerometría.....	108
5.	CAPÍTULO V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	110
5.1.	Corrosión del acero de refuerzo.	111

5.2. Propiedades físico, mecánicas de los agregados.	111
5.3. Compresión simple de los especímenes.	112
5.4. Propiedades físico químicas de los agregados y del concreto endurecido	115
5.5. Divulgación.....	115
CONCLUSIONES	116
BiBLOGRAFÍA.....	119
ANEXOS.....	122
Anexo 1. Hormigón clase T.....	123
Anexo 2. Hormigón clase M.	130
Anexo 3. Hormigón clase A.....	137
Anexo 4. Hormigón clase B.....	144
Anexo 5. Hormigón clase C.	151
Anexo 6. Determinación de la solidez de los áridos mediante el uso de sulfato de sodio y magnesio, INEN 863 / ASTM C 88.....	158
Anexo 7. Determinación de pH en el concreto. Método ASTM D 4262	161
Anexo 8. Determinación de cloruros disueltos en ácido. Método ASTM C 1152	162
Anexo 9. Ensayo de difracción de rayos x.	163
Anexo 10. Determinación de contenido de pH, cloruros y sulfatos en el agua.	167

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1. Potenciales de corrosión para diversos electrodos de referencia	28
Tabla 2. 2. Interpretación de los valores de densidad de corrosión.....	31
Tabla 2. 3. Estados de consistencia del hormigón en función del asentamiento.	34
Tabla 2. 4. Porcentajes de resistencia a la compresión del hormigón a diferentes edades. .	36
Tabla 2. 5. Factor de corrección para la desviación estándar cuando se dispone de menos de 30 ensayos.	39
Tabla 2. 6. Resistencia característica a la compresión cuando no hay datos para establecer la desviación estándar.	39
Tabla 2. 7. Relación entre la resistencia a la compresión ($f'c$), la resistencia a la tracción indirecta (f_t) y el módulo de rotura (MR) para hormigones de uso general.	42
Tabla 2. 8. Módulos de elasticidad para diferentes resistencias.....	43
Tabla 2. 9. Límites máximos permisibles de sustancias dañinas en el agregado grueso.	46
Tabla 2. 10. Límites máximos permisibles de sustancias dañinas en el agregado fino.	47
Tabla 2. 11. Revenimientos recomendados para varios tipos de construcción.....	54
Tabla 2. 12. Requisitos aproximados de agua de mezcla y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales del agregado.	55
Tabla 2. 13. Relación agua/cemento máxima para condiciones de exposición.	56
Tabla 2. 14. Dependencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a compresión del concreto.....	57
Tabla 2. 15. Volumen de agregado grueso por volumen unitario de hormigón.....	58
Tabla 3. 1. Propiedades físicas y químicas de los cementos	72
Tabla 4. 1. Evaluación de la corrosión del acero de refuerzo en varillas de 10mm.	80
Tabla 4. 2. Evaluación de la corrosión del acero de refuerzo en varillas de 12mm.	81
Tabla 4. 3. Evaluación de la corrosión del acero de refuerzo en varillas de 14mm.	82
Tabla 4. 4. Módulo de finura (MF) del agregado fino.....	82
Tabla 4. 5. Tamaño máximo nominal (TMN) del agregado grueso.....	83
Tabla 4. 6. Valores obtenidos de densidades y absorción del agregado grueso.	84
Tabla 4. 7. Valores obtenidos de densidades y absorción del agregado fino.	85
Tabla 4. 8. Valores de masa unitaria suelta y compactada de los agregados investigados.....	85
.....	85

Tabla 5. 1. Proporción de los materiales de mezcla.....	113
Tabla 5. 2. Resistencia promedio a la compresión simple.....	113
Tabla 5. 3. MF de diferentes Mezclas de diseño.....	114
Tabla 5. 4. Nuevos resultados de compresión simple en Mezclas A, B y C.	114
Tabla 5. 5. Calculo del Módulo de Elasticidad y Resistencia a la Tracción.....	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1. Esquema de metodología de investigación	6
Figura 2. 1. Celda básica de la corrosión o pila electroquímica.....	12
Figura 2. 2. Reacciones electroquímicas en una pila galvánica.	12
Figura 2. 3. Proceso de corrosión del acero embebido en concreto.....	14
Figura 2. 4. Ejemplo de corrosión bimetalica	14
Figura 2. 5. Ejemplo de corrosión uniforme.....	15
Figura 2. 6. Ejemplo de corrosión localizada.....	15
Figura 2.7. Factor de picaduras.	16
Figura 2. 8. Corrosión bajo esfuerzo	16
Figura 2. 9. Tipos de corrosión en armaduras y factores desencadenantes.....	18
Figura 2. 10. Contenido de humedad en los poros del concreto	19
Figura 2. 11. Gráfica I _{corr} Vs. Resistividad	19
Figura 2. 12. Diferentes secciones en corrosión por picaduras.	21
Figura 2. 13. Variación contenido crítico de cloruros en función de la calidad del concreto y la humedad relativa ambiental.	22
Figura 2. 14. Gráfica de Cloruros Fijos, Cf Vs. Cloruros libre, Cl.....	22
Figura 2. 15. Factores que reducen el tiempo de servicio del hormigón.....	24
Figura 2. 16. Modelo de vida útil de Tuutti.	26
Figura 2. 17. Cono de Abrams para determinar la consistencia del hormigón.....	34
Figura 2. 18. Definición resistencia característica el hormigón.....	37
Figura 2. 19. Ensayo para determinación del módulo de rotura del hormigón, (a) viga con carga en el punto central, (b) viga con carga en los tercios.....	40
Figura 2. 20. Efecto de las condiciones de curado húmedo sobre el desarrollo de la resistencia del hormigón.	44
Figura 2. 21. Diagrama de flujo del método de dosificación del Instituto Americano del Concreto (ACI).....	53
Figura 3. 1. Ubicación cantera San Isidro.	71
Figura 3. 2. Ubicación cantera Picoazá.....	71
Figura 3. 3. Ubicación Río Canoa y Pozo.	74
Figura 5. 1. Variación del módulo de finura vs Agregados fino y grueso.	111

Figura 5. 2. Incremento del módulo de finura por acción de la mezcla en el árido fino..... 114

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 3. 1. a) Edificio Vista azul, - b),c) Edificio Albatros	70
Fotografía 3. 2. Toma de muestra de agua de pozo.	73
Fotografía 3. 3. Toma de muestra de agua en Río Canoa.	73
Fotografía 3. 4. Arena de mar Playa de Bahía de Caráquez.	74
Fotografía 3. 5. Extractor de núcleos de 4 pulgadas.	75
Fotografía 3. 6. Edificio Albatros – Núcleos perfilados para prueba de compresión.	75
Fotografía 3. 7. Detector de acero de refuerzo – Mapeo y localización de varillas	76
Fotografía 3. 8. Esclerómetro Proceq.	76
Fotografía 4. 1. a) recipiente de 50ml – b) Solución de HCl al 35 % - c) Agitador automático – d) Varillas libres de herrumbre.	79
Fotografía 4. 2. Materiales pétreos a) Triturado $\frac{3}{4}$ " b) arena triturada c) arena de mar	83
Fotografía 4. 3. Determinación de la Densidad - NTE INEN 856.....	84
Fotografía 4. 4. Asentamiento Mezcla Clase T.....	90
Fotografía 4. 5. Compresión simple de núcleos Edificio Albatros y Vista Azul.....	103
Fotografía 4. 6. Titulaciones con Nitrato de Plata para la determinación del ion Cl.	104
Fotografía 4. 7. Determinación del pH del concreto por método del electrodo.	105
Fotografía 4. 8. Pulverización de la arena de mar.....	107
Fotografía 4. 9. Martillo esclerométrico silverschmidt.....	109

RESUMEN

La investigación muestra niveles de oxidación del acero en elementos estructurales de hormigón armado (columnas, vigas y, muros), luego de realizar ensayos al refuerzo de varios diámetros (10, 12 y 14 mm) de edificaciones de Bahía de Caráquez, provincia de Manabí.

Se realizaron pruebas de esclerometría, se extrajeron núcleos de hormigón contaminados por cloruros y sulfatos en los elementos de las estructuras analizadas, para evaluar su resistencia y porosidad. Así mismo se ha caracterizado los materiales pétreos de la zona de estudio (árido de $\frac{3}{4}$ de pulgada y arena triturada de las canteras de San Isidro y Picoazá respectivamente). Por comparación se analiza agregados del hormigón (arena triturada) de la Cantera Catamayito (provincia de Loja) para establecer parámetros físico – químicos y mecánicos de referencia.

El agua de mezcla fue analizada según el código ACI 318 determinando la cantidad de sulfatos y cloruros. La arena de mar fue pulverizada y analizada por el ensayo de Difracción de rayos X, técnica experimental que determina cantidades de componentes químicos, especialmente sales.

Palabras clave: Oxidación del acero, arena de mar, hormigón, resistencia a compresión, diseño de mezclas.

ABSTRACT

The research shows levels of steel oxidation in structural elements of reinforced concrete (columns, beams and walls), after testing the reinforcement of several diameters (10, 12 and 14 mm) of buildings in Bahía de Caráquez, Province of Manabí.

Esclerometría tests were carried out, concrete nuclei contaminated by chlorides and sulphates were extracted in the elements of the analyzed structures to evaluate their resistance and porosity. Also it has characterized the stone materials of the area of study (arid of $\frac{3}{4}$ of inch and crushed sand of the quarries of San Isidro and Picoazá respectively). By comparison we analyze aggregates of the concrete (crushed sand) of the quarry Catamayito (province of Loja) to establish physical parameters-chemical and mechanical reference.

The mixing water was analyzed according to the ACI 318 code determining the quantity of sulphates and chlorides. The sea sand was pulverized and analyzed by the X-ray diffraction assay, an experimental technique that determines quantities of chemical components, especially salts.

Key words: Oxidation of steel, sea sand, concrete, compressive strength, mixing design.

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES

1.1. Introducción

El acero de refuerzo, en la industria de la construcción es material indispensable e importante para consideraciones de diseño y por su facilidad para adoptar la forma del encofrado, manipulación, resistencia y durabilidad, que han contribuido significativamente a la masificación y prevalencia sobre otros sistemas y materiales de construcción. Debido a la demanda en la utilización y función que cumple, es necesario evaluar los agentes externos que afectan directamente la vida útil de la estructura.

Durante mucho tiempo se estimó que estas estructuras no adolecían de ninguna patología, sin embargo las estructuras de concreto reforzado no son imperecederas y su vida útil puede llegar a ser notablemente inferior a lo que se estima en su etapa de diseño y construcción. El sismo en Pedernales del 16 de abril del 2016, muestra evidencias de la evasión de la norma NEC INEN-NTE, y otros recursos indispensables en la construcción de edificaciones y otras obras civiles.

En efecto, durante la vida útil de las estructuras, estas se ven sometidas a diferentes procesos de deterioro inherentes a su función, mismos que son de naturaleza física, como la abrasión, efecto de los sismos, deformaciones que les impone su uso no previsto, ataque de sulfatos y ácidos, la reacción álcali agregado, naturaleza del concreto y falta de mantenimiento.

Adicionalmente se considera prácticas de construcción inadecuadas (mano de obra no calificada), recubrimientos insuficientes del acero de refuerzo, relación agua – cemento demasiado alta, mala compactación y curado, uso de agua y agregados contaminados con cloruros, sulfatos y otros elementos agresivos. (Castro, 2001)

El acero de refuerzo en nuestro país cumple normas, así como sus materiales de composición como el plan de producción y elaboración, cumpliendo así los estándares y normas ISO nacionales e internacionales entonces, partiendo de esta premisa el manejo del hormigón y los componentes que lo conforman también influyen de manera directa en la calidad del mismo, lo cual hace necesario que se utilicen materiales de características apropiadas que cumplan con las especificaciones de las normativas técnicas vigentes.

1.2. Alcance

La investigación comprende la identificación de los mecanismos de oxidación del acero de refuerzo, la caracterización de los materiales pétreos y análisis del agua de mezcla, diseño de hormigón óptimo con agregados propios de la localidad, la adición porcentual de arena de mar en caso de ser calificada como óptima para la elaboración de hormigón como una

alternativa constructiva. Todas estas actividades se realizan con acero y agregados provenientes de la ciudad Bahía de Caráquez (B.C.), provincia de Manabí; y de una cantera de la provincia de Loja (sector Catamayito).

1.3. Justificación

La oxidación acelerada del acero de refuerzo afecta a la vida útil de las estructuras. El sector social que lleva la peor parte por acción de esta patología no controlada, es el más vulnerable. La vivienda social es impactada negativamente en una economía tan golpeada, por ello existen razones para emprender esta investigación, que seguro aliviará la ya destruida economía del sector del litoral ecuatoriano. Existen recursos tecnológicos, información y metodologías suficientes para poner en marcha la presente propuesta investigativa.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general.

Evaluar la oxidación del acero de refuerzo, conociendo los mecanismos de oxidación.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Objetivo 1. Caracterización química y física del acero de elementos estructurales de interés, tomadas de estructuras convenientes a la investigación, en la Ciudad Bahía de Caráquez.
- Objetivo 2. Caracterizar los agregados, agua y calidad constructiva, utilizada para fabricar concreto reforzado, tendientes a encontrar factores de oxidación, en la Ciudad Bahía de Caráquez.
- Objetivo 3. Buscar posibilidades de mezclas de los agregados, tendientes a bajar la capacidad del efecto oxidante del acero.
- Objetivo 4. Diseñar tres modelos de concreto estructural que resistan el medio agresivo y los vectores impactantes encontrados.

1.5. Metodología de investigación

Para cumplir con los objetivos de la investigación, se consideraron cuatro etapas: marco teórico, materiales utilizados, investigación realizada, resultados, análisis y discusión de resultados, tal como se muestra en la Figura 1.1.

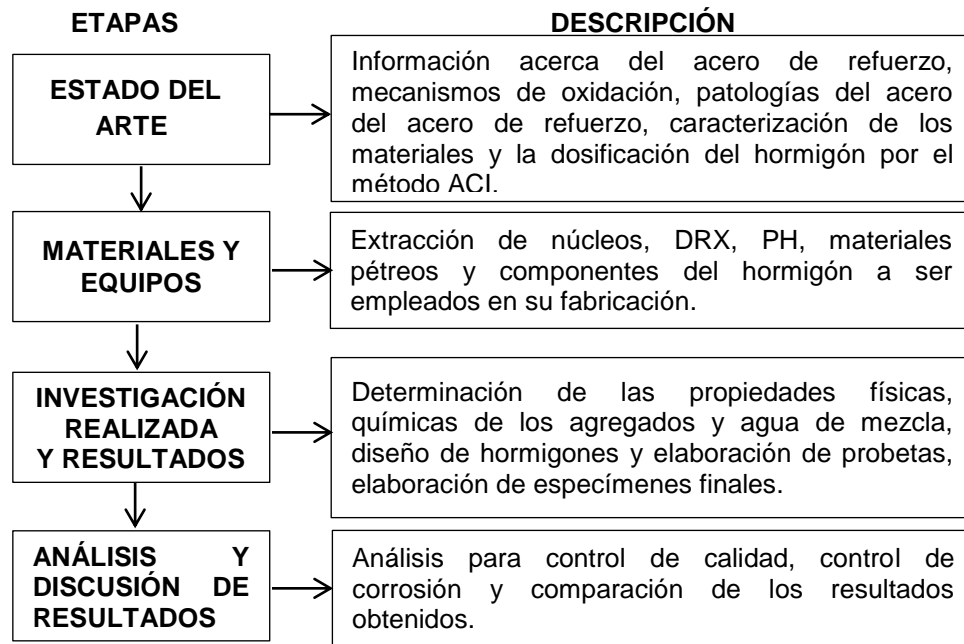


Figura 1. 1. Esquema de metodología de investigación

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

El estado cubre la recopilación de información de investigaciones que sirvan como base para el desarrollo de este trabajo. Se presenta información sobre el acero de refuerzo, causas y efectos de la oxidación.

La siguiente etapa consiste en la toma de muestras y testigos de concreto y acero para ser evaluados. También se analizan los materiales utilizados en la fabricación de hormigón, que son: agregados (arena, arena de mar y grava), cemento, y agua de mezcla. Además, se describen los elementos tomados y su lugar de procedencia.

Con la información presentada en el marco teórico se realiza la parte experimental de la investigación. Primero se realizan ensayos de laboratorio para determinar niveles de corrosión en el acero, propiedades físico - mecánicas de los agregados, y características químicas del agua de mezcla, luego se diseñan hormigones de prueba, y por último se elaboran especímenes que servirán para determinar la resistencia a compresión.

Con respecto a los testigos de varillas, se evalúan y se determina su diámetro final, así como los mecanismos de oxidación directos identificados en la zona de estudio.

Finalmente, se realiza el análisis y discusión de los resultados. El análisis es estadístico con resultados de resistencias a compresión (en núcleos) que permiten evaluar la calidad del hormigón. Además, se ensaya cada espécimen que cuenta con arena de mar y que nos determina su resistencia versus porcentaje de vacíos, absorción, y módulo de finura.

1.6. Estructura del trabajo de fin de titulación

El trabajo está organizado en 5 capítulos. En el Capítulo 1 se muestra los antecedentes del proyecto de investigación. Luego, en el Capítulo 2, se presenta el Estado del Arte con recopilación de información referente al tema de investigación. Posteriormente, en el Capítulo 3, se describen los materiales seleccionados para la elaboración del hormigón. El Capítulo 4, detalla el desarrollo de la investigación, determinando propiedades físicas y mecánicas de los agregados para diseñar mezclas, elaborar especímenes y establecer propiedades mecánicas del hormigón. En el Capítulo 5, se realiza el análisis y la discusión de resultados obtenidos luego del desarrollo del trabajo, también se expone conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones.

CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE

2.1. Historia del acero

(Zapater y Pérez, 2009) Afirman;

- “La primera utilización de productos elaborados con acero data a los años 3000 A.C. descubierto por arqueólogos en Egipto. En la China antigua bajo la dinastía Han, entre año 202 A.C. y el año 220 D.C., se creó acero al derretir hierro forjado junto con hierro fundido, obteniendo así, mejor producto de carbón intermedio, el acero, en torno al siglo A.C.
- El acero crucible basado en distintas técnicas de producir aleaciones de acero, empleando calor lento y enfriado acero puro y carbón fue producido en Mervi entre los siglos IX y X.
- En China bajo la dinastía Song del siglo XI, hay evidencia de la producción del acero empleando dos técnicas: una de un método que producía un acero de calidad inferior por no ser homogéneo, y un precursor del moderno método Bessemer el cual utiliza una descarbonización a través de repetidos forjados bajo abruptos enfriamientos.
- El hierro para uso industrial fue descubierto hacia los años 1500 A.C., en Medzamor, cerca de Ereván, capital de Armenia y del monte de Arart. La tecnología del hierro se mantuvo mucho tiempo en secreto, difundiéndose extensamente hacia el año 1200 A.C.
- Los métodos antiguos para la fabricación del acero consistían en obtener hierro dulce en el horno, con carbón vegetal y tiro de aire. Una posterior explosión de las escorias por martilleo y carburación del hierro dulce para cementarlo. Luego se perfeccionó la cementación fundiendo el acero cementado en crisoles de arcilla y en Sheffield (Inglaterra) se obtuvieron, a partir de 1740, aceros de crisol.
- Fue Benjamín Huntsman el que desarrolló un procedimiento para fundir hierro forjado con carbono, obteniendo de esa forma el primer acero conocido.
- En 1856, Sir Henry Bessemer, hizo posible la fabricación de acero en grandes cantidades, pero su procedimiento ha caído en duda, porque solo puede utilizar hierro que contuviese fósforo y azufre en pequeñas proporciones.
- En 1857, Sir William Siemens ideó otra metodología de fabricación industrial del acero que se basa en la descarburación de la fundición de hierro dulce y óxido de hierro, calentado con aceite, gas de coque, o una mezcla de gas de alto horno y de coque. Siemens había experimentado en 1878 con la electricidad para calentar los hornos de acero, pero fue el metalúrgico francés Paul Heroult coinventor del método moderno para fundir aluminio quien inició en 1902 la producción comercial del acero en hornos eléctricos a arco”.

2.2. El acero

El acero es aleación de hierro y carbono, donde el carbono no supera el 2.1 % en peso de la composición, alcanzando normalmente niveles entre el 0.2 % y el 0.3 %. Porcentajes mayores que el 2.0 % de carbono dan lugar a las fundiciones, aleaciones que al ser quebradizas y no poderse forjar a diferencia de los aceros, se moldean (Zapater y Pérez, 2009).

El hierro y sus aleaciones son habitualmente llamados metales ferrosos, cuyas propiedades cambian de forma significativa en presencia de pequeñas cantidades de aleaciones y ante el cambio de su estructura atómica, mediante el calentamiento y el enfriamiento.

Las barras de acero de construcción a ser estudiadas en la presente son de grado 60 y $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ de resistencia a la fluencia, las varillas tienen resaltes lo que se denominan varillas de acero corrugado.

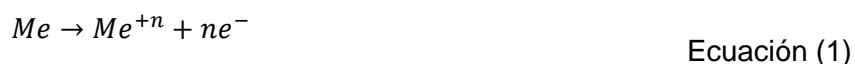
2.2.1. Definición general

Metales como el hierro, no se encuentran de manera pura en la naturaleza. Se hallan en combinación con otros elementos formando compuestos. Para su utilización de manera individual es necesario extraerlos mediante un proceso electroquímico en un medio acuoso denominado reducción, esto es comunicarle cierta cantidad de energía cediéndole electrones. Cuando los metales están puros o altamente refinados como el caso del acero utilizado en la construcción, tienden a recombinarse con elementos de su entorno. Esta recombinación a partir de un estado altamente refinado de un metal se da de manera natural, de acuerdo con las leyes de la termodinámica que dicen que estados altos de energía tienden a transformarse en estados bajos, en un proceso electroquímico de intercambio de electrones conocido como corrosión. Teniendo en cuenta lo anterior se puede definir la corrosión como la degradación por una reacción electroquímica de un metal al combinarse con los elementos de su medio. (González, 2014).

2.2.2. Mecanismos de la corrosión

Dependiendo del medio donde se desarrolle, la corrosión puede ser química o electroquímica. La corrosión química se debe a la presencia de condiciones no electrolíticas como gases y vapores a temperaturas que impiden su condensación sobre la superficie del metal o por líquidos no conductores de corrientes eléctricas. Si el proceso de corrosión tiene lugar en un medio acuoso este es de carácter electroquímico. En este caso se presenta una reacción de reducción y otra de oxidación dentro de un circuito denominado celda básica de corrosión localizada sobre la superficie del metal. En esta celda básica se distinguen 4 elementos: el ánodo, el cátodo, el electrolito y el circuito eléctrico. (González, 2014)

El ánodo cede electrones disminuyendo su energía y por tanto se oxida o corroe. La reacción de oxidación que se da en el ánodo usualmente se representa con la ecuación:



En esta ecuación se muestra la separación de los electrones que migran a través del electrolito hacia el cátodo, en el cual se da una reacción de reducción de otro elemento presente en el electrolito. Dependiendo del pH de la solución se pueden presentar dos reacciones en el cátodo:

En un medio ácido ($\text{pH} < 7.0$) los electrones reducen los iones hidrógeno:



En un medio alcalino ($\text{pH} > 7.0$) los electrones reducen al oxígeno disuelto en el agua:



En el ambiente existen factores que pueden causar corrosión en el acero o promover las condiciones para que esta inicie. La causa más común de la corrosión es la presencia de cloruros (Mays, 1992). El tipo de corrosión depende del medio en el que se desarrolla, en un ambiente seco predomina la corrosión química y en un ambiente acuoso se presenta la corrosión electroquímica (Broomfield, 1997), formándose en este último una pila galvánica. Figura 2.1.

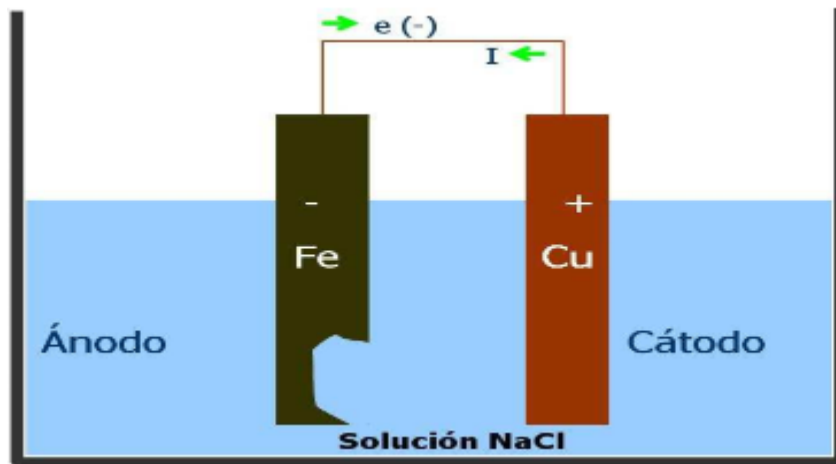


Figura 2. 1. Celda básica de la corrosión o pila electroquímica
 Fuente: (Gusmán, 2008)
 Elaboración: (Gusmán, 2008)

En esta pila se identifican: una zona anódica, donde ocurre la oxidación o disolución del metal; una zona catódica, donde ocurre la reducción; un conductor eléctrico, donde fluyen los electrones del ánodo al cátodo; y un conductor iónico como medio de transporte de los iones. En la Figura 2.2 se presentan las reacciones que tienen lugar en una pila galvánica. Se observa que la disolución del metal ocurre en la zona anódica y por el contrario en el cátodo aumenta la alcalinidad, debido a que se generan iones hidroxilo.

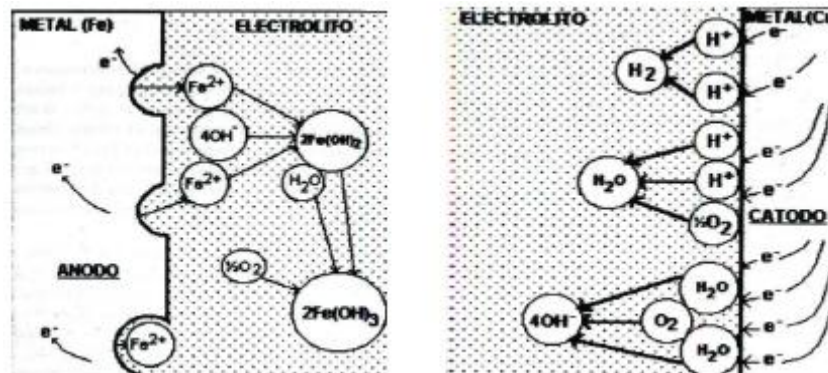


Figura 2. 2. Reacciones electroquímicas en una pila galvánica.
 Fuente: (Castro, 1998)
 Elaboración: (Castro, 1998)

Del sistema demostrado en la Figura 2.2, las reacciones que tiene lugar son las siguientes:

Según (Castro, 1998):

- El hierro al liberar dos electrones se convierte en unión con carga positiva, ésta es una reacción de oxidación y la porción del metal donde ocurre esta reacción es el ánodo.



- Los electrones liberados por el hierro viajan a través del conductor eléctrico hasta el cátodo para combinarse con iones hidrógeno y formar gas hidrógeno.



- El gas hidrógeno se combina con el oxígeno para formar agua.



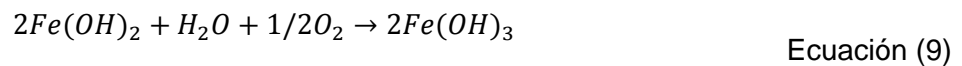
- El agua, el oxígeno y los electrones provenientes del ánodo se combinan y forman iones hidroxilo u oxidrilo.



- Los iones hidroxilo viajan a través del conductor iónico hasta las inmediaciones del ánodo, se combinan con los iones de hierro y forman el hidróxido ferroso blanco.



- El hidróxido ferroso se combina con el agua y con moléculas de oxígeno para formar finalmente el hidróxido férrico o herrumbre de color rojizo, que tiene un volumen 8 veces mayor al volumen inicial de la molécula de hierro.



El proceso de corrosión y por tanto el de la destrucción del metal se da mediante la conformación de este circuito electroquímico cerrado. Si el circuito se interrumpe en algún punto, la corrosión se detiene.

La corrosión que se presenta en el acero de refuerzo es electroquímica y consta de los mismos elementos con las siguientes consideraciones: las zonas anódica y catódica son partes del acero de refuerzo, el conductor eléctrico es el acero de refuerzo y el conductor iónico es la solución existente en los poros del concreto. Esquemáticamente la corrosión del acero se presenta en la Figura 2.3.

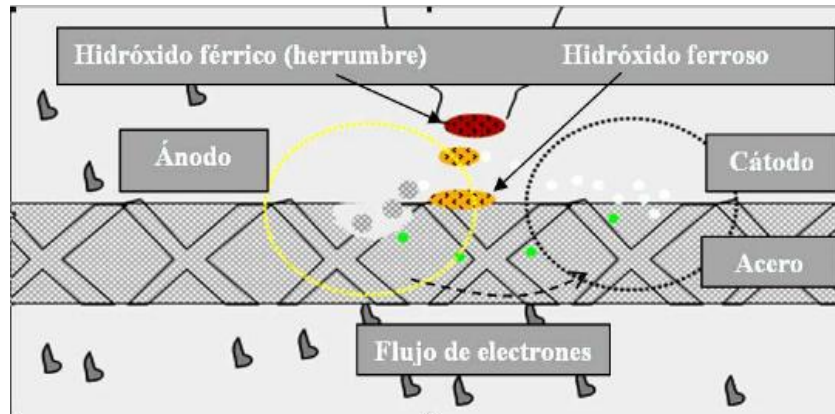


Figura 2. 3. Proceso de corrosión del acero embebido en concreto.
 Fuente: (Gusmán, 2008).
 Elaboración: (Gusmán, 2008).

2.3. Tipos de corrosión.

Según (González, 2014), la clasificación se basa en la forma en que esta aparece y en la dimensión del área afectada.

2.3.1. Corrosión bimetalica.

Se da entre dos metales en contacto expuestos a condiciones agresivas o húmedas. Uno de los dos metales actúa como ánodo y otro como cátodo dependiendo de su posición relativa en la serie electroquímica (Figura 2.4), conformando la denominada pila galvánica. De esta forma el más electronegativo se corroerá con mayor intensidad. Es frecuente en uniones y conexiones de estructuras metálicas en las que, por ejemplo, se unen dos elementos con pernos de un material menos estable o noble. (González, 2014)

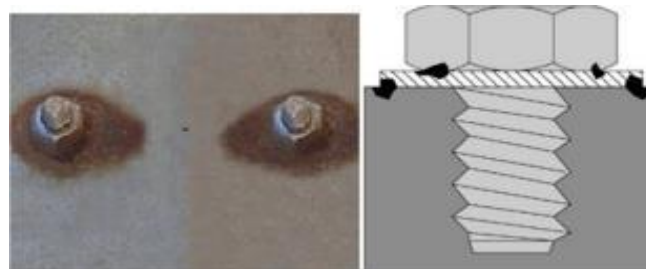


Figura 2. 4. Ejemplo de corrosión bimetalica
 Fuente: <https://tinyurl.com/ycxocxvs>
 Elaboración: <https://tinyurl.com/ycxocxvs>

2.3.2. Corrosión uniforme

Es el resultado de pérdida de la película pasiva, resultante de la carbonatación del concreto y/o la presencia excesiva de iones cloruro (Fontana, 1986). También puede ocurrir por efecto de la "lixiviación" del hidróxido de calcio producida por la percolación y/o lavado por aguas puras o ligeramente ácidas. (González, 2014).

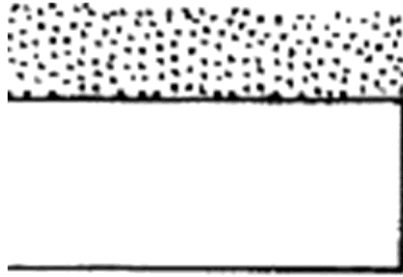


Figura 2. 5. Ejemplo de corrosión uniforme
Fuente: (González, 2014)
Elaboración: (González, 2014)

2.3.3. Corrosión localizada

Se manifiesta en algunas áreas de la superficie del metal. Es usualmente más agresiva que la corrosión uniforme por su mayor velocidad de penetración. En las armaduras de concreto reforzado, suele darse por la acumulación de iones despasivantes de la capa de óxido de elevado pH que protege el acero de refuerzo, como los iones sulfuro, sulfato y especialmente los iones cloruro, de los cuales se habla a detalle más adelante. (González, 2014).



Figura 2. 6. Ejemplo de corrosión localizada
Fuente: (González, 2014)
Elaboración: (González, 2014)

2.3.4. Corrosión por picaduras

Corrosión localizada, en la cual la profundidad de penetración se manifiesta en forma de perforaciones o picaduras pronunciadas. El mecanismo de formación de las picaduras consta de un periodo inicial en el cual se generan pequeñas picaduras por heterogeneidades o imperfecciones en el metal que se van acentuando por la formación de una zona anódica en el material descubierto y como cátodo el metal pasivo, dando lugar a una pila galvánica (Castro, 1998). Este tipo de corrosión suele presentarse en estructuras expuestas principalmente al ataque de cloruros, como la infraestructura de los muelles. En ocasiones se mide este tipo de corrosión mediante un factor de picaduras, definido como la relación entre la penetración máxima en el metal y la penetración media. (González, 2014).

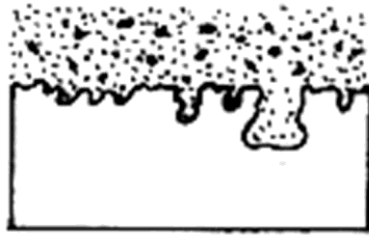


Figura 2. 7. Factor de picaduras.
Fuente: (González, 2014)
Elaboración: (González, 2014)

2.3.5. Corrosión en grietas

Es usual en uniones de piezas metálicas, en el contacto entre el concreto y alguna pieza metálica, manifestándose como una forma de corrosión localizada, en la cual a los espacios de la unión no puede llegar el oxígeno. En las estructuras de concreto reforzado se puede dar la corrosión en grietas cuando estas se forman por la expansión de herrumbre u otros productos de corrosión que son sellados con epóxicos o con otros selladores que limitan el ingreso de oxígeno en la fisura.

2.3.6. Corrosión bajo esfuerzo

Se presenta si una pieza metálica se agrieta en un medio corrosivo. Las grietas corroídas disminuyen las propiedades mecánicas más que aquellas que no están en un medio corrosivo. Estas fisuras pueden hacer fallar la pieza lo que se conoce como corrosión bajo esfuerzo. Sin embargo, para que esta corrosión ocurra tienen que coincidir grietas por esfuerzos de tensión y un medio particularmente corrosivo. Un ejemplo de esta condición se da en los puentes de los países con estaciones, en donde en invierno se utilizan sales sobre la calzada para evitar su congelamiento; esto concentra cloruros sobre la estructura que puede tener agrietamiento por esfuerzos de tensión o por flexión inducidos por el uso del puente. (González, 2014).



Figura 2. 8. Corrosión bajo esfuerzo
Fuente: (González, 2014)
Elaboración: (González, 2014)

2.4. Corrosión del acero de refuerzo.

Factores como el ataque de iones en el origen de la oxidación y disminución del tiempo de servicio de las estructuras, son la base para el estudio de esta patología. (González, 2014).

2.4.1. Protección del acero.

La protección del hormigón sobre el refuerzo cumple dos funciones;

- El hormigón como material resistente conforma una entre barrera entre el ambiente y el refuerzo embebido.
- Su alta alcalinidad mayor de 12, en conjunto con el oxígeno atenúan el inicio de la corrosión.

La hidratación del cemento genera materiales sólidos pero porosos por la combinación con el agua. La configuración interna del concreto refleja que aunque sus poros sean numerosos, estos no se comunican entre sí, sin embargo no es impedimento para que pueda absorber sustancias externas que pueden alcanzar al refuerzo. (González, 2014).

2.4.2. Causas de la corrosión.

Esta inicia cuando la protección del concreto sobre el refuerzo es nula. Y según (Torroja, 1989), las causas para anular el blindaje son:

- Acumulación de cloruros en la superficie del acero por penetración o por elaboración de hormigón con materiales contaminados
- Cantidades bajas de alcalinidad por la reacción con compuestos de origen ácido.

La presencia de cloruros genera corrosión local, pero cuando la barrera protectora desaparece, la corrosión es generalizada, tal como se muestra en la Figura 2.9.



Figura 2. 9. Tipos de corrosión en armaduras y factores desencadenantes.
Fuente: <https://tinyurl.com/ydytfer8>
Elaboración: <https://tinyurl.com/ydytfer8>

2.4.3. Carácter electroquímico de la corrosión.

El exceso de agua en el concreto da origen a la corrosión por la interacción del acero con el agua. Se forma entonces una pila donde se encuentran zonas anódica, catódica, electrolítica y de conducción eléctrica. Las primeras fases se generan por oscilaciones en las cantidades de poros, pH, temperatura, etc. Por otro lado, deformaciones en el acero permiten que agentes contaminantes lo ataquen en distintas regiones. (González, 2014).

2.5. Factores generadores de la corrosión

La velocidad de corrosión no es la misma en todos los sistemas. Los factores que condicionan esta patología son:

2.5.1. Contenido de Humedad

Factor más influyente ya que la cantidad de oxígeno en la interacción del acero con el cemento varía por la facilidad del hormigón para atrapar y perder agua al mismo tiempo.

Si la humedad no varía, se compensa la humedad relativa del ambiente con la del concreto; pero esta compensación puede afectarse en zonas donde la humedad no es constante pues la velocidad de absorción de agua es mayor a la velocidad de pérdida y en esta situación solo las capas superficiales del concreto facilitan el intercambio de humedad con el ambiente y consecuentemente los poros permitirán el ingreso de oxígeno para que se forme la celda de corrosión. (González, 2014).

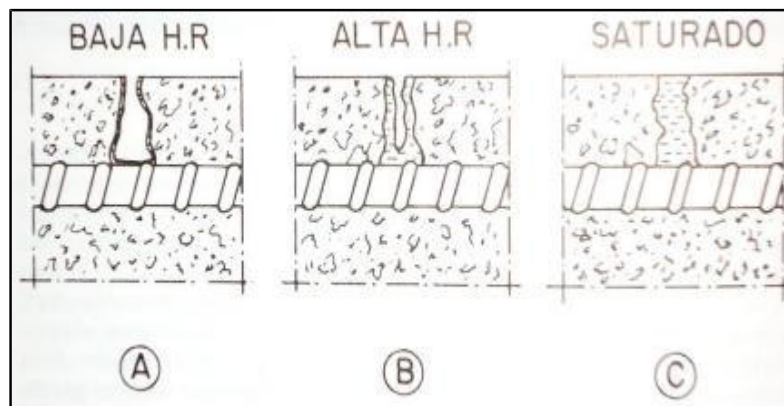


Figura 2. 10. Contenido de humedad en los poros del concreto
 Fuente: (González, 2014)
 Elaboración: (González, 2014)

Si los poros están saturados aunque la resistividad sea baja, el oxígeno no llegará a la armadura hasta que se disuelva con el agua, y la velocidad de corrosión será tan baja que resultará despreciable. Cuando los poros no están saturados, pero existe agua en las paredes de estos, el oxígeno podrá llegar con facilidad al refuerzo, la resistividad es alta y dificulta el proceso de corrosión. En este caso las velocidades de corrosión también resultan ser bajas. Cuando la humedad de los poros es alta, sin que exista saturación, la velocidad de corrosión será más alta porque el oxígeno puede llegar al acero de refuerzo, al mismo tiempo que la resistividad es lo suficientemente baja para facilitar el proceso de corrosión. La figura 2.11 resume lo explicado, se sabe por diferentes investigaciones que la intensidad de corrosión depende sensiblemente de la resistividad del concreto. (González, 2014).

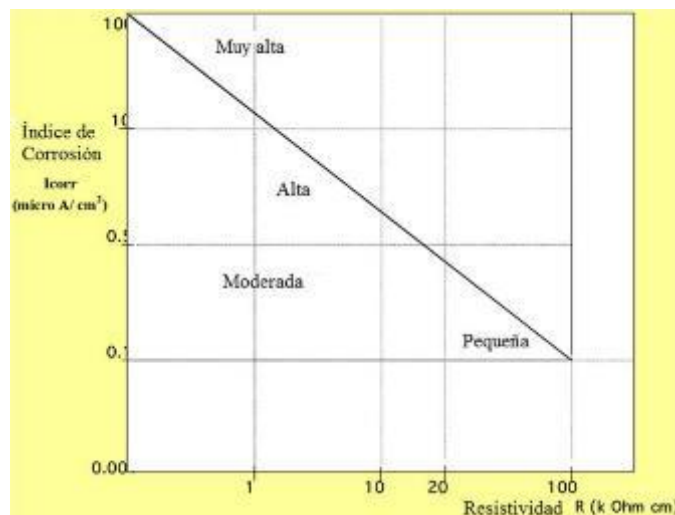


Figura 2. 11. Gráfica I_{corr} Vs. Resistividad
 Fuente: (Tuutti, 1982)
 Elaboración: (Tuutti, 1982)

2.5.2. Concentración de cloruros

Actualmente se acepta que la concentración de cloruros intervenga en la velocidad de corrosión, aunque aún se discute los valores para los cuales el proceso se acelera, e inclusive las concentraciones para las cuales la corrosión inicia. Al respecto, en la literatura es posible encontrar valores propuestos en diferentes investigaciones. En un conocido experimento se sumerge una probeta de concreto, con dos barras de refuerzo de diferente recubrimiento en agua con cloruros. Con el paso del tiempo la corrosión en las barras, medida como I_{corr} ($\mu A/cm^2$), permanece constante con valor relativamente bajo, lo que significa que los cloruros no han llegado a la armadura de refuerzo. Después se produce un incremento brusco en la intensidad de la corrosión, se interpreta como el momento en que se despasiva la armadura (González, 2014).

2.5.3. Temperatura

El aumento de temperatura incrementa el movimiento de los iones facilitando el proceso de corrosión. Si esta disminuye, propicia la formación de zonas locales con contenidos de humedad, que como se vio afecta la velocidad de corrosión (González, 2014).

2.5.4. Existencia de macro pares galvánicos

Es la formación de una pila de corrosión cuyo ánodo y cátodo están más distanciados (centímetros) que en las micro pilas de la corrosión por cloruros. Ésta situación se presenta en las vigas de los tableros de los puentes donde el refuerzo longitudinal superior se corroe por acción de los cloruros provenientes de sales usadas para evitar el congelamiento de la calzada. El refuerzo inferior al estar alejado de los cloruros no se corroe, actúa como cátodo y los estribos actúan como puente entre el ánodo y el cátodo. Cuando esto se presenta, la velocidad de corrosión tiende a aumentar porque a la acción de las celdas de corrosión por la concentración de cloruros, debe sumarse la acción de la macro pila o par galvánico (González, 2014).

2.5.5. Iones Cloruro y otros Agentes Agresivos

Los iones cloruro inciden más en el proceso de corrosión pues causan la despasivación del acero en regiones localizadas (figura 2.6) y corrosión por picadura (figura 2.7). Son abundantes en la naturaleza, siendo el mar una gran fuente de ellos, y pueden encontrarse como cloruro de sodio (aprox. 25 g/l), cloruro de magnesio (aprox. 5g/l) o cloruro de potasio (aprox. 5 g/l). Llevan un átomo de cloro en estado de oxidación -1 (más bajo).

Los cloruros libres forman un compuesto soluble con los iones de hierro ($2Fe^{++} + 6Cl^- \rightarrow 2FeCl_3 + 4e^-$), alejándolos del ánodo en busca de un pH alto y oxígeno disuelto. En estas

condiciones los compuestos se disocian precipitando el hidróxido de hierro liberando los iones cloruro ($\text{FeCl}_3 + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2 + 3\text{Cl}^-$) (Fontana, 1986). En esta reacción los cloruros no se agotan y el proceso continúa formando óxidos o hidróxidos por la combinación del hierro con el oxígeno. Por lo tanto, en lugar de que la reacción se propague a lo largo del acero, se desarrollan picaduras profundas en este (Genescá, 2002).

Una vez limpia la superficie del metal de los compuestos de corrosión se puede identificar algunas de las siguientes formas según la norma ASTM G46-05 (Figura 2.12):

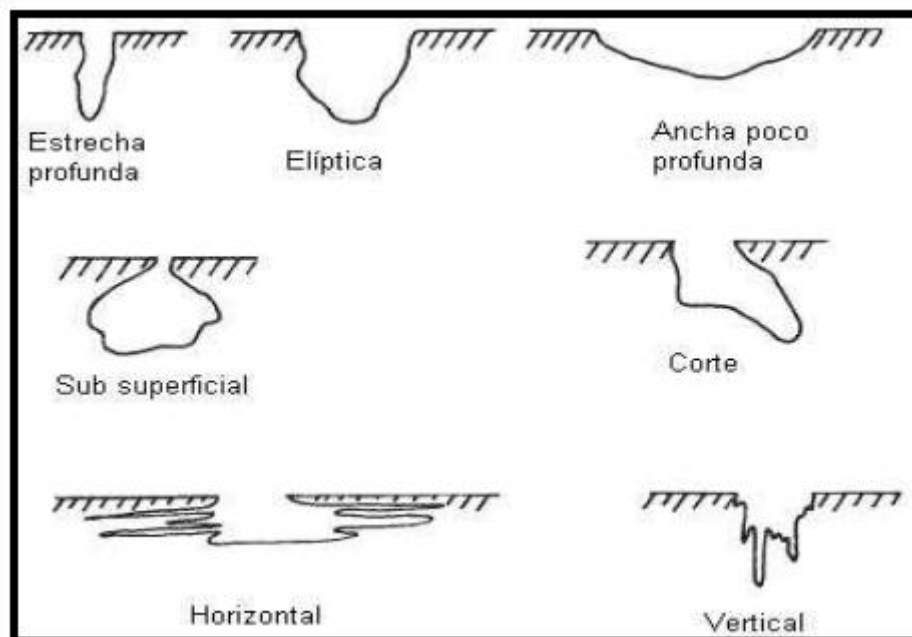


Figura 2. 12. Diferentes secciones en corrosión por picaduras.
Fuente: ASTM G 46-05
Elaboración: (Tuutti, 1982)

Los iones cloruro pueden estar presentes en la fase acuosa del concreto (cloruros libres), e inician la corrosión. Los cloruros fijos, C_f , están unidos a la matriz y participan eventualmente del proceso de corrosión. Los cloruros totales, C_t , son la suma de cloruros libres y totales. Existen procesos normados (ASTM) para determinar su cantidad en muestras de concreto. La norma C1218 (ASTM 1992), permite medir el contenido de cloruros libres y la C1152 (ASTM 1990) permite estimar cloruros totales.

Los cloruros pueden llegar al concreto desde ambientes marinos, o desde sales utilizadas para prevenir el congelamiento de calzadas en regiones con estaciones. También pueden presentarse en componentes para mezclado de concreto, como el agua y aditivos. En general, los códigos de construcción limitan el contenido de cloruros a determinados valores en el concreto fresco, por no existir un consenso alrededor de valores mínimos y máximos permitidos, ya que depende de factores como el tipo de cemento, diseño de mezcla,

contenido de humedad, etc. Sin embargo, en la literatura es posible encontrar propuestas basadas en experiencias de laboratorio. La figura 2.13 resume, los escenarios esperados respecto a la concentración crítica de cloruros dependiendo de la humedad relativa del ambiente y la calidad del concreto.

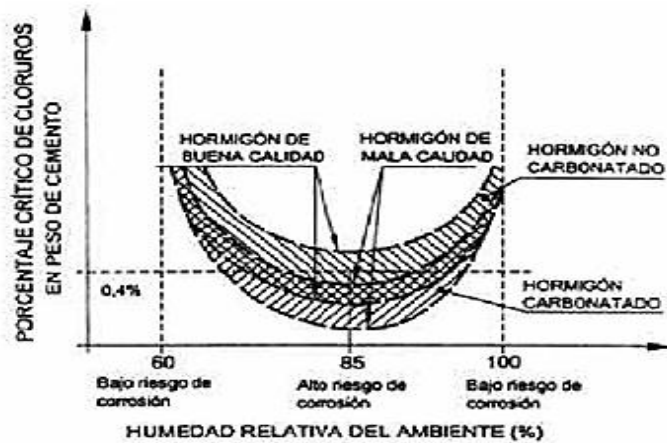


Figura 2. 13. Variación contenido crítico de cloruros en función de la calidad del concreto y la humedad relativa ambiental.
Fuente: (Torroja, 1989)
Elaboración: (Torroja, 1989).

Para explicar la fijación de estos iones a la matriz sólida del concreto se utilizan isoterma, definidas como la relación entre cloruros libres para un rango de concentraciones a una determinada temperatura. Esta fijación es gobernada por reacciones físicas y químicas entre iones presentes en las fases acuosa y sólida hidratada. La Figura 2.14 representa las 3 propuestas más utilizadas para el cálculo de los cloruros fijados (González, 2014).

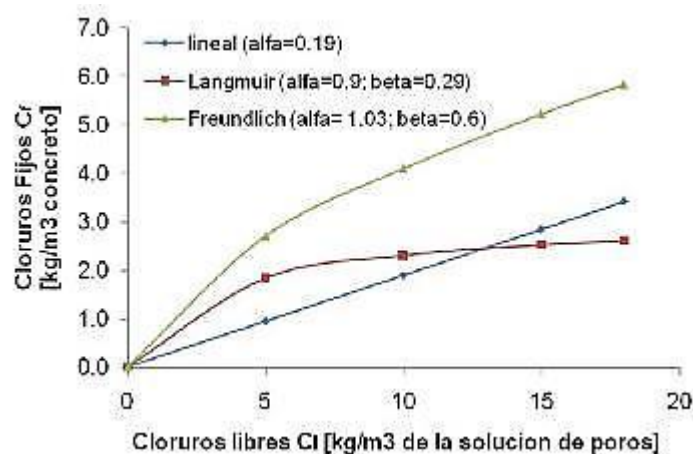


Figura 2. 14. Gráfica de Cloruros Fijos, Cf Vs. Cloruros libre, Cl.
Fuente: (Mays, 1992)
Elaboración: (Mays, 1992).

Las ecuaciones de las isotermas son:

$$C_f = \alpha C_l \quad \text{Ecuación (10)}$$

$$C_f = \frac{\alpha C_l}{(1 + \beta C_l)} \quad \text{Ecuación (11)}$$

$$C_f = \alpha C_l^\beta \quad \text{Ecuación (12)}$$

Las ecuaciones 10, 11 y 12 representan la isoterma lineal, de Langmuir y de Freundlich, respectivamente. Los valores α y β son constantes obtenidas experimentalmente.

2.6. Vida Útil

Es el tiempo durante el cual se preservan características de funcionalidad, resistencia y aspectos externos mínimos exigibles, sin que sea necesaria alguna actividad de reparación.

El ACI 2000 define tres tipos de vida útil:

- Vida de servicio técnica: Hasta que un estado inaceptable es alcanzado. Tal es el caso del desprendimiento del concreto de recubrimiento.
- Vida de servicio funcional: Tiempo hasta que la estructura deja de cumplir con los requerimientos de funcionalidad o empieza a resultar obsoleta cuando por ejemplo, se plantea otro uso y este cambio implica exigencias que la estructura no puede cumplir.
- Vida de servicio económica: Hasta que el reemplazo de la estructura, o parte de ella, resulta más económico que mantenerla en servicio.

El ACI considera importante diferenciar de la vida útil el concepto de durabilidad, al cual define como: “La capacidad de mantener la utilidad de un producto, componente, montaje o construcción por un tiempo específico. Utilidad entendida como la capacidad de mantener el desempeño de su función para la cual es diseñada y construida”. (American Concrete Institute, 2002)

2.7. Factores que reducen el tiempo de servicio del hormigón.

Al ser la vida útil descrita como una situación general, su estudio es complejo por factores que pueden incidir, por ello los esfuerzos de investigación tendientes a la elaboración de una metodología de predicción de la vida útil, se han decantado hacia el estudio de situaciones particulares, reconocidas como los factores que contribuyen al deterioro de las estructuras. A continuación presenta un cuadro que recoge factores que deterioran el estado de una estructura y condicionan su vida de servicio (ACI 2014).

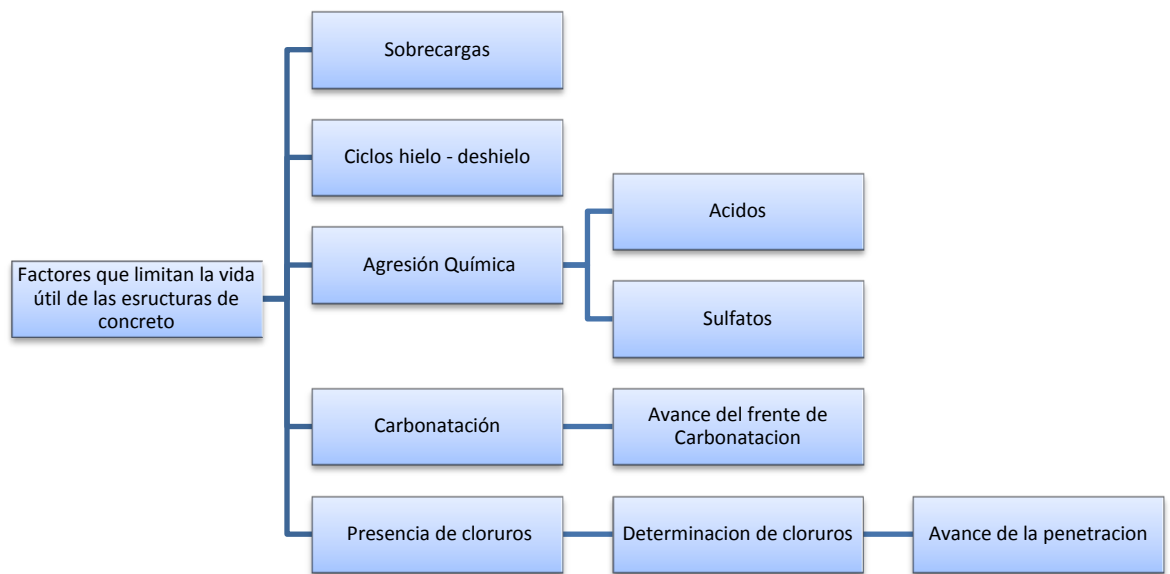


Figura 2. 15. Factores que reducen el tiempo de servicio del hormigón.
 Fuente: El Autor.
 Elaboración: El Autor.

De los factores presentados en la Figura 2.15, se conoce que la corrosión es la que más contribuyen al deterioro de estructuras por la penetración de los iones cloruro (despasivación del acero).

2.8. Modelos de predicción de vida útil

Cuando se comenzó a investigar el deterioro de las estructuras de concreto buscando formular un método de valoración y predicción de la vida útil, se estudió su desgaste mediante un solo proceso de degradación (insuficiente por comprender posteriormente que el daño obedece a varios factores) (González, 2014).

Los modelos de predicción fueron hasta hace algún tiempo cualitativos o empíricos, en base a evaluaciones técnicas sobre estructuras afectadas. No obstante, aparecen propuestas provenientes del campo científico e industrial. A continuación se menciona las tendencias más relevantes por su valor histórico.

2.8.1. Modelos empíricos

Surgidos de experiencias con el concreto en el campo académico, científico e industrial. Por lo general son modelos cuantitativos y asumen, que si un concreto se produce bajo determinados estándares de construcción, las edificaciones con este hormigón tendrán un tiempo de vida útil adecuado. Muchos códigos de construcción, incluyendo el colombiano en el título C.4 (AIS 2012), especifican criterios para la construcción en concreto y con esto se presume que la vida útil que tendrá la estructura será adecuada para la mayoría de usos.

Esta hipótesis es válida cuando la estructura no está expuesta a ambientes agresivos sin embargo, resulta limitada si se desea conocer al mismo tiempo, en condiciones más severas.

2.8.2. Modelos basados en la comparación del desempeño

Se asume que una estructura “A” puede prestar el mismo tiempo de servicio que una estructura “B”, si se construye con la misma calidad de hormigón, y en un ambiente similar. Los inconvenientes con este enfoque radican en que cada proyecto es particular en cuando a geometría, variación de materiales, microclimas de cada ambiente, etc. Otra limitante de la propuesta es que los concretos cambian en su composición con el tiempo. En efecto, la técnicas de producción, las adiciones al concreto de la industria de hoy no son las mismas que la de hace unas décadas. En conclusión la comparación entre dos estructuras no es tan simple aún en las condiciones más similares (ACI 2014).

2.8.3. Modelos matemáticos

La experiencia ha mostrado que un modelo matemático no es fiable si no parte de una base experimental sólida en la obtención de parámetros con los cuales trabaja el modelo. Usualmente estos modelos se concentran en algunos de los factores primarios de la Figura 2.15, para después orientar ese planteamiento a predecir el periodo de vida útil. Los factores primarios son aquellos que tienen una mayor incidencia en el desgaste de las edificaciones. Es así como los modelos más difundidos son aquellos basados en la corrosión del acero de refuerzo, el avance del frente de carbonatación y el ingreso de cloruros (González, 2014).

2.8.4. Modelos de corrosión del acero de refuerzo

En estos se vincula el concepto de vida útil al inicio y desarrollo de la corrosión en el acero, tal como se muestra en la figura 2.16 (Tuutti, 1982).

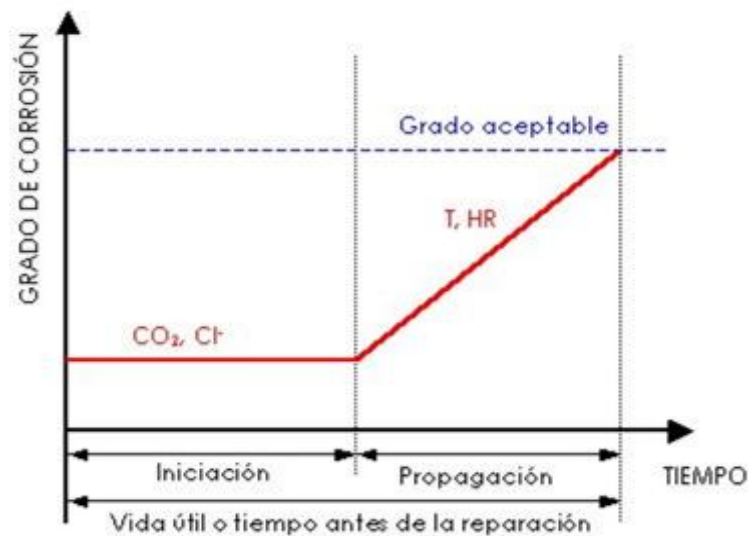


Figura 2. 16. Modelo de vida útil de Tuutti.
 Fuente: (Tuutti, 1982)
 Elaboración: (Tuutti, 1982)

En las abscisas se muestra la vida útil y en las ordenadas el grado de corrosión. Se reconocen dos fases: una de iniciación, que es el tiempo que tardan los agentes agresivos en alcanzar, concentrarse y despasivar al acero a través del concreto. En la segunda fase los iones agresivos continúan concentrándose, aumentando la corrosión y deterioro hasta alcanzar un estado inaceptable. Éste modelo es netamente descriptivo; sin embargo, constituye la base de muchos modelos matemáticos por su sencillez conceptual y valor didáctico.

2.8.5. Modelos de avance del frente de carbonatación

El frente de carbonatación se define como el límite entre dos concretos con una marcada diferencia entre sus valores de pH. El concreto de recubrimiento alberga este límite, y al tener contacto con el exterior posee un $pH < 7$, por efecto de los agentes agresivos del medio. Al contactar con el acero de refuerzo mantiene un $pH > 12$. No obstante, este límite avanza hacia el refuerzo, resultando la despasivación de la capa protectora del acero e iniciando el proceso de corrosión. El tipo de corrosión resultante de este proceso es generalizada (González, 2014).

La velocidad de avance de este frente es un proceso lento y se ajusta adecuadamente a la ecuación parabólica:

$$x = K\sqrt{t} \quad \text{Ecuación (13)}$$

Dónde:

x = profundidad carbonatada

t = tiempo

K = constante obtenida experimentalmente

Este método se conoce como el método de la raíz cuadrada y es ampliamente citado.

Adicionalmente, (Tuutti, 1982) propuso uno de los primeros modelos para el proceso de carbonatación, donde contempla una etapa de iniciación y otra de propagación. Este modelo es más elaborado que el método de la raíz cuadrada; sin embargo, para su implementación es necesario contar con parámetros que en la práctica no son fáciles de obtener.

2.8.6. Modelos de penetración de iones cloruro

En los últimos años, particularmente en las últimas dos décadas han aparecido propuestas para modelar el ingreso del ion cloruro en el concreto. Se reconocen dos grandes tendencias: Los modelos basados en la Ley de Fick (Crank, 1976) o tradicionales y los que consideran la interacción cloruros con otros iones mientras estos se mueven por la fase acuosa de los concretos conocidos como multi-especie o multi-ion.

Los modelos multi-especie tienen una base conceptual sólida y son matemáticamente más elaborados, pero su implementación tecnológica está aún restringida por requerir parámetros para todos los iones que participan en el proceso de transporte. En este sentido los modelos tradicionales tienen mayor bondad por solo considerar el transporte de ion cloruro, y los parámetros necesarios se obtienen fácilmente (González, 2014).

2.8.7. Modelos estocásticos

Conocidos también como probabilísticos. Fueron propuestos al considerarse que a la predicción de la vida útil de las estructuras no se le puede dar un enfoque determinístico, es decir, no puede ser determinada de manera precisa porque los factores que la afectan son numerosos, complejos y consecuentemente de difícil predicción.

2.9. Evaluación de la corrosión en estructuras de concreto

Al ser la corrosión de tipo electroquímico, es posible estudiarla con métodos afines como: inspección visual, media celda, resistencia a la polarización lineal (*RPL*), impedancia electroquímica o ruido electroquímico. La selección de las técnicas en un estudio específico depende del tipo de corrosión y de consideraciones económicas. Sin embargo, debido a la complejidad del fenómeno en análisis, es necesario llevar a cabo al menos dos de las pruebas anteriores.

2.9.1. El método de la Media Celda

Estima la probabilidad de corrosión del refuerzo interpretando su potencial que no puede ser medido directamente ya que se necesita una segunda terminal cuyo potencial absoluto se desconoce, por esta razón, se adopta el electrodo normal de hidrógeno (*ENH*) al cual se le ha asignado un valor de 0 volts.

En estos términos el *ENH* es un electrodo de referencia, y su potencial de equilibrio en la reacción óxido-reducción debe ser constante. Existen diferentes electrodos de referencia que pueden emplearse para determinar la probabilidad de corrosión: plata/cloruro de plata (*Ag/AgCl*), mercurio / cloruro de mercurio (*Hg/HgCl*, Calomel) y cobre/sulfato de cobre (*Cu/CuSO₄*).

La media celda se compone de una fracción de metal en una solución de sus propios iones (cobre/sulfato de cobre, plata/cloruro de plata) y si se conecta a otros metales, en una solución de sus propios iones (tal como hierro en hidróxido férrico *Fe(OH)₃*) se puede determinar la diferencia de potencial entre las dos medias celdas. Con lo anterior se ha construido una batería que genera un voltaje por la diferente posición de los metales en la serie electroquímica. Esta es una celda galvánica en que la corrosión y el flujo actual entre los diferentes metales, es conocido como acción galvánica (Broomfield, 1997).

Las lecturas de los potenciales de corrosión, dadas en milivolts (*mV*), son útiles para determinar la probabilidad de corrosión de acuerdo a la Tabla 2.1.

Tabla 2. 1. Potenciales de corrosión para diversos electrodos de referencia

Lecturas en milivolts				Condición de corrosión.
Cu / CuSO ₄	Ag / AgCl	ENH	Calomel (Hg/HgCl)	
> -200	> -106	> +116	> -126	Bajo (10% riesgo de corrosión).
-200 a -350	-106 a -256	+116 a -34	-126 a -276	Intermedio riesgo de corrosión.
<-350	<-256	<-34	<-276	Alto >90% riesgo de corrosión.
<-500	<-406	<-184	<-426	Corrosión severa.

Fuente: ASTM C 876
Elaboración: ASTM C 876

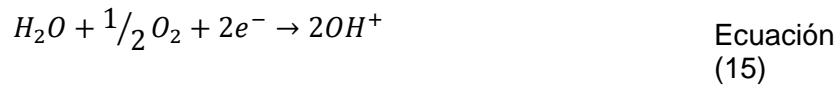
2.9.2. El método de resistencia a la polarización lineal

Permite calcular la tasa de disolución del acero a través de la velocidad de corrosión.

Inicialmente la *RPL* mide la cantidad de acero disuelto como función de la corriente eléctrica generada por la reacción anódica (Broomfield, 1997):



Esta corriente es consumida en la reacción catódica para formar compuestos OH^{-} , aumentando la alcalinidad en el cátodo:



Un sistema en corrosión no está en equilibrio. La cantidad de corrosión del metal durante un periodo de tiempo se puede determinar utilizando la segunda ley de Faraday. Así el peso m del metal corroído en una solución acuosa en un tiempo t será igual a:

$$m = \frac{M I t}{z F}$$

Donde:

m : Masa atómica

I : Flujo de corriente (en amperes A)

t : Tiempo (en segundos)

F : Constante igual a 96500 A

z : Número de electrones/átomo producido o consumido en el proceso (carga iónica 2 para $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^{-}$)

M : Masa atómico del metal (g/mol , 55.847 para el Fe)

Esto da una conversión de $0.1 \mu A / cm^2 = 11.6 \mu m$ de sección de acero por año.

La resistencia a la polarización lineal es un método electroquímico empleado para determinar la densidad de corrosión (I_{corr}) en sistemas como el concreto. Este método fue propuesto y difundido por Stern y Geary en 1957, citado por (Genescá, 2002), con la siguiente fórmula:

$$I_{corr} = \frac{B}{R_p} \quad \text{Ecuación (16)}$$

Donde;

$$B = \frac{(b_a * b_c)}{2.303(b_a + b_c)} \quad \text{Ecuación (17)}$$

En dónde;

b_a y b_c : Pendientes de Tafel anódica y catódica, respectivamente.

En esta ecuación se establece la relación entre la densidad de corriente de corrosión con la resistencia a la polarización. El método está basado en la observación de la polarización lineal cerca del E_{corr} ; pendiente ($\Delta E / \Delta I$) de las curvas de polarización alrededor del E_{corr} .

La constante B presenta una relación entre las pendientes de Tafel y sirve para pasar de la proporcionalidad a la igualdad Popa y Weisert 1958, citado por (Genescá Llongueras, 2002). Los mismos autores mostraron que B varía entre 13 y 52 mV para la mayoría de sistemas que analizaron.

El método de PRL se adaptó en los inicios de 1970 para estudiar acero embebido en concreto y se estimó un valor de 26 mV para el estado activo de la corrosión, considerando un valor de $B = 52 mV$ para acero pasivo. Normalmente un valor de $B = 26 mV$ se usa para barras sin recubrimiento y $B = 52 mV$ para varillas cubiertas con resinas epóxicas.

A pesar de ciertas limitaciones, la técnica de RPL ha sido probada para evaluar el proceso de corrosión con exactitud ya que usa una pequeña excitación del potencial ($\Delta E \leq 10 mV$) para polarizar el acero de refuerzo y analiza su efecto en el potencial de media-celda. El voltaje es aplicado por el uso de un electrodo adicional. Ambas reacciones proceden en sus regiones de Tafel respectivas y en la vecindad del potencial de corrosión, las corrientes son exponencialmente dependientes del potencial (Genescá Llongueras, 2002). Para un rango de potencial menor o igual a 20 mV estos exponenciales pueden ser linealizados, dando una relación aproximadamente lineal entre corriente y potencial. En la Tabla 2.2 se presenta la clasificación de valores de densidad de corrosión indicando su tiempo y condición.

Tabla 2. 2. Interpretación de los valores de densidad de corrosión.

Clasificación de la velocidad de corrosión	
Condición pasiva	$i_{\text{corr}} < 0.1 \mu\text{Acm}^{-2}$
Corrosión baja a moderada	$i_{\text{corr}} 0.1 \text{ a } 0.5 \mu\text{Acm}^{-2}$
Corrosión moderada a alta	$i_{\text{corr}} 0.5 \text{ a } 1 \mu\text{Acm}^{-2}$
Corrosión alta	$i_{\text{corr}} > 1 \mu\text{Acm}^{-2}$
Tiempo de corrosión	
Corrosión no esperada	$i_{\text{corr}} < 0.2 \mu\text{Acm}^{-2}$
Corrosión posible en 10-15 años	$i_{\text{corr}} 0.2 \text{ a } 1 \mu\text{Acm}^{-2}$
Corrosión esperada de 2 – 10 años	$i_{\text{corr}} 1 \text{ a } 10 \mu\text{Acm}^{-2}$
Corrosión alta esperada en 2 años o menos	$i_{\text{corr}} > 10 \mu\text{Acm}^{-2}$

Fuente: (Broomfield, 1997)
Elaboración: ASTM C 876

La clasificación de la densidad de corriente con base en la Tabla 2.2 permite estimar el tiempo en el cual se registrarán problemas de corrosión en una estructura de concreto, sin embargo, en un ambiente natural son múltiples los factores que pueden intervenir en el fenómeno, y afectar su tiempo de desarrollo; luego es necesaria la supervisión periódica para el control de la corrosión de una estructura.

2.10. Tipos de hormigón

Las obras civiles una vez proyectadas, deben establecer en sus especificaciones constructivas aspectos como: dimensiones de elementos, tipo de hormigón que involucra calidad del árido y del cemento a emplear, aditivos y el acero a colocar en función de los esfuerzos que deberá soportar la estructura de hormigón. Por ello existen tipos de hormigones con la finalidad de satisfacer los requerimientos de un proyecto (Villarino, 2011).

Los hormigones de forma general pueden ser clasificados por su densidad, composición y en función de su armado.

2.10.1. Clasificación por su densidad.

La densidad del hormigón varía dependiendo de la cantidad, densidad del agregado, cantidad de aire atrapado (ocluido) o intencionalmente incluido y de las cantidades de agua y cemento. Los hormigones pueden clasificarse por su densidad en:

- **Hormigón ligero:** de 1200 a 2000 kg/m³
- **Hormigón normal:** de 2000 a 2800 kg/m³
- **Hormigón pesado:** más de 2800 kg/m³

2.10.2. Clasificación por su composición.

Se refiere al tipo de áridos y cemento utilizados para su fabricación, éstos pueden ser:

- **Hormigón ordinario:** Elaborado con áridos que presentan una curva granulométrica continua, teniendo áridos gruesos y finos en proporciones adecuadas.
- **Hormigón sin finos:** En estos no existe árido fino o las fracciones más finas de este, son porosos y filtran el agua.
- **Hormigón ciclópeo:** Hormigón ordinario al que se le añaden, durante su puesta en obra, áridos de un tamaño mayor de 30 cm de diámetro.
- **Hormigón ligero:** Hormigón donde el árido grueso es de baja densidad como la pumita, escorias granuladas, arcillas expansivas y otras.
- **Hormigón pesado:** Compuesto de conglomerante y árido de alta densidad, se usa en estructuras o muros para impedir radiaciones.

2.10.3. Clasificación en función de su armado.

Con respecto al sistema constructivo de una estructura se pueden clasificar de la siguiente manera:

- **Hormigón en masa:** Considerado como estructural o no estructural, que emplea hormigón sin armadura o con esta en una cantidad y disposición muy pequeña, apto para resistir compresiones.
- **Hormigón armado:** Lleva incorporada una armadura metálica dispuesta en barras de acero corrugado para resistir esfuerzos de tracción y flexión. Además el recubrimiento del hormigón, una vez fraguado, a la armadura le proporciona inoxidableidad y garantiza impermeabilidad de la estructura.
- **Hormigón pretensado:** Variación del hormigón armado pues las barras de acero han sido tensadas antes que se produzca el fraguado, para mejorar la resistencia ante grandes esfuerzos a tracción.

2.11. Propiedades del hormigón.

La calidad de hormigón puede alcanzarse por propiedades que se aprecian en la masa del hormigón fresco, fraguado y endurecido. Las primeras (hormigón fresco), influyen sobre los métodos a emplear para alcanzar metas previstas. En cambio, las propiedades del hormigón endurecido ayudan a definir características alcanzadas en cada elemento constructivo.

2.11.1. Propiedades del hormigón fresco.

Es un material esencialmente heterogéneo, en el cual existen tres fases: sólida (árido y cemento), líquida (agua) y gaseosa (aire ocluido).

La etapa de duración de este estado del hormigón es desde que abandona la amasadora u hormigonera hasta que se inicia el fraguado del cemento. El hormigón fresco tiene la facultad de moldearse, por estar en estado plástico.

Las propiedades que determinan la utilización del hormigón fresco son: la docilidad, consistencia y homogeneidad.

2.11.1.1. Docilidad.

Capacidad del hormigón fresco para ser manejado, transportado y colocado en obra con los medios de compactación normales. Está relacionada con la consistencia del hormigón, con su homogeneidad, con la trabazón de sus componentes y con la mayor o menor facilidad de la masa para eliminar el aire atrapado (Blanco, 2010).

Algunos de los factores de los cuales depende la docilidad son:

- **Contenido de agua:** Factor de mayor influencia y de función directa, pues a mayor cantidad de agua mayor docilidad. Se debe conseguir una correspondencia óptima entre docilidad y resistencia necesaria, tomando en cuenta que un exceso de agua provoca disminución en la resistencia e impermeabilidad.
- **Forma del árido:** Los áridos naturales (redondeados) aportan más docilidad que los de material triturado.
- **Tamaño y granulometría del árido:** A mayor cantidad de árido fino, mayor docilidad, pero también mayor demanda de agua que conlleva a una disminución de la resistencia.
- **Contenido de cemento:** La docilidad aumenta con el contenido de cemento y con la finura de éste aumenta la cohesión y la rigidez.
- **Contenido de aditivo:** El uso de plastificantes aumenta la docilidad.

En general, los hormigones de alta docilidad se emplean en secciones pequeñas y muy armadas; en cambio, hormigones menos dóciles se utilizan en estructuras masivas, de grandes secciones y sin armar. Siempre se debe emplear la máxima docilidad compatible con el método disponible de puesta en obra.

2.11.1.2. Consistencia.

Propiedad física que caracteriza la facilidad que presenta el hormigón fresco a experimentar deformaciones ya que depende del agua de amasado, tamaño máximo del árido, la granulometría y forma de los áridos.

Según (Castro, 2001), se tiene que:

La medida de la consistencia se puede realizar por diversos métodos, siendo el más práctico y económico el empleo del cono de Abrams, un molde troncocónico metálico de 30 cm de altura, 10 cm de diámetro superior y 20 cm de diámetro inferior. El hormigón es colocado dentro del cono como se muestra en la Figura 2.17. La pérdida de altura experimenta la masa de hormigón fresca una vez desmoldada, con respecto a la altura del cono, expresada en centímetros, es la medida de su consistencia.

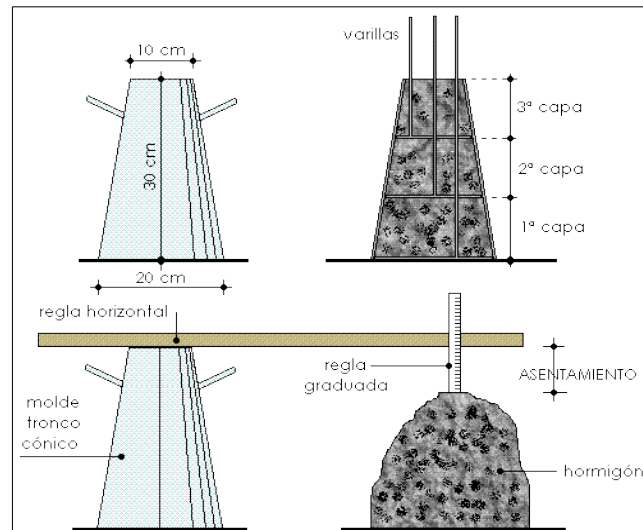


Figura 2. 17. Cono de Abrams para determinar la consistencia del hormigón.
Fuente: Lorenzo, S. (sf). Tecnología del hormigón.
Elaboración: Lorenzo, S. (sf).

La pérdida de altura, denominada como “asentamiento” permite distinguir los estados de consistencia del hormigón que se muestran en la Tabla 2.3.

Tabla 2. 3. Estados de consistencia del hormigón en función del asentamiento.

Asentamiento (cm)	Consistencia
0 – 2	Seca
3 – 5	Plástica
6 – 9	Blanda
10 - 15	Fluida
> 16	Líquida

Fuente: Villarino, A. (2011). Ciencia y Tecnología de los Materiales. (pp.106) Ávila - España: Escuela Politécnica Superior de Ávila.
Elaboración: Villarino, A. (2011).

2.11.1.3. Homogeneidad.

El hormigón al estar constituido por sólidos diferentes y de un líquido, es un material heterogéneo; es decir, que en cualquier volumen de su masa sus componentes deben estar perfectamente mezclados y en la proporción prevista al diseñar la mezcla (Romo, 2008).

Esta mezcla puede verse afectada durante el transporte, el vertido a los encofrados o moldes, en el paso a través de las armaduras y durante el compactado, dando lugar a que los elementos constitutivos del hormigón tiendan a separarse unos de otros y a decantarse de acuerdo con su tamaño y densidad, lo que se conoce como segregación.

Los hormigones deben ser dóciles sin que presenten segregación, por lo tanto deben tener cohesión. La pérdida de homogeneidad en la mezcla de hormigón es menor en cuanto menor sea su cohesión, la cual se ve afectada por: una inadecuada relación arena/grava, tamaño máximo del árido mucho mayor y cuando se presenta un alto contenido de agua.

2.11.2. Propiedades del hormigón endurecido.

Dependen de los componentes empleados en su elaboración, además de su edad, la temperatura y la humedad a las que estuvo sujeto.

Entre las principales propiedades podemos mencionar las siguientes:

- Permeabilidad
- Resistencia al desgaste
- Resistencia a compresión
- Resistencia a tracción
- Elasticidad
- Ductilidad

2.11.2.1. Permeabilidad.

La penetración de materiales en solución puede afectar la durabilidad del hormigón. Ésta penetración depende de la permeabilidad y está determinada por la facilidad relativa con que el hormigón puede saturarse de agua; por tal razón, se relaciona con la vulnerabilidad del hormigón a la congelación (Rivera, 2009).

Un hormigón con baja relación agua/cemento, buena gradación de los agregados, consistente y bien compactado es casi impermeable, lo que aumenta su duración.

2.11.2.2. Resistencia al desgaste.

Propiedad exigible en hormigones empleados en zonas de elevada fricción mecánica, como pavimentos de carreteras o interiores de construcciones de tipo industrial. Para conseguirlo se debe obtener un hormigón seco con la ayuda de arena silícea y no caliza en una proporción mínima de 30 % de la arena total, puesto que la lechada superficial es un elemento débil, fácilmente desgastable y productor de polvo (Barros y Ramírez, 2012).

Otra forma de obtener una buena resistencia al desgaste es aplicando un revestimiento hecho con mortero de cemento con árido fino especial, este puede ser, carborundo, corindón, sílice, granalla de hierro inoxidable, etc. Se puede aplicar también endurecedores superficiales.

2.11.2.3. Resistencia a la compresión.

Propiedad mecánica y mayormente medida debido a que otras propiedades están relacionadas con ella, de aquí, que su conocimiento nos da un índice de su comportamiento frente a otras acciones (Villarino, 2011).

El hormigón generalmente trabaja a compresión; por tal razón, el conocimiento de su resistencia frente a esta sollicitación es de suma importancia.

Algunos de los factores que influyen de forma directa en la resistencia a compresión del hormigón son: los materiales empleados, la relación agua/cemento (la más determinativa), el tamaño máximo del árido, la forma y dimensiones de las probetas y la edad de ensayo del hormigón.

Para evaluar la resistencia a compresión a los 28 días se realiza ensayos destructivos y no destructivos, pero puede medirse a cualquier otra edad. Los ensayos realizados a otras edades son útiles para conocer el desarrollo de la resistencia.

Tomando en consideración los factores que intervienen en el proceso de resistencia del hormigón, es difícil predecir la resistencia a una edad a partir de resultados obtenidos a edades más tempranas; por tal motivo, se proporciona la Tabla 2.4., donde se estiman porcentaje de resistencias a compresión a distintas edades con respecto a la resistencia a los 28 días (Bañón, 2010).

Tabla 2. 4. Porcentajes de resistencia a la compresión del hormigón a diferentes edades.

Edad del hormigón (días)	3	7	28	90	360
Hormigón con cemento portland normal (%)	0,40	0,65	1,00	1,20	1,35
Hormigón con cemento portland de alta resistencia inicial (%)	0,55	0,75	1,00	1,15	1,20

Fuente: Bañón, L. (2010). Propiedades del Hormigón. (pp. 10). Alicante-España: Universidad de Alicante.
Elaboración: Bañón, L. (2010).

Los ensayos destructivos son más utilizados en el control del hormigonado en sus diferentes fases sobre probetas de formas cilíndricas o cúbicas. La determinación de la resistencia a compresión obtenida en la rotura de estas probetas proporciona un índice de la calidad del hormigón que se está utilizando. Los ensayos no destructivos son pruebas in situ que sirven para estimar propiedades y garantizar que un elemento es estructuralmente adecuado para la función que ha sido diseñado.

En los ensayos destructivos la determinación de la resistencia a compresión se realiza en muestras cilíndricas estandarizadas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, llevadas hasta la rotura mediante una carga continua, con una velocidad de esfuerzo sobre el espécimen de $0,25 \pm 0,05$ MPa/s.

La resistencia a compresión depende de factores como: la masa de hormigón, forma y dimensiones de las probetas y las condiciones en que se realiza el ensayo.

Siempre que se realiza el ensayo de compresión sobre probetas procedentes de la misma masa de hormigón, se presentan variaciones entre los resultados obtenidos en su rotura, por variaciones en la dosificación, mezcla, transporte, colocación, compactación y curado del hormigón. Ante esta variación se suele tomar como resistencia del hormigón, la media aritmética de los valores (f'_{cm}), no refleja la verdadera calidad del hormigón ya que no tiene en cuenta la dispersión de los resultados individuales obtenidos. Con el fin de conseguir un valor más aproximado a la realidad se ha adoptado un concepto denominado resistencia característica del hormigón, en la cual se tiene en cuenta la resistencia media (f'_{cm}) y la desviación estándar (s) de los resultados obtenidos en el ensayo. La resistencia característica (f'_{cr}) del hormigón es un valor que tiene un grado de confianza o fiabilidad del 95 %, en donde existe una probabilidad del 5 % de que se presenten valores más bajos que ella, lo que se puede observar en la Figura 2.18. (Blanco, 2010, pág. 238).

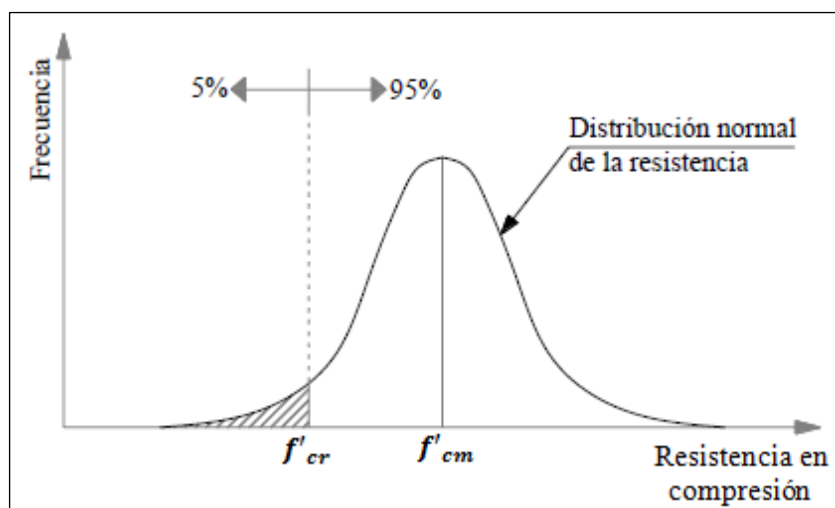


Figura 2. 18. Definición resistencia característica el hormigón.
Fuente: Romo, M. (2008). Temas de Hormigón Armado. (pp. 14). Quito-Ecuador.
Elaboración: Romo, M. (2008).

El ACI 318S-14 en su reporte “Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural” proporciona, en base a registros de resistencias, las siguientes ecuaciones para el cálculo de la resistencia característica del hormigón.

a) Cuando se dispone de registros de resistencias de probetas

En base a la resistencia a la compresión especificada del hormigón, se dispone de las ecuaciones siguientes, asumiendo la que proporcione un valor mayor.

Para $f'_c \leq 350 \text{ kgf/cm}^2$:

$$f'_{cr} = f'_c + 1,34 s \quad \text{Ecuación (16)}$$

$$f'_{cr} = f'_c + 2,33 s - 35 \quad \text{Ecuación (17)}$$

Para $f'_c > 350 \text{ kgf/cm}^2$:

$$f'_{cr} = f'_c + 1,34 s \quad \text{Ecuación (18)}$$

$$f'_{cr} = 0,90 f'_c + 2,33 s \quad \text{Ecuación (19)}$$

Donde:

f'_c = Resistencia a la compresión especificada

f'_{cr} = Resistencia característica requerida

s = Desviación estándar

La desviación estándar (s) está dada por la siguiente expresión:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f'_{ci} - f'_{cm})^2}{(n - 1)}} \quad \text{Ecuación (20)}$$

Donde:

f'_{ci} = Resultados de ensayos individuales.

f'_{cm} = Promedio de los n resultados de ensayos considerados.

n = Número de probetas ensayadas, se requiere un mínimo de 30 registros.

Si solo se dispone de 15 a 29 probetas ensayadas se debe corregir la desviación estándar (s) multiplicándola por un factor de corrección, el cual se indica en la Tabla 2.5.

Tabla 2. 5. Factor de corrección para la desviación estándar cuando se dispone de menos de 30 ensayos.

Número de ensayos *	Factor de corrección para la desviación estándar (δ) ** $s_{\text{corregido}} = s * \delta$
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 o más	1,00

Fuente: (Kosmatka, et al, 2004). Diseño y Control de Mezclas de Concreto.
Elaboración: (Kosmatka, et al, 2004).

* Interpolarse para números intermedios de ensayos.

** La desviación estándar corregida se debe usar para determinar la resistencia característica f'_{cr} .

b) Cuando no se tiene registro de resistencia de probetas

Si no se dispone de datos de campo para calcular la desviación estándar se debe tomar el valor de la f'_{cr} de la Tabla 2.6.

Tabla 2. 6. Resistencia característica a la compresión cuando no hay datos para establecer la desviación estándar.

Resistencia a la compresión especificada (f'_c) kgf/cm ²	Resistencia característica a la compresión (f'_{cr}) kgf/cm ²
Menos de 210	$f'_{cr} = f'_c + 70$
210 – 350	$f'_{cr} = f'_c + 84$
> 350	$f'_{cr} = 1,10f'_c + 50$

Fuente:(Kosmatka, et al, 2004). Diseño y Control de Mezclas de Concreto.
Elaboración: (Kosmatka, et al, 2004).

2.11.2.4. Resistencia a la tracción.

El hormigón es un material de muy baja resistencia a la tracción ya que representa hasta un 10 % de su capacidad a compresión, por ello este valor generalmente se desprecia en el cálculo resistente; sin embargo, debe considerarse para evitar la fisuración (Romo, 2008).

Cuando el hormigón trabaja como pavimento, la resistencia a la tracción es la característica fundamental. Esta resistencia puede determinarse por tres métodos: tracción directa (tracción axial), tracción por compresión diametral (tracción indirecta) y tracción por flexión (módulo de rotura). El ensayo de tracción directa no es práctico por su complejidad. En el caso de los pavimentos la resistencia a tracción por flexión es más utilizada.

- **Tracción directa (tracción axial)**

Consiste en una pequeña muestra con sección transversal rectangular, que presenta un ensanchamiento en los extremos longitudinales y permite que las abrazaderas del equipo utilizado en la prueba ejerzan fuerzas de tracción de forma axial, que rompen a la muestra en el sector central más débil (por tener menor sección transversal).

- **Tracción por compresión diametral (tracción indirecta)**

Se utilizan probetas cilíndricas, iguales a las de compresión, que se colocan entre los platos de la prensa con su eje principal horizontal y se someten a compresión entre dos generatrices opuestas hasta que se produce la rotura según un plano diametral.

Este ensayo conocido también como Prueba Brasileña permite determinar el valor de la tracción indirecta (f_t) que puede correlacionarse en laboratorio con el módulo de rotura por flexo tracción (MR).

Romo (2008) sugiere utilizar la siguiente expresión para determinar un valor aproximado del esfuerzo máximo a tracción que puede soportar el hormigón:

$$f_t = 1.5 \sqrt{f'_c} \quad \text{Ecuación (21)}$$

Donde:

f_t = Resistencia a tracción del hormigón (kgf/cm²).

f'_c = Resistencia a la compresión especificada del hormigón (kgf/cm²).

- **Tracción por flexión (módulo de rotura)**

Este ensayo se realiza utilizando probetas prismáticas (vigas), que se apoyan sobre rodillos separados a tres veces la arista, ésta resistencia se puede determinar aplicando una carga en el punto central o con carga en los tercios en la parte superior de la viga, como se muestra en la Figura 2.19.



Figura 2. 19. Ensayo para determinación del módulo de rotura del hormigón, (a) viga con carga en el punto central, (b) viga con carga en los tercios.

Fuente: (Kosmatka, et al, 2004). Diseño y Control de Mezclas de Concreto.

Elaboración: (Kosmatka, et al, 2004).

En el primer caso, el momento flector máximo corresponde a la vertical que pasa por el punto de aplicación de la carga y afecta al hormigón situado sobre esa línea. En el segundo caso, se tiene una zona central de momento flector constante con lo cual la rotura se producirá en el hormigón más débil de esta zona.

La carga en el punto central usualmente indica resistencias más altas pero produce dispersión en los datos, por lo tanto, se ha recomendado que la carga sea aplicada en los tercios en la mayoría de los casos.

El Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Concreto INECYC, en su Nota Técnica Control de Calidad en el Hormigón, Control por Resistencia Parte I (2009), señala las relaciones entre la resistencia a la compresión (f'_c), la resistencia a la tracción por compresión diametral (f_t) o tracción indirecta y la resistencia a la tracción por flexión o módulo de rotura (MR).

Una buena relación entre f_t y MR permite usar para control en obra probetas cilíndricas que son mucho más manejables que las vigas.

Las ecuaciones recomendadas para realizar las relaciones indicadas son (INECYC, 2009):

Adam M. Neville:

$$f_t = 0,3 * \sqrt[3]{(f'_c)^2} \quad \text{Ecuación (22)}$$

$$MR = 1,333 * f_t \quad \text{Ecuación (23)}$$

American Concrete Institute:

$$MR = 0,392 * \sqrt[3]{(f'_c)^2} \quad \text{Ecuación (24)}$$

Burg y Ost (1992):

$$f_t = 0,61 * \sqrt{f'_c} \quad \text{Ecuación (25)}$$

La Tabla 2.7 de relación de resistencias, consigna para cada valor de f'_c , valores de f_t calculados con la ecuación 24, de MR calculados con la ecuación 26, y en la cuarta columna la relación entre el MR y la resistencia a compresión (f'_c). Para valores de f'_c mayores que 80 MPa se ha utilizado la ecuación 27 para calcular los valores de f_t y su relación con el MR se obtuvo con la ecuación 25.

Tabla 2. 7. Relación entre la resistencia a la compresión (f'_c), la resistencia a la tracción indirecta (f_t) y el módulo de rotura (MR) para hormigones de uso general.

f'_c MPa	f_t MPa	MR MPa	$\frac{MR}{f'_c}$
10	1.39	1.82	0.182
20	2.21	2.89	0.144
30	2.89	3.78	0.126
35	3.20	4.19	0.120
40	3.50	4.58	0.115
50	4.06	5.32	0.106
60	4.59	6.01	0.100
70	5.08	6.66	0.095
80	5.55	7.28	0.091
90	5.79	7.72	0.086
100	6.10	8.13	0.081
120	6.68	8.91	0.074

Fuente: INECYC. (2009). Control de calidad en el hormigón. Control por resistencia Parte I. Elaboración: INECYC. (2009).

2.11.2.5. Módulo de elasticidad.

Es una medida de la rigidez, es decir, la resistencia del hormigón a la deformación, por lo que su conocimiento es importante para determinar la forma de trabajar en las estructuras en las que el hormigón va a formar parte.

El hormigón, al igual que otros materiales estructurales despliega su elasticidad, donde la deformación unitaria se incrementa con el tiempo por la aplicación de una carga sostenida, lo que representa que el hormigón fluye (Blanco, 2010).

El módulo de elasticidad " E_c " es directamente proporcional a la resistencia en compresión del hormigón (f'_c), es decir, a mayor resistencia a la compresión, mayor módulo de elasticidad.

El ACI propone una expresión experimental como una forma aproximada de calcular el módulo de elasticidad del hormigón en función de la resistencia a la compresión del mismo:

$$E_c = 15000\sqrt{f'_c} \quad \text{Ecuación (26)}$$

Donde:

E_c = Módulo de elasticidad del hormigón, en kgf/cm²

f'_c = Resistencia a la compresión del hormigón, en kgf/cm²

La Tabla 2.8 muestra la resistencia de los hormigones utilizados con más frecuencia con su respectivo módulo de elasticidad.

Tabla 2. 8. Módulos de elasticidad para diferentes resistencias

Resistencia a la compresión (f'_c) kgf/cm ²	Módulo de elasticidad (E_c) kgf/cm ²
210	217000
280	251000
350	281000
420	307000

Fuente: Romo, M. (2008). Temas de Hormigón Armado. (pp. 18). Quito-Ecuador.
Elaboración: Romo, M. (2008).

2.11.2.6. Ductilidad.

Capacidad que tiene un material para continuar deformándose de manera no elástica a pesar de que los incrementos de carga sean mínimos, nulos e inclusive si existe una disminución de la carga (Romo, 2008).

Una medida cuantitativa de la ductilidad sería el cociente entre la deformación de rotura y la deformación máxima con comportamiento lineal elástico.

$$D_d = \frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_e} \quad \text{Ecuación (27)}$$

Donde:

D_d = Índice de ductilidad por deformación

ε_u = Deformación unitaria de rotura

ε_e = Deformación unitaria elástica máxima.

Los índices de ductilidad por deformación del hormigón, decrecen considerablemente cuando aumenta su resistencia a la rotura. Además, es un excelente referente de la capacidad del hormigón para deformarse por encima de su límite de fluencia.

2.12. Curado del hormigón.

Proceso de mantener un contenido de humedad satisfactorio y una temperatura favorable en el hormigón durante la hidratación de los materiales cementantes, con el fin de aumentar la resistencia, durabilidad y en general todas sus propiedades en estado endurecido.

Una vez elaborados los especímenes, deben almacenarse por un periodo de hasta 24 horas a una temperatura entre 16 °C y 27 °C, en un ambiente que prevenga la pérdida de humedad. Además se los debe proteger de los rayos directos del sol o de cualquier radiación calórica para que desarrollen una resistencia adecuada para la transportación.

Cumplido este período se desmoldan los especímenes y dentro de 30 minutos deben ser curados a una temperatura de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, manteniendo todo el tiempo sus superficies con agua libre, utilizando tanques de almacenamiento o cámaras de curado.

Durante el curado, el desarrollo de propiedades mecánicas es rápido en los primeros días, pero después se vuelve lento por un largo período de tiempo como se puede apreciar en la Figura 2.20.

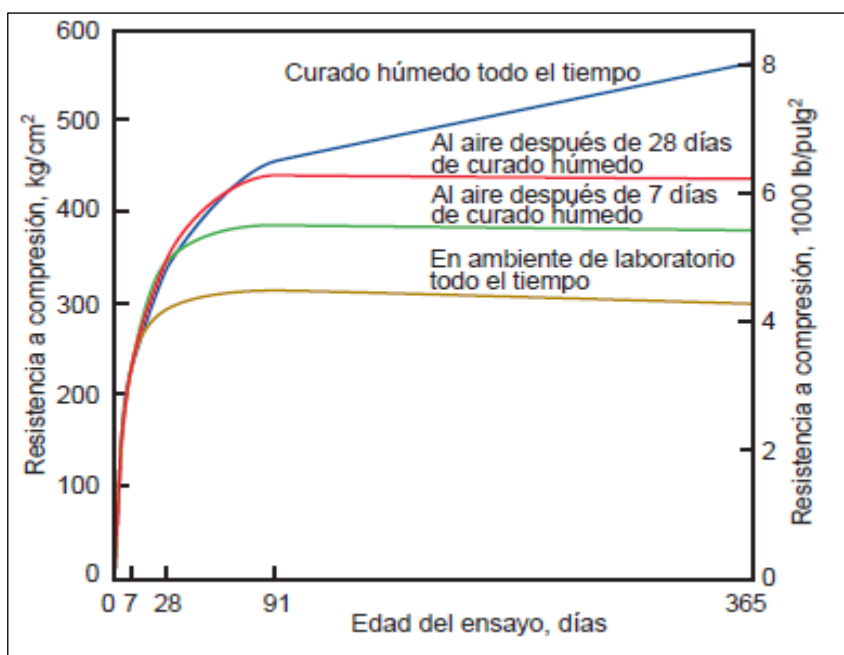


Figura 2. 20. Efecto de las condiciones de curado húmedo sobre el desarrollo de la resistencia del hormigón.

Fuente:(Kosmatka, et al, 2004). Diseño y Control de Mezclas de Concreto.

Elaboración: (Kosmatka, et al, 2004).

2.13. Componentes del hormigón.

2.13.1. Agregados.

Son materiales inertes que actúan como relleno y representan entre el 60 al 80 % del volumen total del concreto, pues intervienen en las proporciones de mezcla y costo del concreto. Por ejemplo, el agregado con partículas alargadas y planas o con una textura rugosa necesita más agua para producir un concreto trabajable, que unas partículas redondas (cantos rodados). Asimismo el agregado con partículas que tienen formas angulosas necesitan más cemento para conservar la relación agua-cemento aumentando el costo de producción (Love, 2006).

La influencia de los agregados afecta no solo al acabado y calidad del concreto, sino también, a la trabajabilidad y consistencia (estado plástico); durabilidad, resistencia, propiedades elásticas y térmicas, cambios volumétricos y el peso unitario.

Los agregados deben ser partículas limpias, sólidas, fuertes y duraderas, libres de químicos y de recubrimientos de arcilla o de otros materiales que perjudiquen la unión de la pasta de cemento. Los materiales contaminantes que afectan a los agregados son sedimentos, arcilla, mica, sales, mantillo y otras materias orgánicas que pueden aparecer como recubrimiento o como material fino suelto.

Los agregados son usados en la fabricación de mezclas de concreto, asfalto, mortero, como bases y sub-bases en la construcción de vías, drenajes o balasto para vías de ferrocarril. Los más empleados son arena, grava, piedra triturada, escoria de fundición de altos hornos, cenizas, arcilla quemada y escoria expandida de altos hornos, entre otros.

Los agregados, generalmente se dividen en dos grupos: finos y gruesos. Los agregados finos consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula que pasan el tamiz de 4,75 mm (No. 4) y queda retenido en el tamiz 75 μm (No. 200); los agregados gruesos son aquellos cuyas partículas se retienen en el tamiz de 4,75 mm (No. 4) y pueden variar hasta 152 mm. Los tamaños máximos del agregado que se suelen emplear son de 19 mm y 25 mm.

2.13.1.1. Agregado grueso.

O grava, componente básico que debe ser de calidad para garantizar buenos resultados en las estructuras. Además, debe ser durable, resistente, estar limpio y sin recubrimiento de materiales extraños o de polvo, los cuales, en caso de presentarse, deberán ser eliminados mediante un procedimiento apropiado.

Los agregados pueden ser utilizados en estado natural o pueden provenir de un proceso de trituración. El agregado grueso triturado presenta mejores características de adherencia que el agregado natural, ayudando a que el concreto pueda alcanzar una mayor resistencia.

El agregado grueso, como materia prima para la fabricación del concreto, se debe utilizar en mayor cantidad y tamaño posible para minimizar los requisitos de agua y reducir el contenido de cemento para una resistencia del hormigón especificada. Para resistencias de hasta 250 Kgf/cm^2 se debe usar el mayor tamaño posible del agregado grueso para obtener una mayor resistencia (eficiencia). La eficiencia del hormigón es la relación entre la resistencia del hormigón y el contenido de cemento.

Debe evitarse el uso de áridos planos o alargados, ya que además de producir bajas masas unitarias y baja resistencia mecánica, suelen colocarse horizontalmente formándose bajo su superficie bolsas de agua, que dejan espacios vacíos luego de la evaporación del agua, afectando notablemente la resistencia del concreto.

El agregado debe presentar una adecuada distribución de los distintos tamaños del grano, cuya determinación se estudia mediante una curva granulométrica. Esta curva se obtiene cribando el agregado a través de una serie de tamices y se obtendrán parámetros determinantes en la dosificación de la mezcla de concreto (Kosmatka, et al, 2004).

El agregado grueso deberá cumplir con los criterios de calidad expresados en la norma NTE INEN 872 o norma ASTM C-33. Asimismo los porcentajes de sustancias dañinas no deberán superar los límites que se describen en la Tabla 2.9.

Tabla 2. 9. Límites máximos permisibles de sustancias dañinas en el agregado grueso.

PARÁMETRO	LÍMITE MÁXIMO (%)
Material que pasa por el tamiz No. 200	0,5
Materiales ligeros	1
Grumos de arcilla	0,5
Otras sustancias dañinas	1
Abrasión máquina de Los Ángeles	40

Fuente: Norma ASTM C-33.

Elaboración: ASTM C-33

Según Kosmatka, et al, (2004):

Para la utilización del agregado grueso en obras de hormigón su tamaño no debe exceder de (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese y Tanesi, 2004):

- Un quinto de la dimensión más pequeña del elemento de concreto.
- Tres cuartas partes del espacio libre entre barras de refuerzo.
- Un tercio del espesor de la losa, para losas de pisos o pavimentos.

2.13.1.2. Agregado fino.

Sirve como material llenante y como lubricante entre agregados gruesos brindándole operabilidad a la mezcla.

Puede estar compuesto de arena natural proveniente de canteras aluviales, arena de trituración producida artificialmente o una combinación de ambas. La arena natural deberá estar constituida por fragmentos de roca limpios, duros, compactos, durables y la forma de las partículas deberá ser generalmente cúbica o esférica. Para la arena de trituración no deben utilizarse rocas que se quiebren en partículas laminares, planas o alargadas, independientemente del equipo de procesamiento empleado.

Cuando una mezcla es áspera se debe a la falta de arena, mientras que, un exceso de arena hace que la mezcla se vuelva más cohesiva aumentando las cantidades de agua y cemento para mantener una determinada relación a/c y obtener el asentamiento especificado.

Para producir mezclas compactas el agregado fino debe tener una buena gradación de manera que puedan llenar todos los espacios en la mezcla. La presencia de materia orgánica afecta al proceso de fraguado o endurecimiento del cemento.

Con respecto a la calidad del agregado fino, éste deberá cumplir con los criterios de calidad expresados en la norma NTE INEN 872 o ASTM C-33, es decir, no deberá contener cantidades dañinas de arcilla, limo, álcalis, mica, materiales orgánicas y otras sustancias perjudiciales.

Los porcentajes de sustancias dañinas no deberán superar los límites que se describen en la Tabla 2.10.

Tabla 2. 10. Límites máximos permisibles de sustancias dañinas en el agregado fino.

PARAMETRO	LIMITE MAXIMO (%)
Material que pasa por el tamiz No. 200	3
Materiales ligeros	1
Grupos de arcilla	3
Otras sustancias dañinas (álcalis, mica, limo)	2
Pérdida por meteorización	10

Fuente: Norma ASTM C-33.

Elaboración: ASTM C-33.

2.13.1.3. Cemento

Es un conglomerante hidráulico, es decir, un material inorgánico que presenta propiedades tanto adhesivas como cohesivas y que tiene la capacidad de fraguar y endurecerse al contacto con el agua por medio de reacciones químicas. Cuando se mezcla el cemento con agua se forma una masa similar a una pasta. La pasta funciona como adhesivo para unir los agregados (arena, grava) y crear el hormigón. Este es considerado como el material de construcción de mayor consumo y demanda en el mundo (Moragues, 2010).

El cemento además es un componente decisivo en la plasticidad del hormigón en estado fresco y posteriormente en las características mecánicas del hormigón endurecido. Se puede utilizar cualquier cemento que cumpla con los requisitos establecidos para un hormigón tradicional siempre que sea capaz de proporcionar al hormigón las características

que exige el proyecto. El cemento más utilizado como aglomerante para la preparación del hormigón en el cemento Pórtland.

▪ **Cemento Pórtland.**

Se obtiene por la pulverización del clínker en un proceso de calcinación de calizas y arcillas con adición de yeso (sulfato de calcio) que actúa como retardante del fraguado. Se admite la adición de otros productos siempre que no afecte las propiedades del cemento resultante. Todos los productos adicionales deben ser pulverizados conjuntamente con el clínker.

El cemento Pórtland está compuesto principalmente por materiales calcáreos (carbonato de calcio) como caliza, alúmina y sílice que se encuentran como arcilla o pizarra; también se utiliza marga que es un material calcáreo-arcilloso. En los últimos años se ha incorporado material puzolánico, que puede estar en estado natural como tierra de diatomeas, rocas opalinas, esquistos, cenizas volcánicas, o material calcinado (los nombrados anteriormente y algunos como las arcillas y esquistos más comunes), o de material artificial (óxido de silicio precipitado y cenizas volantes) (Moragues, 2010).

La materia prima para la fabricación del cemento debe ser mezclada minuciosamente en una cierta proporción y sometida a un proceso de pulverización, para luego calcinarla en un horno giratorio de gran dimensión, a una temperatura de 1400 °C a 1550 °C, a la cual el material se sintetiza y se funde parcialmente, formando pequeñas bolas conocidas como clínker. El clínker se enfría y seguidamente se adiciona yeso así como material puzolánico en cantidades controladas. Luego se tritura hasta obtener un polvo fino; dando como resultado el cemento Pórtland.

▪ **Tipos de cemento Pórtland.**

Los cementos están compuestos por componentes que adecuadamente dosificados mediante un proceso de producción controlado, le dan al cemento las cualidades físicas, químicas y resistencias adecuadas al uso deseado.

Según su uso se diferencia distintos tipos de cementos Pórtland, éstos se producen de acuerdo con las especificaciones que se indican en la norma ASTM C150 - Especificación Normalizada para Cemento Pórtland, de donde se derivan los siguientes tipos de cemento:

- **TIPO I:** De uso general, apropiado cuando las propiedades especiales de otros cementos no sean necesarias.
- **TIPO II:** Resistente al ataque moderado de sulfatos. Se lo utiliza en las tuberías de drenaje, muros de contención, pilas, presas.

- **TIPO III:** Altas resistencias iniciales a tempranas edades, es usado cuando se necesita remover las cimbras (encofrado) lo más temprano posible o cuando la estructura será puesta en servicio rápidamente.
- **TIPO IV:** Bajo calor de hidratación, se utiliza donde se desea minimizar la tasa y la cantidad de calor generado por la hidratación, por lo tanto este cemento desarrolla la resistencia en una tasa más lenta que otros tipos de cemento. Se puede aplicar en la construcción de presas, embalses y además en climas cálidos.
- **TIPO V:** Alta resistencia a los sulfatos, se utiliza en concretos expuestos a la acción severa de sulfatos y aguas marinas.

Estos cementos se elaboran también con un agente inclusor de aire y para su denominación se añade la letra A, por ejemplo Tipo IA, o si se le incluye puzolana se le añade la letra P.

La norma ASTM C1157 - Especificación de Desempeño para Cementos Hidráulicos en correspondencia a la norma NTE INEN 2380 - Requisitos de Desempeño para Cementos Hidráulicos abarcan las especificaciones para cementos hidráulicos (cementos Pórtland y cementos mezclados). Ésta norma, de igual manera, muestra seis tipos de cementos hidráulicos con características similares a los expuestos anteriormente:

- **Tipo GU:** Uso general.
- **Tipo HE:** Alta resistencia inicial.
- **Tipo MS:** Moderada resistencia a los sulfatos.
- **Tipo HS:** Alta resistencia a los sulfatos.
- **Tipo MH:** Moderado calor de hidratación.
- **Tipo LH:** Bajo calor de hidratación.

▪ **Propiedades físicas.**

Durante el proceso de fabricación del cemento se monitorean principalmente las siguientes propiedades:

- **Finura:** Definida como la distribución total del tamaño de partículas que presenta el cemento, ésta propiedad afecta el calor liberado y la velocidad de hidratación. Mientras más fino sea el cemento mayor será la tasa de hidratación del mismo, por lo tanto, acelera el desarrollo de resistencia.
- **Consistencia:** Se refiere a la fluidez de la mezcla fresca de pasta o mortero de cemento, determinada por una cierta cantidad de agua. Tiene relación con la calidad del cemento y el tiempo de fraguado. El requerimiento de agua varía entre los distintos tipos de cemento.

- **Gravedad específica:** No indica la calidad del cemento, su principal uso se da en los cálculos de dosificaciones de mezclas, y presenta por lo general un valor muy similar en todos los cementos portland.

2.13.1.4. Agua

Componente fundamental que desempeña dos funciones de importancia: la primera permite la hidratación del cemento para obtener la pasta que es la que proporciona la resistencia del hormigón, y la segunda, aumenta la fluidez para una adecuada manejabilidad de la mezcla de hormigón.

La cantidad de agua en una mezcla debe ser óptima, de tal manera que no se presenten las siguientes condiciones:

- Poca agua: produce un hormigón denso, seco, difícil de compactar y de homogenizar, y
- Mucha agua: Cuando se evapora origina porosidad, y esto reduce la resistencia y durabilidad del hormigón.

Cuando se requiera obtener una mezcla fluida no se debe aumentar la cantidad de agua, sino utilizar aditivos plastificantes.

El agua para la fabricación del hormigón se considera adecuada si su composición química indica que es apta para consumo humano, es decir, el agua es potable. Es posible la utilización de aguas provenientes de otras fuentes, siempre y cuando, se verifique que están libres de aceites, ácidos, sustancias alcalinas y materias orgánicas.

2.13.2. Aditivos

Son productos químicos que se agregan al hormigón antes o durante la etapa de mezclado con el fin de modificar alguna de sus características, propiedades habituales o de su comportamiento en estado fresco y/o endurecido.

Actualmente los aditivos han permitido la elaboración de hormigones con características diferentes a los tradicionales, además han facilitado la construcción de distintas obras; por tal razón, su utilización se ha ido generalizando hasta el punto de considerarse como un componente necesario conjuntamente con el agua, cemento y los agregados. Los aditivos se suelen presentar en forma de polvo o de líquido (emulsiones).

La dosis de un aditivo en el hormigón se establecerá, en primera instancia, tomando en cuenta las especificaciones del fabricante, debiendo verificar posteriormente éste valor según los resultados obtenidos en obra o de preferencia realizando mezclas de prueba en

laboratorio. Esto se realiza con el propósito de obtener la modificación requerida sin alterar excesivamente las restantes características del hormigón, ni representar peligro para su durabilidad ni para la corrosión de las armaduras.

El uso de los aditivos se debe justificar por razones técnicas y económicas ya que determinadas características del hormigón fresco y endurecido no pueden lograrse sin el uso de estos.

Las principales propiedades del hormigón que se controlan por medio del uso de aditivos son:

- Trabajabilidad y exudación en estado fresco.
- Tiempo de fraguado y resistencia inicial de la pasta de cemento.
- Resistencia, impermeabilidad y durabilidad en estado endurecido.

▪ **Tipos de aditivos.**

Según la función que desempeñe el aditivo en el hormigón se pueden distinguir los siguientes tipos:

- a) Aditivo reductor de agua - plastificante:** Mejoran la trabajabilidad del hormigón sin modificar su relación agua/cemento, además es un reductor de agua (reduce hasta un 15 %), lo que aumenta la resistencia.
- b) Aditivo reductor de agua de alto rango - superplastificantes:** Permiten una buena trabajabilidad de la mezcla, así como una reducción de agua hasta un 30 % con lo cual se obtiene hormigón de muy alta resistencia.
- c) Aditivos aceleradores:** Disminuyen el tiempo de fraguado y aceleran el desarrollo de resistencia del concreto en edades tempranas.
- d) Aditivos retardadores:** Retrasan el inicio del fraguado manteniendo su consistencia plástica por mucho más tiempo y produce una disminución en la resistencia inicial del hormigón. Se lo usa en hormigonado a temperaturas elevadas (clima caliente) para evitar el fraguado anticipado por evaporación del agua de amasado.
- e) Aditivos inclusores de aire:** Se utilizan para introducir y distribuir uniformemente burbujas microscópicas de aire en el hormigón, lo cual mejora de forma considerable la durabilidad de hormigones expuestos a ciclos de congelación-deshielo.
- f) Aditivos impermeabilizantes:** Reducen la tasa en la cual el agua bajo presión se transmite a través del hormigón, aumentando la compacidad de los hormigones.

2.14. Dosificación del hormigón

El objetivo del diseño de hormigones es obtener una mezcla que posea propiedades en estado fresco y 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 el transporte del mismo (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese y Tanesi, 2004).

La dosificación de un hormigón se refiere al proceso de determinación de las proporciones de sus componentes, con el fin de conseguir las características exigidas en un proyecto. Si la mezcla está adecuadamente proporcionada deberá presentar las siguientes cualidades:

- Economía, no sólo en el costo inicial, sino durante la vida útil.
- Trabajabilidad aceptable, para poder dar lugar a un vaciado satisfactorio en las condiciones de trabajo.
- Resistencia suficiente, para soportar cargas de diseño.
- Durabilidad, para permitir un servicio satisfactorio en las condiciones esperadas de exposición durante su tiempo de servicio.

Dependiendo de las condiciones que deba reunir un hormigón se podrá elegir uno u otro método de dosificación. Sus resultados dependerán del método utilizado y de los ajustes en la mezcla mediante mezclas de prueba. La mayor parte de los procedimientos de dosificación están basados principalmente en lograr una resistencia a compresión para una edad especificada y una trabajabilidad apropiada.

El Instituto Americano del Concreto ACI propone un método de dosificación, considerado el más utilizado y adecuado para cualquier obra a efectuarse con hormigón.

2.14.1. Método de dosificación del ACI.

El método del ACI (apartado ACI 211.1-91 Práctica estándar de elección de las proporciones para el concreto normal, de densidad elevada y masivo), se basa en la resistencia buscada para el hormigón que se diseña, en la cual se establece la relación agua/cemento que asegure la durabilidad y la resistencia del hormigón.

La dosificación del hormigón se realiza en base a tablas obtenidas de resultados de ensayos realizados en laboratorio con el fin de dar una guía a los diseñadores de mezclas de hormigón. En la Figura 2.21, se muestra un diagrama de flujo del proceso para la dosificación del hormigón empleando el método del ACI.

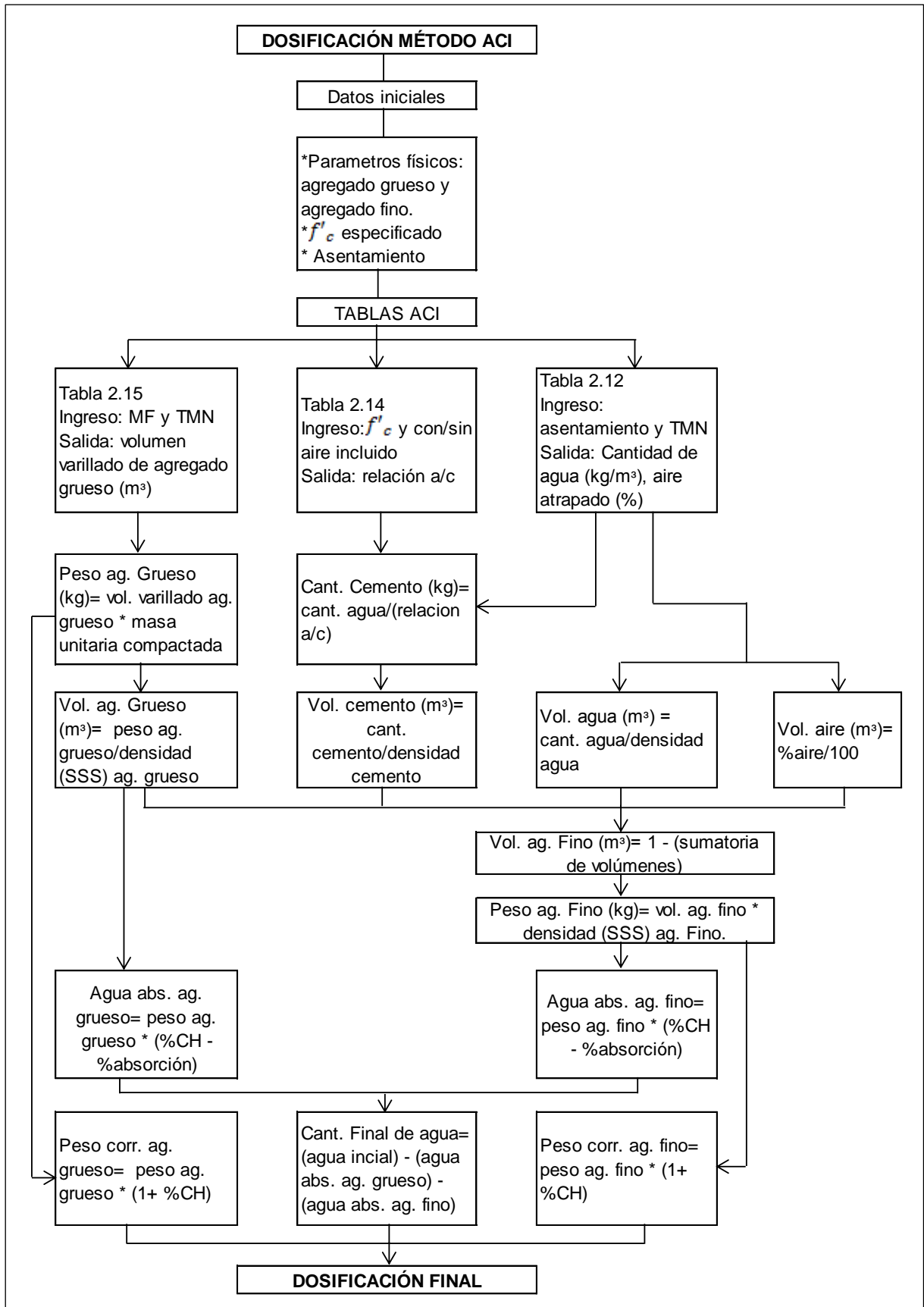


Figura 2. 21. Diagrama de flujo del método de dosificación del Instituto Americano del Concreto (ACI)
Fuente: El Autor.
Elaboración: El Autor.

La metodología para la dosificación de mezclas de hormigón a seguirse se detalla a continuación:

1. Asentamiento.

El primer paso contempla la selección del revenimiento. Cuando este no se dispone, el ACI incluye una tabla (2.11) en la que se recomiendan valores de asentamiento de acuerdo con el tipo de construcción que se va a proyectar. El asentamiento es un indicador de trabajabilidad, es decir, es una medida de la facilidad o de la dificultad de colocación, consolidación y acabado del hormigón.

Tabla 2. 11. Revenimientos recomendados para varios tipos de construcción.

Construcción de concreto	Revenimiento mm (pulg)	
	Máximo*	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzado	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)

* Se puede aumentar 25 mm (1 pulg.) para los métodos de consolidación manuales, tales como varillado o picado.

Fuente: (Kosmatka, et al, 2004). Diseño y Control de Mezclas de Concreto.
Elaboración: (Kosmatka, et al, 2004).

2. Resistencia del hormigón.

Se debe establecer la resistencia característica requerida del hormigón (f'_{cr}), de tal manera que los resultados excedan a la resistencia a la compresión especificada (f'_c).

3. Estimación de la cantidad de agua de mezclado y del contenido de aire.

El ACI presenta una tabla de valores recomendados del contenido de agua en función del asentamiento requerido, del tamaño máximo del agregado y con o sin aire incluido. Dependiendo de la textura y forma del agregado los requisitos de agua de mezclado pueden estar por encima o por debajo de los valores dados, como se muestra en la Tabla 2.12 pero estos valores son suficientes para una primera estimación.

Tabla 2. 12. Requisitos aproximados de agua de mezcla y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales del agregado.

Cantidad de agua para los tamaños de agregado indicados*, expresada en kg/m³								
Tamaño del agregado	9,5 mm	12,5 mm	19 mm	25 mm	37,5 mm	50 mm**	75 mm**	150 mm**
Asentamiento mm	Concreto sin aire incorporado							
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, expresado en porcentaje	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
	Concreto con aire incorporado							
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	---
Cantidad aproximada de aire según el nivel de exposición, expresado en porcentaje.								
Exposición leve	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1
Exposición moderada	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
* Estas cantidades de agua de mezcla se utilizan en el cálculo de los contenidos de cementos en las mezclas de prueba. Estas cantidades son máximas para agregados gruesos razonablemente angulares con granulometría dentro de los límites de las especificaciones.								
** El revenimiento (asentamiento) del hormigón conteniendo agregados mayores 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: (Kosmatka, et al, 2004). Diseño y Control de Mezclas de Concreto.

Elaboración: (Kosmatka, et al, 2004).

Los niveles de exposición que se indican en la Tabla 2.12 se describen a continuación:

- Exposición leve.- se incluye aire para dar un efecto benéfico (que no sea la durabilidad) por ejemplo, mejorar la trabajabilidad o cohesión en el hormigón con un bajo contenido de cemento para mejorar la resistencia.
- Exposición moderada.- cuando la estructura está situada en un clima donde se espera congelación. El hormigón no estará continuamente expuesto a humedad o agua libre por períodos largos antes de la congelación y no estará expuesto a agentes descongelantes u otros productos químicos agresivos.

- Exposición severa.- hormigón que está expuesto a productos químicos descongelantes u otros agentes agresivos o donde el hormigón pueda llegar a estar altamente saturado por el contacto continuo con humedad o agua libre antes de congelarse.

4. Relación agua/cemento.

Debe seleccionarse de acuerdo a las exigencias de resistencia media requerida a la compresión (f'_{cr}) y de las condiciones de exposición ambiental, dado que la calidad del hormigón de una estructura depende, no solamente de su resistencia a los esfuerzos de compresión y corte, sino también de su "durabilidad" o resistencia a la acción de agentes atmosféricos y otros agentes agresivos.

Para cuidar el hormigón de los agentes atmosféricos u otros requerimientos, frecuentemente se incluye entre las condiciones de diseño, un "factor de cemento" mínimo, es decir una cantidad mínima de cemento por cada metro cúbico de hormigón. Se sabe que la resistencia y durabilidad de un hormigón dependen de muchos factores, tales como la forma de mezclar, la forma de colocar en obra, la compactación, la temperatura, el tiempo de curado, la calidad de los ingredientes, etc. Si todas estas variables están adecuadamente controladas, las características de resistencia y durabilidad dependen, casi exclusivamente, de la calidad de la pasta agua/cemento.

La Tabla 2.13 indica cuál debe ser la relación agua/cemento máxima permisible para diferentes condiciones de exposición y tipos de obras. En muchos casos, esta exigencia prevalecerá sobre la exigencia de la resistencia a la compresión.

Tabla 2. 13. Relación agua/cemento máxima para condiciones de exposición.

Condición de exposición	Relación agua/cemento máxima por masa de concreto.
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)
Concreto que se pretende que tenga baja permeabilidad cuando sea expuesto al agua.	0,50
Concreto expuesto a congelación – deshielo en la condición húmeda y descongelantes.	0,45
Para protección contra la corrosión del refuerzo (armadura) del concreto expuesto a cloruro de las sales descongelantes, agua salobre, agua del mar o rociado de estas fuentes.	0,40

Fuente: (Kosmatka, et al, 2004). Diseño y Control de Mezclas de Concreto.
Elaboración: (Kosmatka, et al, 2004).

El ACI además proporciona una tabla con los valores de la relación agua/cemento de acuerdo con la resistencia a la compresión que se requiera a los 28 días.

Tabla 2. 14. Dependencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a compresión del concreto.

Resistencia a compresión a los 28 días		Relación agua/cemento en masa	
kgf/cm ²	MPa	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: (Kosmatka, et al, 2004). Diseño y Control de Mezclas de Concreto.
Elaboración: (Kosmatka, et al, 2004).

De estas dos Tablas 2.13 y 2.14, se elige una de acuerdo a los condiciones de la obra a proyectarse, con el fin de obtener la relación agua/cemento para la dosificación del hormigón.

5. Contenido de cemento.

La cantidad de cemento por unidad de volumen de hormigón está fijada por la división entre el contenido estimado de agua de mezclado y la relación agua/cemento. Si las especificaciones incluyen un límite mínimo de cemento tomando en consideración los requisitos para la resistencia y la durabilidad, en la mezcla se usará el que sea mayor aquí.

6. Estimación de la cantidad de agregado grueso.

El ACI proporciona mediante la Tabla 2.15 el volumen de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón, los valores dependen del tamaño máximo nominal del agregado grueso y el módulo de finura del agregado fino.

El peso seco de agregado grueso requerido para un metro cúbico de hormigón se obtiene del producto entre el volumen de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón y el peso unitario (varillado seco) del agregado.

Tabla 2. 15. Volumen de agregado grueso por volumen unitario de hormigón.

Tamaño máximo nominal del agregado grueso mm (pulg.)	Volumen de agregado grueso varillado (compactado) en seco por volumen unitario de hormigón para diferentes módulos de finura de agregado fino. m ³			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5 (3/8)	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5 (1/2)	0,59	0,57	0,55	0,53
19,0 (3/4)	0,66	0,64	0,62	0,60
25,0 (1)	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5 (1 ½)	0,75	0,73	0,71	0,69
50,0 (2)	0,78	0,76	0,74	0,72
75,0 (3)	0,82	0,80	0,78	0,76
150,0 (6)	0,87	0,85	0,83	0,81

Fuente: (Kosmatka, et al, 2004). Diseño y Control de Mezclas de Concreto.

Elaboración: (Kosmatka, et al, 2004).

7. Estimación del contenido del agregado fino.

En los pasos anteriores se han determinado todos los componentes del hormigón, excepto el agregado fino. La cantidad de este, será lo que falte para completar un metro cúbico de hormigón. Existen dos procedimientos para su determinación: por el método por peso y por el método por volumen absoluto. Éste último es el procedimiento más preciso para calcular la cantidad requerida de agregado fino, el cual implica el uso de volúmenes desplazados por los componentes. En este caso, el volumen total desplazado por los componentes (agua, aire, cemento y agregado grueso) se substraen del volumen unitario de hormigón para obtener el volumen requerido de agregado fino. El volumen ocupado en el hormigón por cualquier ingrediente es igual a su peso dividido por su densidad (densidad = peso unitario del agua x gravedad específica del material).

8. Ajustes por Humedad del Agregado.

En la elaboración del hormigón se debe considerar la humedad de los agregados. Cuando los agregados están húmedos, su peso seco debe ser incrementado en el porcentaje de agua, absorbida y superficial que contengan.

Una vez que se obtiene los contenidos de humedad de los agregados, expresado en porcentaje (%), se procede a realizar las correcciones por humedad, tanto para los agregados como en el agua de mezclado.

- Correcciones en el peso de los agregados:

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

Ecuación (28)

$$\text{Agregado fino} = \text{Peso (arena)} * (1 + \%CH) \quad \text{Ecuación (29)}$$

Correcciones en el peso del agua de mezclado:

El agua absorbida por los agregados no se convierte en parte del agua de mezclado y no debe considerarse en los ajustes, por lo tanto solo se considera el agua superficial que será el porcentaje de humedad menos el porcentaje de agua absorbida. Por lo tanto el agua a añadirse a la mezcla será:

$$\begin{aligned} \text{Agua final} = \text{Agua calculada} - (\text{Peso grava} \\ * (\%CH - \%absorción)) - (\text{Peso arena} * (\%CH \\ - \%absorción)) \end{aligned} \quad \text{Ecuación (30)}$$

2.14.2. Elaboración y toma de muestras de los especímenes.

La elaboración de la mezcla de hormigón, se realiza de acuerdo a la norma NTE INEN 1576, en la cual indica el procedimiento para la realización de las mezclas:

1. Se prepara la concretera humedeciéndola antes de cargar los materiales.
2. Se agrega una tercera parte del agua
3. Se carga el agregado grueso
4. Se carga el agregado fino
5. Se agrega otra tercera parte del agua.
6. Se agrega el cemento.
7. Finalmente se agrega el agua restante

Una vez cargados todos los componentes se deja amasar durante dos minutos hasta obtener una muestra homogénea, controlando que no quede material adherido en las paredes ni en el fondo de la mezcladora. Luego se debe realizar la medición del asentamiento de la mezcla.

La fabricación de los especímenes se realiza conforme a lo dispuesto en la norma NTE INEN 1576, la cual establece el procedimiento para el moldeo y curado de cilindros y vigas.

- ❖ Los equipos esenciales para moldear los especímenes son los siguientes:
 - **Moldes:** deben ser elaborados de acero, hierro fundido u otro material no absorbente y que no reaccionen con el cemento. Además deberán ser impermeables al agua y lo suficientemente fuertes y rígidos para evitar que se rompan o se deformen durante su uso. Los moldes reutilizables deben ser cubiertos ligeramente en su interior con aceite mineral o con un material desmoldante no reactivo, antes de su uso.

- **Varilla de compactación:** varilla de acero, recta, lisa y de sección circular, con un diámetro 16 mm, de 600 mm de longitud y debe tener el borde de compactación o ambos extremos redondeados, con una punta semiesférica del mismo diámetro de la varilla.
 - **Mazo:** se debe utilizar un mazo con cabeza de caucho o cuero no tratado, con un peso de 0,6 kg ± 0,2 kg.
 - **Herramientas adicionales:** recipiente para toma de muestras que sea no absorbente con capacidad para permitir una fácil remezcla de toda la muestra, herramienta para colocación como cucharón, y herramienta para terminado que puede ser una llana o una paleta.
- ❖ La fabricación de los cilindros, se efectúa de la siguiente manera:
- a) El hormigón se vacía en el molde en tres capas de aproximadamente igual altura.
 - b) Se compacta cada capa de mezcla colocada en el molde aplicando 25 golpes con la varilla distribuidos uniformemente en toda la sección transversal del molde. La capa del fondo debe compactarse en toda su profundidad, al compactar las capas superior e intermedia la varilla debe penetrar aproximadamente 25 mm en la capa inmediatamente inferior.
 - c) Luego de que cada capa ha sido compactada, golpear las paredes exteriores del molde de 10 a 15 veces, esto se realiza con el propósito de cerrar cualquier agujero dejado por la varilla y eliminar cualquier burbuja de aire que hubiere sido atrapada.
 - d) Se retira el exceso de hormigón que tenga el molde y se enrasa la superficie.

2.14.3. Curado de especímenes de hormigón.

Luego de fabricar los cilindros, se recomienda el curado empleando agua según lo indica la norma correspondiente.

2.3.1 Propiedades mecánicas en especímenes finales de hormigón.

Las probetas cilíndricas se ensayan a los 28 días de edad.

2.3.1.1 Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas.

Se determina la resistencia a compresión de acuerdo a la norma NTE INEN 1573:2010. Se debe realizar el ensayo a compresión de los cilindros en estado húmedo; es decir, tan pronto como sea posible después de extraerlos del tanque de almacenamiento de curado.

Antes de realizar el ensayo las caras del cilindro no deben variar en más de 0,05 mm, si lo hacen, estas deben ser tratadas para obtener planicidad y paralelismo de las caras. En este caso se utiliza almohadillas no adherentes de neopreno para lograr una superficie plana.

El procedimiento usado para el ensayo a compresión de los cilindros es:

1. Extraer los cilindros, registrar el diámetro, peso y altura de cada uno.
2. Se ubica el cilindro en los platos de acero que provee la máquina de ensayo, las superficies de apoyo de la máquina deben ser planas y estar limpias. Se centra el cilindro con respecto al bloque de carga esférico de la máquina de ensayo.
3. Antes de aplicar la carga se debe verificar que el indicador de carga esté ajustado en cero, si no lo está se debe ajustar llevando el bloque de carga esférico hasta que se apoye sobre el espécimen.
4. La carga debe ser aplicada de forma continua y sin impactos, a una velocidad constante de $0,25 \pm 0,05$ MPa/s. El ensayo termina hasta que se produzca la rotura, donde se registra la carga máxima soportada por la probeta y el tipo de modelo de fractura.

2.15. Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados

Se obtuvieron muestras representativas de ambas ciudades (Loja y Bahía de Caráquez) de acuerdo a la norma NTE INEN 695:2010 donde se señalan las precauciones para conseguir muestras que reflejen la naturaleza y condición de los materiales que representan.

Las propiedades de los agregados que se estudiaron son:

2.15.1. Análisis granulométrico.

El análisis granulométrico según norma NTE INEN 696, consiste en dividir una muestra de una masa de agregados en fracciones de igual tamaño de partículas.

Se consigue cribando (manual o mecánicamente) una cantidad de material a través de tamices normalizados ordenados en forma descendente por la dimensión de su abertura cuadrada, de manera que se pueda establecer la distribución porcentual en masa de los tamaños de las partículas.

La columna de tamices que se utiliza es;

- Agregado grueso: 2", 1½", 1", ¾", ½", ⅜", No. 4.
- Agregado fino: No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50, No. 100.

El porcentaje de árido retenido en cada tamiz, en base a la masa total de la muestra de ensayo, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$P = \frac{B}{A} * 100 \quad \text{Ecuación (31)}$$

Donde:

P = Porcentaje del árido retenido en un determinado tamiz, %.

A = Masa de la muestra de ensayo secada al horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ y/o enfriada al ambiente, kg.

B = Masa de la cantidad de material retenida en un determinado tamiz, kg.

Los valores de las fracciones granulométricas se grafican para visualizar la distribución de tamaños (grueso o fino). La curva granulométrica representa sobre el eje de las abscisas, las aberturas de los tamices en escala logarítmica; y sobre el eje de las ordenadas, los porcentajes en peso que pasa por cada tamiz en escala aritmética.

Del análisis granulométrico de un agregado se extraen distintos factores de importancia al momento de la dosificación de la mezcla de hormigón, los cuales son:

- **Módulo de finura (MF):** Se determina para los agregados fino y grueso, sumando los porcentajes retenidos acumulados de la masa de cada tamiz de la serie especificada y dividiendo esta suma entre 100. El agregado fino debe tener un módulo de finura de 2.30 hasta 3.10 para evitar segregación del agregado grueso cuando la arena es muy fina; mientras que, cuando la arena es muy gruesa se obtienen mezclas no operables (Kosmatka, et al, 2004).
- **Tamaño máximo TM:** Definido como el menor tamiz por el cual debe pasar toda la muestra de agregado grueso.
- **Tamaño máximo nominal (TMN):** Es el menor tamiz por el cual debe pasar la mayor parte de la muestra del agregado grueso; por tal razón, puede retener desde un 5 % al 15 % de la masa de la muestra ensayada.

2.15.2. Densidad, densidad relativa y capacidad de absorción.

La densidad es la masa de las partículas por unidad de volumen. El agua tiene generalmente una densidad de 1000 kg/m^3 , aunque su valor suele variar según la norma con la que se realiza el ensayo.

En cambio, la densidad relativa (gravedad específica) se define como la relación entre la densidad de un material y la densidad del agua a una temperatura de 23°C . Según la condición en que se encuentre el agregado, con respecto a su humedad, se derivan tres tipos de densidades relativas como son:

1. Densidad relativa seca al horno (DRSH): Relación de la densidad seca al horno (SH) del agregado con la densidad del agua a una temperatura de 23°C .

2. Densidad relativa saturada superficialmente seca (DRSSS): Relación de la densidad saturada superficialmente seca (SSS) del agregado con la densidad del agua a una temperatura de 23 °C.
3. Densidad relativa aparente (DRA): Relación de la densidad aparente de agregado con la densidad del agua a una temperatura de 23 °C.

La densidad relativa es la característica que se utiliza generalmente en el diseño de mezclas de concreto con el fin de obtener el volumen ocupado por el agregado en el hormigón. La densidad relativa (DRSSS) se utiliza si el árido ha alcanzado su absorción; por el contrario, la densidad relativa (DRSH) se utiliza cuando el árido está seco. La mayoría de agregados normales poseen una densidad relativa con un rango de 2.40 a 2.90, que representan una densidad desde 2400 a 2900 kg/m³.

La capacidad de absorción es el incremento en la masa del agregado debido al agua que está presente en sus poros, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior del agregado, expresado como un porcentaje de la masa seca.

2.15.3. Densidad, densidad relativa y capacidad de absorción para el agregado grueso.

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:

$$\mathbf{DRSH} = \frac{A}{B - C} \quad \text{Ecuación (33)}$$

$$\mathbf{DRSSS} = \frac{B}{B - C} \quad \text{Ecuación (34)}$$

$$\mathbf{DRA} = \frac{A}{A - C} \quad \text{Ecuación (35)}$$

$$\mathbf{Absorción (\%)} = \frac{B - A}{A} * 100 \quad \text{Ecuación (36)}$$

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.

2.15.4. Densidad, densidad relativa y capacidad de absorción para el agregado fino.

Para el agregado fino, se determinó la densidad y el contenido de absorción de agua según el proceso y ecuaciones indicados en la norma NTE INEN 856.

$$\mathbf{DRSH} = \frac{A}{B + S - C} \quad \text{Ecuación (37)}$$

$$\mathbf{DRSSS} = \frac{S}{B + S - C} \quad \text{Ecuación (38)}$$

$$\mathbf{DRA} = \frac{A}{B + A - C} \quad \text{Ecuación (39)}$$

$$\mathbf{Absorción(\%)} = \frac{S - A}{A} * 100 \quad \text{Ecuación (40)}$$

Donde:

A = Masa de la muestra seca al horno, g.

B = Masa del picnómetro lleno con agua hasta la marca de calibración, g.

C = Masa picnómetro lleno con muestra + agua hasta la marca de calibración, g.

S = Masa de la muestra saturada-superficialmente-seca, valor constante e igual a 500 g.

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

La masa unitaria (peso volumétrico), es la necesaria para llenar un recipiente con un volumen unitario especificado. En la masa unitaria, además del volumen ocupado por los agregados, se debe tener en cuenta los vacíos que existen entre las partículas de agregado.

Puede establecerse de forma compactada o suelta. Para la dosificación de una mezcla se necesita el valor de la masa unitaria compactada; mientras que, la suelta sirve para estimar la cantidad de material de un agregado para adquirirlo, siempre y cuando, el agregado se venda por volumen suelto. Los valores de masa unitaria de un agregado en la mezcla hormigón varían de 1200 a 1750 kg/m³, resultando mayor el valor de la masa unitaria compactada con respecto a la masa unitaria suelta.

Para determinar la masa unitaria de los agregados, se emplea la norma NTE INEN 858. El ensayo se fundamenta en llenar un recipiente, para luego determinar la masa unitaria como el cociente entre la masa de agregado contenido en el recipiente y el volumen de dicho recipiente.

Según la norma, existen tres procedimientos para la consolidación del agregado en el recipiente dependiendo del tamaño máximo de las partículas que conforman el agregado. Estos procesos son:

- Procedimiento por paladas para determinar la masa unitaria suelta: consiste en dejar caer el material libremente desde una altura no superior a 50 mm por encima de la parte superior del recipiente.
- Procedimiento por varillado para determinar la masa unitaria compactada: se aplica en agregados que presenten un tamaño máximo nominal de 37,5 mm o menor y consiste en llenar el recipiente con el material en tres capas compactando cada una de ellas con 25 varilladas.
- Procedimiento por sacudidas para establecer la masa unitaria compactada: se emplea en agregados que presenten un tamaño máximo nominal superior a 37,5 mm y que no excedan de 125 mm; éste procedimiento consiste en llenar el recipiente con el material en tres capas, en donde cada capa se debe compactar levantando el recipiente unos 50 mm sobre la base y dejándolo caer 50 veces de manera que se produzca un golpe seco y fuerte.

Para calcular la masa unitaria por cualquiera del procedimiento escogido según las condiciones que se presenten, se utiliza la siguiente ecuación:

$$M = \frac{(G - T)}{V} \quad \text{Ecuación (41)}$$

Donde:

M = masa unitaria (peso volumétrico) del agregado, kg/m³.

G = masa del agregado más el molde, kg.

T = masa del molde, kg.

V = volumen del molde, m³.

2.15.6. Resistencia a la abrasión o al desgaste del agregado grueso.

Es una de las propiedades físicas de mayor importancia al momento de diseñar una mezcla de hormigón y depende de las características que presente el agregado. Se usa generalmente como un indicador de calidad de los agregados ya que proporciona información acerca de la durabilidad y resistencia de éstos. Esta propiedad es esencial cuando los agregados van a ser utilizados en hormigón sujeto al desgaste o al roce continuo como es el caso de pisos o pavimentos.

Para determinar la resistencia a la abrasión, se usa la norma NTE INEN 860. Se coloca una cantidad especificada de agregado de gradación normalizada y una carga abrasiva (esferas de acero) dentro de un tambor cilíndrico de acero conocido como Máquina de los Ángeles y se aplica un número determinado de revoluciones, de manera que se produzca el choque

entre el agregado y las bolas de acero. El choque continuo de las partículas de agregado con la carga abrasiva permitirá evaluar la resistencia a la abrasión por medio de la diferencia entre la masa inicial de la muestra seca y la masa del material desgastado expresándolo como porcentaje.

La masa requerida de agregado a utilizarse en el ensayo y que debe presentar una gradación normalizada, se indica en la Tabla 2.16.

Tabla 2.16. Gradación de la muestra de ensayo.

Tamaño de las aberturas de tamiz (mm) (aberturas cuadradas)		Masa por tamaños indicada (g)			
		Tipo de Gradación			
Pasante de	Retenido en	A	B	C	D
37,50	25,00	1250 ± 25	-----	-----	-----
25,00	19,00	1250 ± 25	-----	-----	-----
19,00	12,50	1250 ± 10	2500 ± 10	-----	-----
12,50	9,50	1250 ± 10	2500 ± 10	-----	-----
9,50	6,30	-----	-----	2500 ± 10	-----
6,30	4,75	-----	-----	2500 ± 10	-----
4,75	2,36	-----	-----	-----	5000 ± 10
TOTAL=		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Fuente: Norma NTE INEN 860:2011.

Elaboración: Norma NTE INEN 860:2011.

De igual manera la masa de carga abrasiva que consiste en esferas de acero se debe seleccionar en función al tipo de gradación granulométrica del agregado utilizado, como se muestra en la Tabla 2.17.

Tabla 2.17. Carga abrasiva en función de la gradación del agregado.

Tipo de Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	(5000 ± 25)
B	11	(4584 ± 25)
C	8	(3330 ± 20)
D	6	(2500 ± 15)

Fuente: Norma NTE INEN 860:2011 Primera Revisión.

Elaboración: Norma NTE INEN 860:2011

Además en el ensayo se debe tomar en cuenta que:

- El peso de las esferas entre 390 y 445 gramos.
- El diámetro de las esferas es de $1 \frac{27}{32}$ pulgadas.
- El número de revoluciones a que debe girar la Máquina de los Ángeles es de 500.
- La velocidad a que debe girar la máquina esta entre 30 a 33 r.p.m.

El desgaste o valor de la abrasión experimentado por la muestra del agregado grueso se calcula con el uso de la ecuación:

$$D(\%) = \frac{B - C}{B} \times 100 \quad \text{Ecuación (42)}$$

Donde:

D = Valor relativo de degradación, expresado en %.

B = Masa inicial de la muestra de ensayo, g.

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

2.15.7. Contenido de humedad en los agregados.

La estructura interna de una partícula de agregado está conformada por materia sólida y por poros, los cuales pueden o no estar llenos de agua, dado que los agregados poseen un determinado grado de humedad.

La determinación del contenido de humedad de un agregado sirve para controlar el agua total de una mezcla y para establecer las cantidades adecuadas de los materiales que integran la mezcla de hormigón.

Los estados de humedad que pueden presentar los agregados se muestran en la Figura 2.22 y se las puede definir como:

- **Secado al horno:** ningún poro con agua, totalmente absorbente.
- **Secado al aire:** la superficie de las partículas está seca, pero su interior contiene humedad, por lo tanto, aún es ligeramente absorbente.
- **Saturado con superficie seca:** No absorben ni ceden agua al hormigón.
- **Húmedos:** Contiene un exceso de agua sobre la superficie.

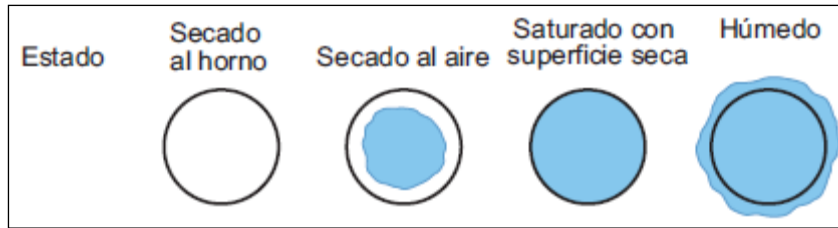


Figura 2.22. Estados de humedad de los agregados.

Fuente: (Kosmatka, et al, 2004). Diseño y Control de Mezclas de Concreto.

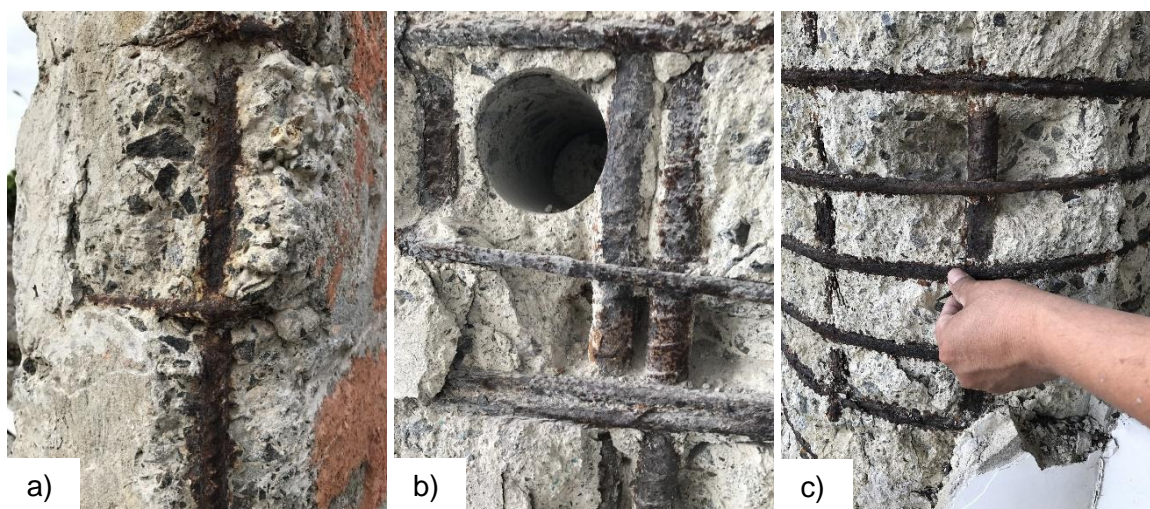
Elaboración: (Kosmatka, et al, 2004).

Para establecer el porcentaje de contenido de humedad de los agregados se usa la norma NTE INEN 862, que consiste en someter una muestra de agregado normalizada a un proceso de secado en horno hasta eliminar la humedad tanto superficial como la retenido en los poros, con fin de comparar su masa antes y después de dicho proceso.

CAPÍTULO III: MATERIALES UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN

3.1. Selección del acero

El acero se obtiene de los edificios Albatros y Vista Azul de diez y cinco niveles respectivamente, ubicados en la zona de estudio. Las muestras tomadas que se encontraban con oxidación considerable. La Fotografía 3.1 muestra los estados de oxidación del acero, granulometrías, diámetros y armaduras.



Fotografía 3. 1. a) Edificio Vista azul, - b),c) Edificio Albatros

Fuente: El Autor.

Elaboración: El Autor.

La Fotografía a), corresponde a una columna del edificio Vista Azul de la parte exterior derecha de la fachada principal (planta baja), se tomaron testigos (varillas de 10 y 12 mm de diámetro), de vigas y columnas de la edificación.

La fotografía b) y c) corresponde al edificio Albatros del se extrajeron varillas de 10,12, y 14 mm de diámetro de la 2^{da}, 3^{ra}, y 7^{ma} planta (parte interna del edificio).

3.2. Selección de agregados

Se elige agregados procedentes de dos ciudades: Loja y Bahía de Caráquez, los mismos que se someten a la caracterización de sus propiedades físico-químicas y mecánicas para establecer patrones comparativos.

3.2.1. Ciudad de Loja.

Los áridos son procedentes de la cantera Catamayito con código Nro. 7034, ubicada en la Provincia de Loja, cantón Catamayo al nor-este de la ciudad de Loja, río Boquerón Km 3 vía Catamayo – Gonzanamá.

3.2.2. Bahía de Caráquez.

Los materiales que provienen de las Canteras San Isidro y Picoazá.

3.2.2.1. *Cantera San Isidro*

De donde se extrajo el agregado triturado $\frac{3}{4}$ ". En la Figura 3.1 se muestra la ubicación de la cantera (25 km) respecto a la ciudad de Bahía de Caráquez.

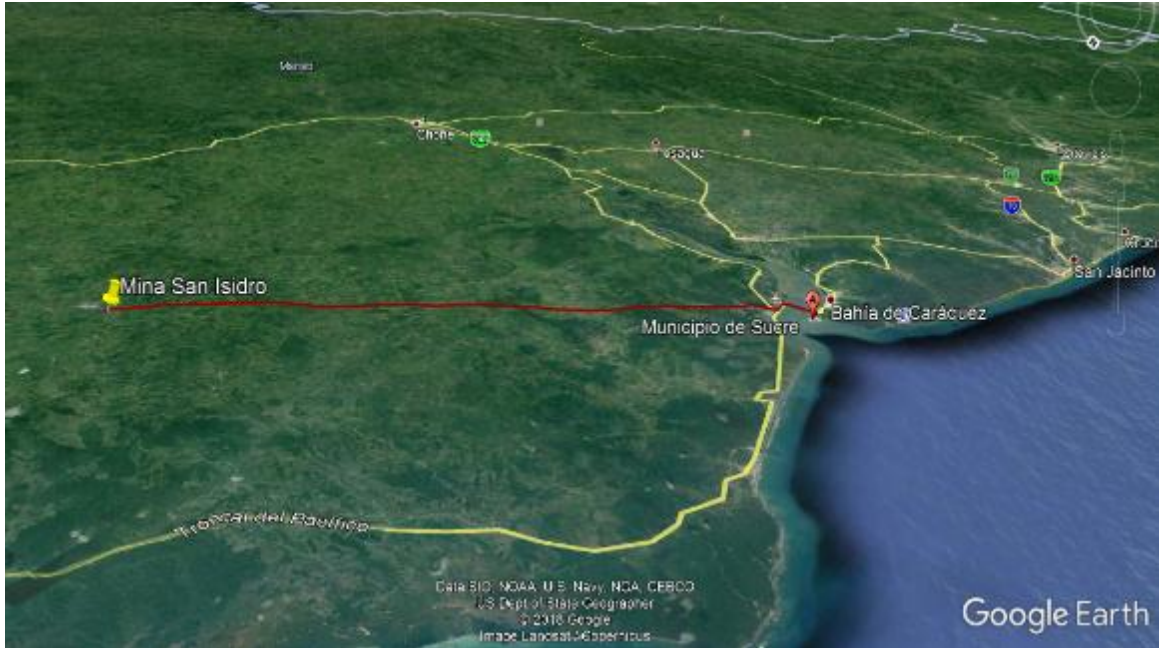


Figura 3. 1. Ubicación cantera San Isidro.

Fuente: Google Earth 2018.

Elaboración: El Autor.

3.2.2.2. *Cantera Picoazá*

Ubicada en la provincia de Manabí, cantón Portoviejo, parroquia Picoazá, a 42 Km de B.C. La localización se muestra en la Figura 3.2. De esta cantera se obtuvo la arena triturada.

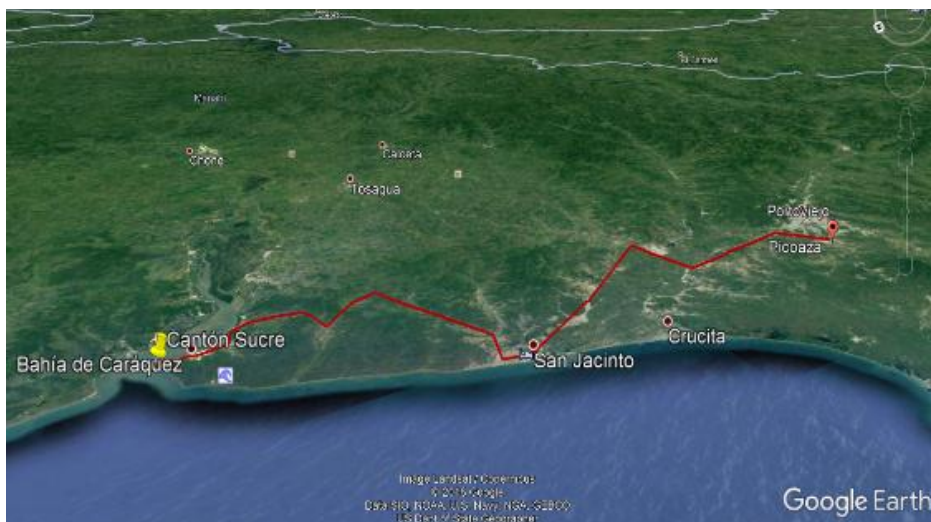


Figura 3. 2. Ubicación cantera Picoazá.

Fuente: Google Earth 2018.

Elaboración: El Autor.

3.3. Selección del cemento

Se utiliza el **Tipo GU** fabricado bajo la norma NTE INEN 2380. El uso de este cemento puede ser en: pavimentos, edificios de concreto armado, puentes, tanques, unidades de mampostería y productos prefabricados.

Tabla 3. 1. Propiedades físicas y químicas de los cementos

PARÁMETRO	VALOR
Apariencia	Polvo gris o verdoso
Olor	No tiene olor notable
Estado físico	Sólido (polvo)
pH (en agua)	12 a 13
Solubilidad en agua	Ligeramente (0,1 a 1,0%)
Tasa de evaporación	No aplicable
Presión de vapor	No aplicable
Densidad de vapor	No aplicable
Punto de ebullición	No aplicable (>1000°C)
Punto de fusión	No aplicable
Gravedad específica (H ₂ O=1,0)	2,95 – 3,10

Fuente: Ficha Técnica de productos emitida por Holcim Ecuador S.A.

Elaboración: El Autor.

La densidad permite determinar el volumen de cemento en la mezcla y se obtiene del producto de la gravedad específica por la densidad del agua.

3.4. Selección del agua

El agua empleada para el proyecto fue tomada de pozo y de la quebrada del Río Canoa, según el proceso normado por NTE INEN 2169.

3.4.1. Agua de pozo

La muestra se recoge de un pozo domiciliario junto a los edificios de estudio. En la figura 3.3 se muestra la ubicación de donde se la obtuvo.



Fotografía 3. 2.Toma de muestra de agua de pozo.

Fuente: El Autor.

Elaboración: El Autor.

3.4.2. Agua de quebrada - Río Canoa

Para la adquisición de agua se contratan tanqueros, que se encargan del recorrido y de colocar el agua en los contenedores que se encuentran ubicados en las obras a construir. La distancia desde el punto de carga a los edificios citados es 23 Km de la zona de estudio. La ubicación del Río Canoa con respecto a la zona de estudio se muestra en la Figura 3.3.



Fotografía 3. 3. Toma de muestra de agua en Río Canoa.

Fuente: El Autor.

Elaboración: El Autor.

La muestra recogida en frasco de vidrio (Fotografía 3.3), se somete a ensayos de laboratorio para determinar los componentes químicos de su estructura molecular para calificar o descartar su uso.

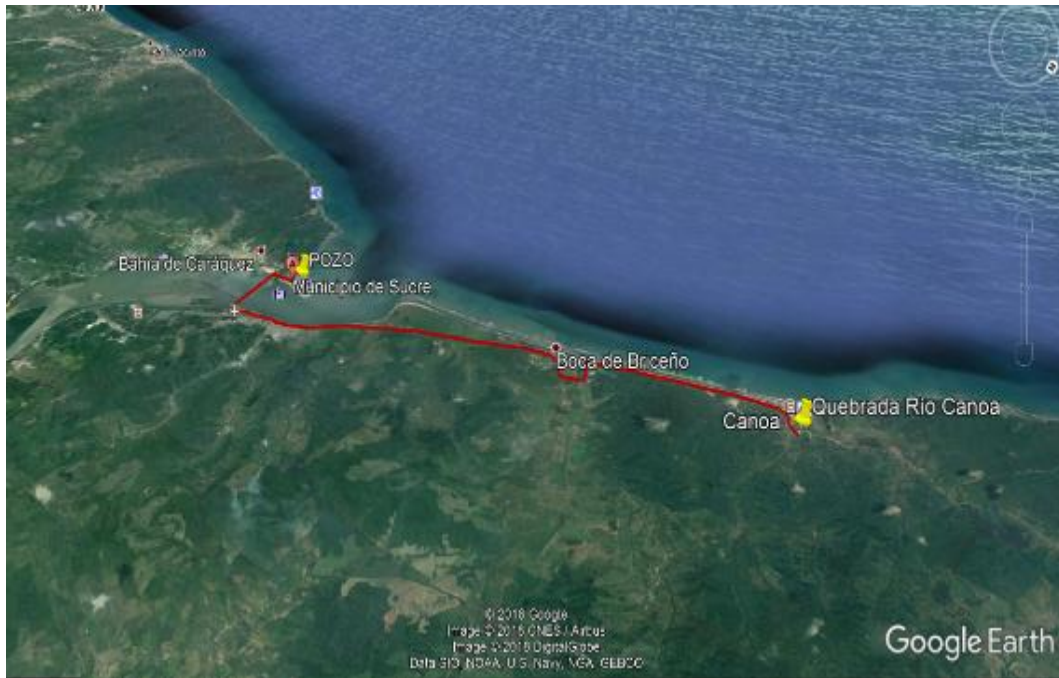


Figura 3. 3. Ubicación Río Canoa y Pozo.
Fuente: Google Earth 2018.
Elaboración: El Autor.

3.5. Selección de la arena de mar

La arena de mar fue adquirida en la playa de la zona de estudio. (Fotografía 3.4.).



Fotografía 3. 4. Arena de mar Playa de Bahía de Caráquez.
Fuente: El Autor.
Elaboración: El Autor.

La mayor parte de la población comenta haber utilizado arena de mar para la construcción de obras civiles por la ausencia de canteras calificadas y por el elevado costo de adquisición de arena triturada.

3.6. Selección del equipo para extraer núcleos

El equipo Husqvarna DMS 180 es un equipo de perforación de núcleo ligero más bomba de vacíos para adherencia.



Fotografía 3. 5. Extractor de núcleos de 4 pulgadas.
Fuente: El Autor.
Elaboración: El Autor.

Los núcleos de hormigón se extraen de las columnas y muros de los edificios Albatros y Vista Azul de diez y cinco niveles respectivamente. (Fotografía 3.6.)



Fotografía 3. 6. Edificio Albatros – Núcleos perfilados para prueba de compresión.
Fuente: El Autor.
Elaboración: El Autor.

3.6.1. Detector de acero de refuerzo.



Fotografía 3. 7. Detector de acero de refuerzo – Mapeo y localización de varillas
Fuente: El Autor.
Elaboración: El Autor.

Para ubicar el refuerzo que existía en las paredes o columnas de las edificaciones, se utiliza un detector de acero (Bosch GMS 120), tal como se indica en la Fotografía 3.7.

3.7. Equipo de esclerometría

Se utilizó el martillo de rebote marca Proceq (Original Schmidt, modelo N), con rango de resistencia a la compresión de 10 a 30 MPa.

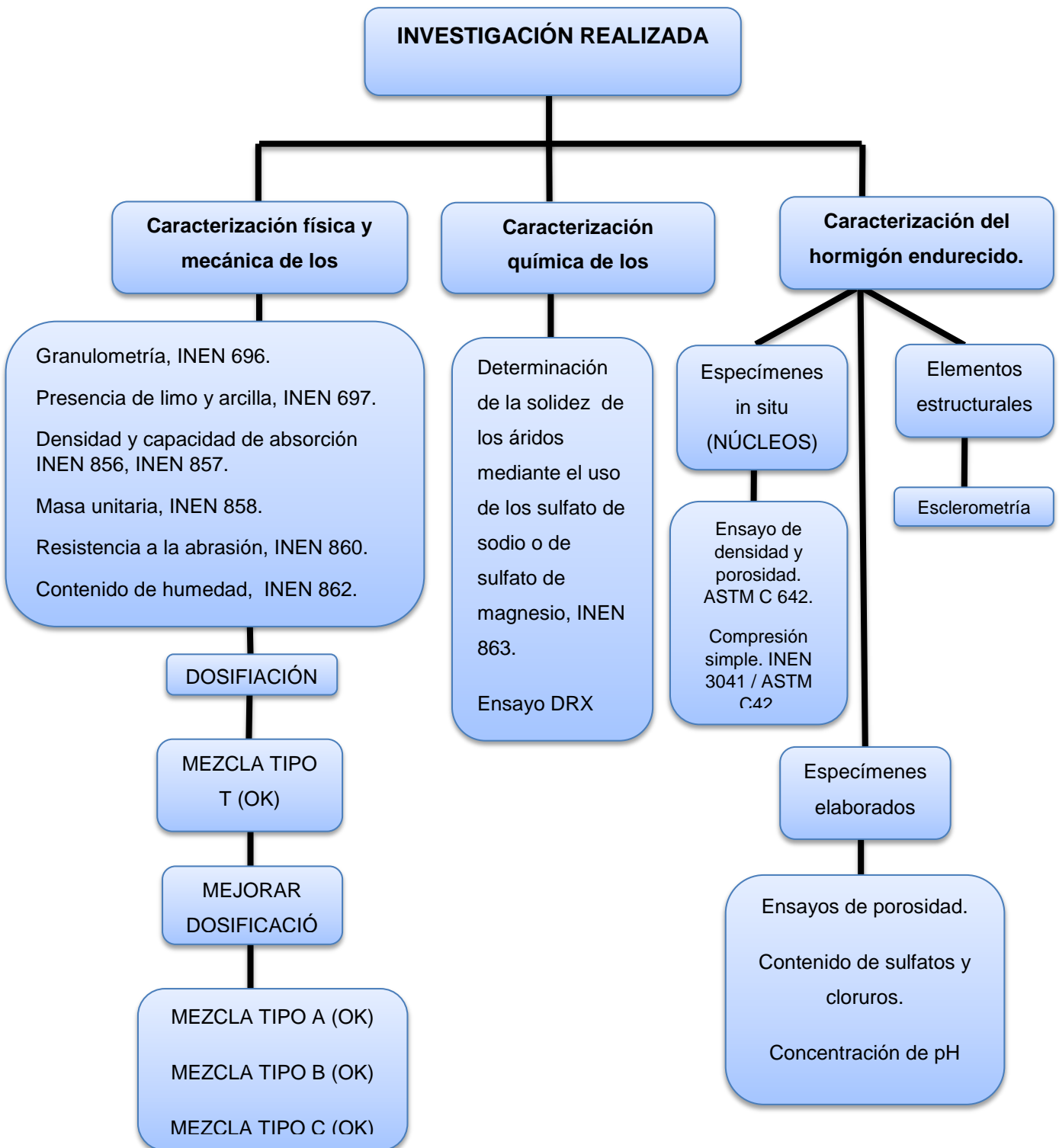


Fotografía 3. 8. Esclerómetro Proceq.
Fuente: El Autor
Elaboración: El Autor.

Se obtuvo datos de resistencia con el esclerómetro en el edificio Albatros de todos los niveles para desarrollar un marco comparativo con las resistencias de los núcleos.

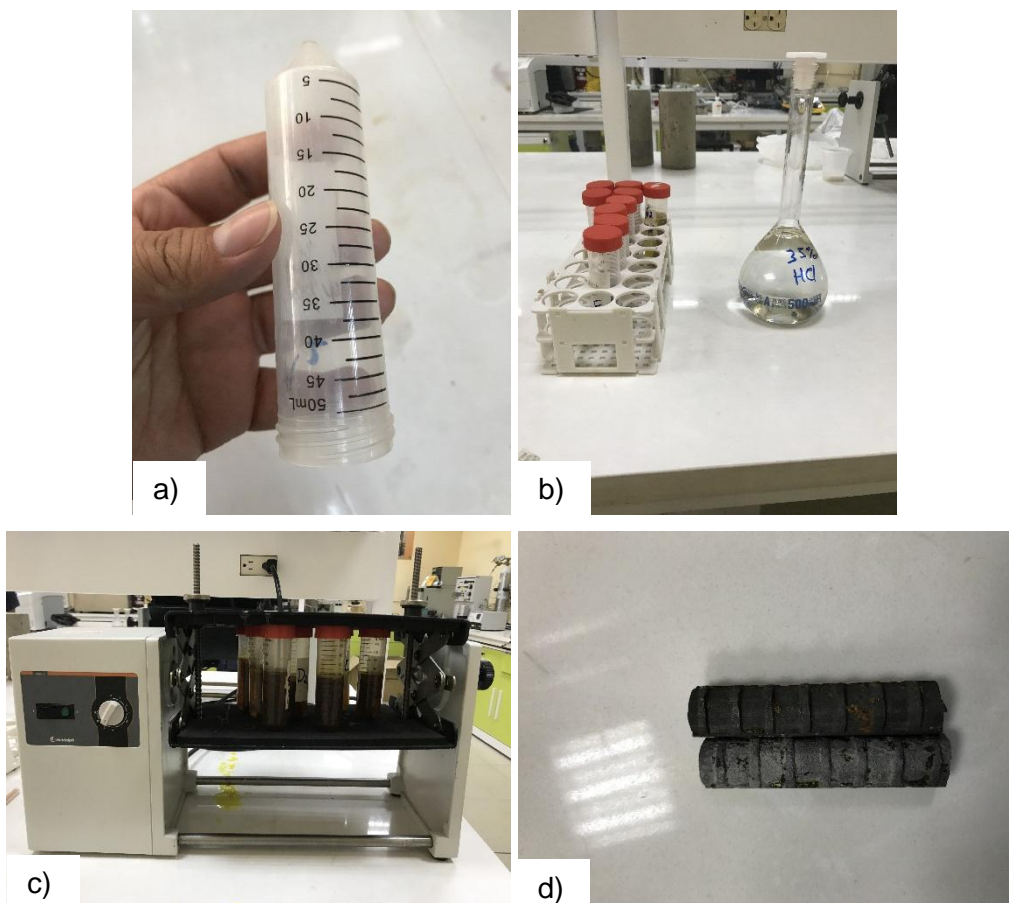
CAPÍTULO IV: INVESTIGACIÓN REALIZADA Y RESULTADOS

4.1. Esquema de la investigación realizada.



4.2. Determinación del porcentaje de corrosión del acero de refuerzo por variación de masa.

Se limpian las varillas a través del método químico directo, utilizando ácido clorhídrico (HCl) en una concentración del 35 %.



Fotografía 4. 1. a) recipiente de 50ml – b) Solución de HCl al 35 % - c) Agitador automático – d) Varillas libres de herrumbre.

Fuente: El Autor.

Elaboración: El Autor.

En la Fotografía 4.1 se detalla el proceso de desoxidación de las muestras, donde primero se toma el peso inicial, su diámetro y longitud, luego cada muestra es colocada en los tubos contenedores conjuntamente con el HCl, para ser agitadas mecánicamente por un tiempo promedio de 5 minutos, por último se toma el peso final de las muestras. Se realiza las operaciones descritas por la norma NTE INEN 2167 para determinar la masa por metro requerido y determinar porcentaje de corrosión.

Tabla 4. 1. Evaluación de la corrosión del acero de refuerzo en varillas de 10mm.

VARILLAS		CORROSIÓN		NORMA NTE INEN 2167			EVALUACIÓN	
Código	Longitud (cm)	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	Diámetro de la varilla (mm)	Masa Nominal (kg/m)	Masa Requerida (g)	Pérdida (g)	Porcentaje de Corrosión (%)
		A	B			D	E=D-B	
A1	6.18	17.15	16.63	10	0.617	38.1	21.47	56
A2	6.55	12.75	12.09	10	0.617	40.38	28.29	70
B1	6.3	3.49	3.24	10	0.617	38.84	35.60	92
B2	5.93	12.20	11.62	10	0.617	36.56	24.94	68
C1	6.35	12.59	12.16	10	0.617	39.15	26.99	69
C2	6.1	13.73	13.08	10	0.617	37.61	24.53	65
D1	3.78	21.13	20.41	10	0.617	23.31	2.90	12
D2	4.6	26.87	25.22	10	0.617	28.36	3.14	11
E1	5.1	28.43	27.77	10	0.617	31.44	3.67	12
E2	4.7	26.83	25.81	10	0.617	28.98	3.17	11
F1	4.8	27.60	26.78	10	0.617	29.59	2.81	9
F2	5.2	29.98	28.68	10	0.617	32.06	3.38	11
G1	6.2	16.41	15.86	10	0.617	38.23	22.37	59
G2	6.8	19.77	18.80	10	0.617	41.92	23.12	55
H1	6.75	19.23	18.59	10	0.617	41.62	23.03	55
H2	6.2	18.09	17.36	10	0.617	38.23	20.87	55
I1	6.1	15.76	15.28	10	0.617	37.61	22.33	59
I2	4.75	12.69	12.12	10	0.617	29.29	17.17	59
Promedio (%) Corrosión índice 1:		47 % Edificio Vista Azul						
Promedio (%) Corrosión índice 2:		45 % Edificio Albatros						

Fuente: El Autor.

Elaboración: El Autor.

Tabla 4. 2. Evaluación de la corrosión del acero de refuerzo en varillas de 12mm.

VARILLAS		CORROSIÓN		NORMA NTE INEN 2167			EVALUACIÓN	
Código	Longitud (cm)	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	Diámetro de la varilla (mm)	Masa Nominal (kg/m)	Masa Requerida (g)	Pérdida (g)	Porcentaje de Corrosión (%)
		A	B			D	E=D-B	
A1	6.01	35.90	35.60	12	0.888	53.36	17.76	33
A2	6.3	15.94	15.30	12	0.888	55.93	40.63	73
B1	5	17.84	17.30	12	0.888	44.39	27.09	61
B2	5.5	41.88	41.75	12	0.888	48.83	7.08	14
C1	6.3	35.92	35.60	12	0.888	55.93	20.33	36
C2	6	13.04	12.36	12	0.888	53.27	40.91	77
D1	3.8	29.50	29.39	12	0.888	33.74	4.35	13
D2	4.5	36.40	36.32	12	0.888	39.95	3.63	9
E1	5.1	40.09	39.99	12	0.888	45.28	5.29	12
E2	4.7	37.26	37.17	12	0.888	41.73	4.56	11
F1	4.8	38.65	38.56	12	0.888	42.62	4.06	10
F2	4.8	41.33	41.30	12	0.888	42.62	1.32	3
G1	5.93	19.17	18.60	12	0.888	52.65	34.05	65
G2	6.35	35.93	35.60	12	0.888	56.38	20.78	37
H1	6.5	19.89	19.30	12	0.888	57.71	38.41	67
H2	6	37.17	36.90	12	0.888	53.27	16.37	31
I1	5.8	28.28	27.87	12	0.888	51.49	23.62	46
I2	4.78	38.28	38.20	12	0.888	42.44	4.24	10
Promedio (%) Corrosión índice 1:		38 %		Edificio Vista Azul				
Promedio (%) Corrosión índice 2:		29 %		Edificio Albatros				

Fuente: El Autor.

Elaboración: El Autor.

Tabla 4. 3. Evaluación de la corrosión del acero de refuerzo en varillas de 14mm.

VARILLAS		CORROSIÓN		NORMA NTE INEN 2167			EVALUACIÓN	
Código	Longitud (cm)	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	Diámetro de la varilla (mm)	Masa Nominal (kg/m)	Masa Requerida (g)	Pérdida (g)	Porcentaje de Corrosión (%)
		A	B			D	E=D-B	
A2	4.5	16.17	15.30	14	1.208	54.38	39.08	72
B2	5.3	50.56	50.30	14	1.208	64.05	13.75	21
C2	6.3	13.37	12.36	14	1.208	76.13	63.77	84
D2	4.3	45.45	45.30	14	1.208	51.96	6.66	13
E2	4.9	48.19	47.96	14	1.208	59.21	11.25	19
F2	4.63	49.44	49.30	14	1.208	55.95	6.65	12
G2	6.25	62.51	62.30	14	1.208	75.53	13.23	18
H2	6.23	62.51	62.30	14	1.208	75.28	12.98	17
I2	5.21	60.15	60.10	14	1.208	62.96	2.86	5
Promedio (%) Corrosión índice 2:		29 % Edificio Albatros						

Fuente: El Autor.

Elaboración: El Autor.

4.3. Determinación del módulo de finura (MF) y de tamaño máximo nominal (TMN) de los agregados.

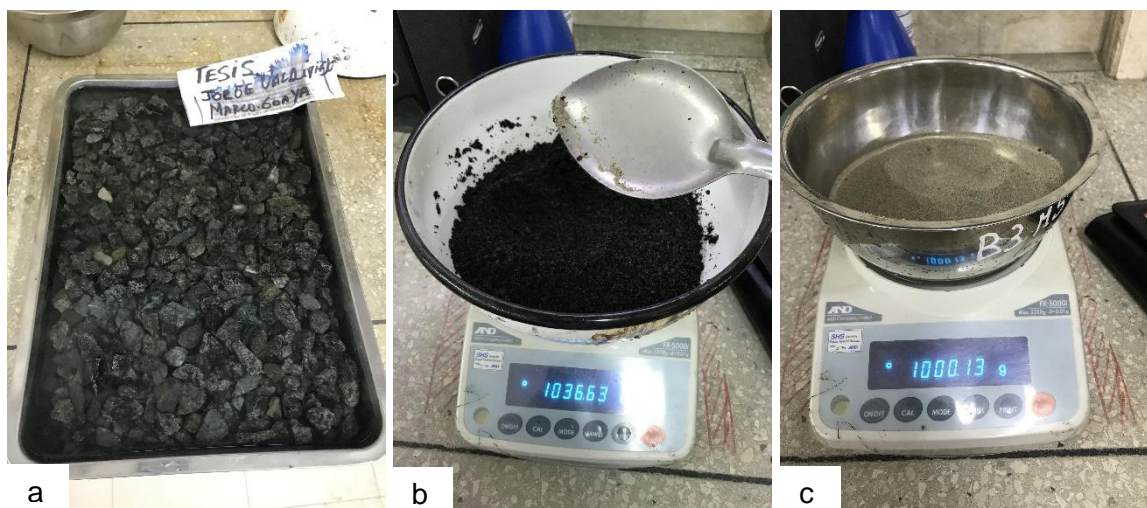
En las Tablas 4.4. y 4.5., se presenta un resumen de los valores obtenidos de módulo de finura (MF) y de tamaño máximo nominal (TMN). Ver ANEXO I. ENSAYOS FÍSICO MECÁNICOS DE LABORATORIO REALIZADOS EN AGREGADOS – DOSIFICACIONES ACI.

Tabla 4. 4. Módulo de finura (MF) del agregado fino.

CANTERA	MÓDULO DE FINURA	DESCRIPCIÓN
BAHÍA DE CARÁQUEZ	0.94	Arena de mar
PICAZÁ	3.35	Arena triturada

Fuente: El Autor.

Elaboración: El Autor.



Fotografía 4. 2. Materiales pétreos a) Triturado ¾” b) arena triturada c) arena de mar
 Fuente: El Autor.
 Elaboración: El Autor.

Tabla 4. 5. Tamaño máximo nominal (TMN) del agregado grueso.

CANTERA	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	DESCRIPCIÓN
SAN ISIDRO	¾”	Grava
CATAMAYITO	¾”	Grava

Fuente: El Autor
 Elaboración: El Autor.

4.4. Determinación del porcentaje de corrosión del acero de refuerzo por variación de masa.

En la Tabla 4.6, se presenta un resumen de los valores obtenidos de densidades y absorción del agregado grueso. Ver ANEXO I. ENSAYOS FÍSICO MECÁNICOS DE LABORATORIO REALIZADOS EN AGREGADOS – DOSIFICACIONES ACI.

Tabla 4. 6. Valores obtenidos de densidades y absorción del agregado grueso.

PARÁMETROS	CANTERA "CATAMAYITO"	CANTERA "SAN ISIDRO"
DRSH:	2.631	2.28
DRSSS:	2.645	1.483
DRA:	2.667	2.25
Absorción (%):	0.52 %	1.33 %
Densidad (SH):	2631.07 kg/m ³	2820 kg/m ³
Densidad (SSS):	2644.66 kg/m ³	2861 kg/m ³
Densidad aparente:	2667.32 kg/m ³	2930 kg/m ³

Fuente: El Autor.

Elaboración: El Autor.

4.5. Determinación de densidades y absorción del agregado fino.

En la Tabla 4.7, se presenta un resumen de los valores obtenidos de densidades y absorción del agregado fino. Ver ANEXO I. ENSAYOS FÍSICO MECÁNICOS DE LABORATORIO REALIZADOS EN AGREGADOS - DOSIFICACIONES ACI.



Fotografía 4. 3. Determinación de la Densidad - NTE INEN 856

Fuente: El Autor.

Elaboración: El Autor.

Tabla 4. 7. Valores obtenidos de densidades y absorción del agregado fino.

PARÁMETRO	CANTERA "CATAMAYITO"	CANTERA "PICOAZÁ"	ARENA DE MAR
DRSH:	2.577	0.469	0.497
DRSSS:	2.612	0.659	0.659
DRA:	2.612	0.961	0.978
Absorción (%):	1.38 %	6.63 %	0.64 %
Densidad (SH):	2570.36 kg/m ³	2360 kg/m ³	2740 kg/m ³
Densidad (SSS):	2605.8 kg/m ³	2522 kg/m ³	2762 kg/m ³
Densidad aparente:	2665.04 kg/m ³	2800 kg/m ³	2790 kg/m ³

Fuente: El Autor.

Elaboración: El Autor.

4.6. Determinación de la masa unitaria suelta y compactada de los agregados.

En la Tabla 4.8, se presenta un resumen de los valores obtenidos de masa unitaria suelta y compactada de los agregados. Ver ANEXO I. ENSAYOS FÍSICO MECÁNICOS DE LABORATORIO REALIZADOS EN AGREGADOS - DOSIFICACIONES ACI.

Tabla 4. 8. Valores de masa unitaria suelta y compactada de los agregados investigados.

CANTERAS	MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) (gr/cm ³)			
	AGREGADO GRUESO		AGREGADO FINO	
	COMPACTADA	SUELTA	COMPACTADA	SUELTA
CATAMAYITO	1.552	1.374	1.688	1.549
SAN ISIDRO	1.693	1.485	-----	-----
PICOAZÁ	-----	-----	1.732	1.517
ARENA DE MAR	-----	-----	1.663	1.481

Fuente: El Autor.

Elaboración: El Autor.

4.7. Determinación de la resistencia a la abrasión del agregado grueso.

En la Tabla 4.9 se presenta un resumen de los valores obtenidos de resistencia a la abrasión del agregado grueso. Ver ANEXO I. ENSAYOS FÍSICO MECÁNICOS DE LABORATORIO REALIZADOS EN AGREGADOS. - DOSIFICACIONES ACI.

Tabla 4. 9. Valores obtenidos de resistencia a la abrasión del agregado grueso.

N° ENSAYO	RESISTENCIA A LA ABRASIÓN	
	CANTERA SAN ISIDRO	CANTERA CATAMAYITO
Ensayo N° 1	34,99	31,87
Ensayo N° 2	35,89	32,38
D (%) =	35,44	32,13

Fuente: El Autor.

Elaboración: El Autor.

De la Tabla 4.9, se aceptan los resultados de las dos muestras ya que son satisfactorios dado que la norma NTE INEN 872 (Áridos para hormigón. Requisitos) establece un valor de desgaste máximo del 50 %.

4.8. Diseño de mezclas de hormigón para probetas de prueba.

Se detalla el procedimiento para la obtención de la dosificación apropiada, por medio del método propuesto por el ACI, que cumpla con los requerimientos de la resistencia especificada.

Las consideraciones generales a tomarse en cuenta en el diseño de mezclas de prueba son:

- **Resistencia a la compresión:** Es de 24 MPa (240 Kgf/cm²).
- **Condiciones de exposición:** Van a ser normales, en consecuencia, para determinar la relación agua/cemento puede usarse la Tabla 2.14.
- **Densidad del cemento:** la densidad del cemento seleccionado es de 3000 kg/m³.

4.8.1. Diseño de mezclas con agregados de la cantera San isidro y Picoazá.

Para el diseño de mezclas se requiere parámetros de los agregados obtenidos de ensayos físico-mecánicos realizados en laboratorio, que se resumen en la Tabla 4.10.

Tabla 4. 10. Resultados de ensayos realizados a los agregados.

Parámetro	Valores		Unidad
	Agregado grueso (San Isidro)	Agregado fino (Picoazá)	
Tamaño máximo nominal	3/4"	-	
Módulo de finura	7.57	3,35	
Densidad (SSS)	2861	2522	kg/m ³
Porcentaje de absorción	1.33	6.63	%
Masa unitaria compactada	1693	1732	kg/m ³

Fuente: El Autor.

Elaboración: El Autor.

El procedimiento para encontrar la dosificación apropiada con el fin de obtener la resistencia de 24 MPa es el siguiente:

1. Se selecciona el valor de asentamiento para el hormigón a diseñarse, mediante la Tabla 2.11. se obtiene un valor de 75 mm como máximo y de 25 mm como mínimo.
2. Se determina la resistencia característica requerida del hormigón (f'_{cr}).

Para un hormigón con una resistencia a la compresión especificada $f'_c = 240$ Kg/cm², se utiliza la siguiente ecuación (ver Tabla 2.4.):

Con lo que se obtiene $f'_{cr} = 324$ Kg/cm².

Ecuación (43)

3. Se determina la cantidad de agua de la mezcla y su contenido de aire por m³ de hormigón (empleando la Tabla 2.12.), usando el tamaño máximo nominal del agregado (19 mm) y el asentamiento seleccionado para la mezcla (75mm).

Agua = 205 kg/m³ de hormigón

Aire incluido = 0 %

4. Se establece la relación agua/cemento mediante la Tabla 2.14. haciendo una interpolación, tomando en consideración la resistencia característica requerida del hormigón (f'_{cr}) calculada en el paso n° 2 y teniendo en cuenta que el hormigón se va a diseñar sin aire incluido.

Resistencia	Relación a/c
350	0,48
324	x
300	0,55

$$\frac{350 - 300}{350 - 324} = \frac{0,48 - 0,55}{0,48 - x}$$

$$x = 0,48 + \frac{0,07 * 24}{50} = 0,51$$

La relación agua/cemento es 0,51.

5. Se calcula la cantidad de cemento por metro cúbico de hormigón:

Relación agua/cemento = 0,51

Agua = 205 kg

$$\text{Cemento} = \frac{\text{Masa de agua}}{\text{Relación agua/cemento}} = \frac{205 \text{ kg}}{0,51}$$

$$\text{Cemento} = 402 \text{ kg}$$

6. Se determina el volumen de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón mediante la Tabla 2.15. realizando una interpolación para valores intermedios, y tomando en consideración el módulo de finura del agregado fino (MF = 3,35) así como el tamaño máximo nominal del agregado grueso (TMN = 3/4").

Módulo de finura Volumen de agregado grueso x m³

3,20 0,58

3,35 **x**

3,40 0,56

$$\frac{3,20 - 3,40}{3,20 - 3,35} = \frac{0,58 - 0,56}{0,58 - x}$$

$$x = 0,58 + \frac{0,02 * 0,15}{0,20} = 0,565$$

De lo cual se obtiene:

$$\text{Volumen de agregado grueso por m}^3 = 0,565$$

Se calcula la masa de agregado grueso (grava):

$$\text{Masa agregado grueso} = \text{Vol agregado grueso} * \text{Masa unitaria compactada}$$

$$\text{Masa agregado grueso} = 0,565 \text{ m}^3 * 1693 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Masa agregado grueso} = 957 \text{ kg}$$

7. Se estima la masa del agregado fino de la siguiente manera:

Material	Masa (kg)	Densidad (kg/m ³)	Volumen (m ³)
Agua	205	1000	0,205
Cemento	402	3150	0,128
Agregado grueso (San Isidro)	957	2861	0,334
Aire	0		
Total=			0,667
Volumen de agregado fino=			0,333

$$\text{Masa agregado fino} = \text{Vol agregado fino} * \text{Densidad (SSS) agregado fino}$$

$$\text{Masa agregado fino} = 0,333 \text{ m}^3 * 2522 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Masa agregado fino} = 840 \text{ kg}$$

8. Se realiza los ajustes en la dosificación determinando el contenido de humedad de los agregados un día antes de realizar la mezcla. Se efectúan las correcciones en los pesos de los agregados y en el peso del agua de mezclado tomando en cuenta lo indicado en la sección 2.11.1.

9. Corrección de arena y grava :

Se tiene una cantidad de arena de $0,333 \text{ m}^3$, por lo tanto para la corrección se toma en cuenta datos de granulometría.

% grava-arena es igual a 6.1 %, y % de arena-grava es igual a 0.75 %, por tanto para la arena corregida tenemos:

$$\text{Arena Corregida} = \text{Vol. arena} \times \left(1 + \frac{\%G - A}{100}\right) - \left(\text{Vol. grava} \times \frac{\%A - G}{100}\right)$$

$$\text{Arena Corregida} = 0,333 \times \left(1 + \frac{6.1}{100}\right) - \left(334 \times \frac{0.75}{100}\right) = \mathbf{0.351}$$

$$\text{Grava Corregida} = \text{Vol. grava} \times \left(1 + \frac{\%A - G}{100}\right) - \left(\text{Vol. arena} \times \frac{\%G - A}{100}\right)$$

$$\text{Grava Corregida} = 334 \times \left(1 + \frac{0.75}{100}\right) - \left(333 \times \frac{6.1}{100}\right) = \mathbf{0.317}$$

10. La dosificación final obtenida por el método del ACI para $f'_c = 24 \text{ MPa}$ es la siguiente:

Tabla 4. 11. Dosificación de prueba con agregados de las canteras San Isidro y Picoazá.

Material	Masa (kg)	Proporción	Volumen (m ³)
Agua	205	0,51	0.205
Cemento	402	1,00	0.128
Agregado fino (Picoazá)	885	2,09	0.351
Agregado grueso (San Isidro)	906	2,38	0.317

Fuente: El Autor.

Elaboración: El Autor.

4.8.1.1. Preparación de las probetas de prueba.

Son de forma cilíndrica, y deben presentar las siguientes características:

1. La longitud debe ser el doble del diámetro.
2. El diámetro del cilindro debe ser por lo menos 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

Los cilindros tienen de diámetro = 100 mm y altura = 200 mm. Estos son recomendados ya que cumplen con las características descritas anteriormente.

Se elaboraron siete (7) probetas de hormigón para cada dosificación. De estas se ensayaron los siete cilindros a los 28 días.

Para estimar las cantidades de material requerido para elaborar el número de probetas, se hizo de la siguiente forma:

$$\text{Volumen hormigón} = \# \text{probetas} * \text{volumen cilindro} = 7 * (\pi * r^2 * h)$$

$$\text{Volumen hormigón} = 7 * (\pi * (0,05 \text{ m})^2 * 0,20 \text{ m}) = 0,011 \text{ m}^3$$

En base a la dosificación de diseño de la Tabla 4.13, para 24 MPa se obtiene las cantidades requeridas para la fabricación de nueve probetas cilíndricas de hormigón como se muestra en la Tabla 4.12.

Tabla 4. 12. Material requerido para elaborar nueve probetas cilíndricas.

Material	Masa (kg)
Agua	2,26
Cemento	4,42
Agregado fino	9,74
Agregado grueso	9,97

Fuente: El Autor.

Elaboración: El Autor.

4.8.1.2. Análisis del hormigón elaborado.

- Asentamiento



Fotografía 4. 4. Asentamiento Mezcla Clase T.

Fuente: El Autor.

Elaboración: El Autor.

Se obtuvo conforme a la norma NTE INEN 1578 – Determinación del Asentamiento. Éste cumplió con lo especificado en el diseño de la mezcla, resultando un valor de 70 mm.

- **Resistencias a compresión de probetas de prueba**

Luego de elaborar las probetas, utilizando la dosificación que se indicó en la Tabla 4.11, y someterlas al ensayo de resistencia a la compresión simple, se pudo evidenciar que los valores obtenidos cumplen con el porcentaje mínimo de resistencia esperado a la edad de 28 días, se presentan la Tabla 4.13, con los resultados obtenidos.

Tabla 4. 13. Resultados obtenidos mediante prueba de compresión simple, mezclas con agregados de canteras San Isidro y Picoazá.

ROTURA DE CILINDROS CLASE T													
N°	Identificación Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	D (m)	Sección m ²	L (m)	Peso (kg)	Carga (Kgf)	Resistencia			Densidad (kg/m ³)	Tipo de falla
									Kgf/cm ²	MPa	%		
1	T1	2-jul-17	1-jul-17	0.101	0.0080	0.199	3.82	2,020.58	251.70	24.68	102.8	2,397.24	1
				0.101									
2	T2	2-jul-17	1-ago-17	0.101	0.0080	0.200	3.83	1,997.78	249.60	24.48	102.0	2,389.00	3
				0.101									
3	T3	2-jul-17	1-ago-17	0.101	0.0080	0.201	3.833	2,101.66	263.10	25.80	107.5	2,384.89	1
				0.101									
4	T4	2-jul-17	1-ago-17	0.100	0.0081	0.201	3.82	2,297.11	285.30	27.98	116.6	2,362.76	2
				0.102									
5	T5	2-jul-17	1-ago-17	0.102	0.0080	0.201	3.83	2,287.10	284.90	27.94	116.4	2,375.98	1
				0.101									
6	T6	2-jul-17	1-ago-17	0.101	0.0080	0.200	3.82	2,001.01	250.50	24.57	102.4	2,392.26	1
				0.101									
7	T7	2-jul-17	1-ago-17	0.101	0.0080	0.202	3.84	2,027.00	252.50	24.76	103.2	2,369.21	5
				0.102									
f'cm:									262.51	25.74	107.3	2,381.62	

Fuente: El Autor.

Elaboración: El Autor.

Mediante el presente cuadro se obtiene el f'cm de la rotura de siete probetas cilíndricas con un resultado de 25.7 MPa y una densidad del hormigón promedio de 2,381.62 kg/m³, este valor último se encuentra dentro del parámetro para calificativo de HORMIGON NORMAL.

4.8.2. Diseño de mezclas con agregados de la cantera San Isidro y Arena de Mar.

Para el diseño de mezclas se requiere de parámetros de los agregados, que se obtienen de ensayos físico mecánicos realizados en laboratorio, los cuales se describieron en la sección 4.2 y se resumen en la Tabla 4.14.

Tabla 4. 14. Resultados de ensayos realizados a los agregados de la cantera San Isidro y Arena de mar.

Parámetro	Valores		Unidad
	Agregado grueso	Arena de Mar	
Tamaño máximo nominal	¾ ”	-	
Módulo de finura	7,57	0,94	
Densidad (SSS)	2861	2762	kg/m ³
Porcentaje de absorción	0,64	1,33	%
Masa unitaria compactada	1693	1663	kg/m ³

Fuente: El Autor.

Elaboración: El Autor.

El procedimiento para encontrar la dosificación apropiada con el fin de obtener la resistencia de 24 MPa es el siguiente:

1. Se debe seleccionar el valor de asentamiento para el hormigón a diseñarse, mediante la Tabla 2.11. se obtiene un valor de 75 mm como máximo y de 25 mm como mínimo.
2. Se determina la resistencia característica requerida del hormigón (f'_{cr}).

Para un hormigón con una resistencia a la compresión especificada $f'_c = 240$ Kgf/cm², se utiliza la siguiente ecuación (ver Tabla 2.4.):

$$f'_{cr} = f'_c + 84$$

Con lo que se obtiene $f'_{cr} = 324$ Kgf/cm².

3. Se determina la cantidad de agua de la mezcla y su contenido de aire por m³ de hormigón (empleando la Tabla 2.12.), usando el tamaño máximo nominal del agregado y el asentamiento seleccionado para la mezcla.

Agua = 205 kg/m³ de hormigón

Aire incluido = 0

4. Se establece la relación agua/cemento mediante la Tabla 2.14 haciendo una interpolación, tomando en consideración la resistencia característica requerida del hormigón (f'_{cr}) calculada en el paso n° 2 y teniendo en cuenta que el hormigón se va a diseñar sin aire incluido.

Resistencia	Relación a/c
350	0,38
324	x
300	0,43

$$\frac{350 - 300}{350 - 324} = \frac{0,48 - 0,55}{0,48 - x}$$

$$x = 0,48 + \frac{0,07 * 24}{50} = 0,51$$

La relación agua/cemento es **0,51**.

5. Se calcula la cantidad de cemento por metro cúbico de hormigón:

Relación agua/cemento = 0,51

Agua = 205 kg

$$Cemento = \frac{Masa\ de\ agua}{Relación\ agua/cemento} = \frac{205\ kg}{0,51}$$

Cemento = 402 kg

6. Se determina el volumen de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón mediante la Tabla 2.15. realizando una interpolación para valores intermedios, y tomando en consideración el módulo de finura del agregado fino (MF = 0,95,) así como el tamaño máximo nominal del agregado grueso (TMN = ¾").

Módulo de finura	Volumen de agregado grueso x m ³
1,00	0,80
0,95	x
0,80	0,82

$$\frac{1,00 - 0,80}{1,00 - 0,94} = \frac{0,80 - 0,82}{0,80 - x}$$

$$x = 0,80 + \frac{0,02 * 0,06}{0,20} = 0,806$$

De lo cual se obtiene:

$$\text{Volumen de agregado grueso por } m^3 = 0,8061$$

Se calcula la masa de agregado grueso (grava):

$$\text{Masa agregado grueso} = \text{Vol agregado grueso} * \text{Masa unitaria compactada}$$

$$\text{Masa agregado grueso} = 0,806 m^3 * 1693 kg/m^3$$

$$\text{Masa agregado grueso} = 1365 kg$$

7. Se estima la masa del agregado fino de la siguiente manera:

Material	Masa (kg)	Densidad (kg/m ³)	Volumen (m ³)
Agua	205	1000	0,205
Cemento	402	3150	0,128
Agregado grueso	1365	2861	0,477
Aire	0		0
Total=			0,81
Volumen de arena de mar=			0,19

$$\text{Masa arena de} = \text{Vol agregado fino} * \text{Densidad (SSS) agregado fino}$$

$$\text{Masa arena de mar} = 0,19 m^3 * 2762 kg/m^3$$

$$\text{Masa arena de mar} = 525 kg$$

8. Se realiza los ajustes en la dosificación determinando el contenido de humedad de los agregados un día antes de realizar la mezcla. Se efectúan las correcciones en los pesos de los agregados y en el peso del agua de mezclado tomando en cuenta lo indicado en la sección 2.11.1.

9. Corrección de arena y grava :

Se tiene una cantidad de arena de $0,19 m^3$, por lo tanto para la corrección se toma en cuenta datos de granulometría.

% grava-arena es igual a 0,03 %, y % de arena-grava es igual a 0.75 %, por tanto para la arena corregida tenemos:

$$\text{Arena Corregida} = \text{Vol. arena} \times \left(1 + \frac{\%G - A}{100}\right) - \left(\text{Vol. grava} \times \frac{\%A - G}{100}\right)$$

$$\text{Arena Corregida} = 0,19 \times \left(1 + \frac{0,03}{100}\right) - \left(0,477 \times \frac{0,75}{100}\right) = \mathbf{0,187 m^3}$$

$$\text{Grava Corregida} = \text{Vol. grava} \times \left(1 + \frac{\%A - G}{100}\right) - \left(\text{Vol. arena} \times \frac{\%G - A}{100}\right)$$

$$\text{Grava Corregida} = 0,477 \times \left(1 + \frac{0,75}{100}\right) - \left(0,19 \times \frac{0,03}{100}\right) = \mathbf{0,480 m^3}$$

10. La dosificación final obtenida por el método del ACI para $f'_c = 24$ MPa es la siguiente:

Tabla 4. 15. Dosificación de prueba con agregados de la cantera San Isidro y Arena de mar.

Material	Masa (kg)	Proporción	Volumen m^3
Agua	205	0,51	0,205
Cemento	402	1,00	0,128
Arena de mar	516	1,28	0,187
Agregado grueso	1375	3,42	0,480

Fuente: El Autor.

Elaboración: El Autor.

4.8.2.1. Preparación de las probetas de prueba.

Las probetas de prueba a utilizarse en la investigación son de forma cilíndrica, las cuales deben presentar las siguientes características:

1. La longitud debe ser el doble del diámetro.
2. El diámetro del cilindro debe ser por lo menos 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

Los cilindros tienen de diámetro = 100 mm y altura = 200 mm. Estos son recomendados ya que cumplen con las características descritas anteriormente.

Se elaboraron nueve (7) probetas de hormigón para cada dosificación. De estas se ensayaron los nueve cilindros a los 28 días.

Para estimar las cantidades de material requerido para elaborar el número de probetas, se hizo de la siguiente forma:

$$\text{Volumen hormigón} = \# \text{probetas} * \text{volumen cilindro} = 7 * (\pi * r^2 * h)$$

$$\text{Volumen hormigón} = 7 * (\pi * (0,05 \text{ m})^2 * 0,20 \text{ m}) = 0,011 \text{ m}^3$$

En base a la dosificación de diseño de la Tabla 4.15 para 24 MPa se obtiene las cantidades requeridas para la fabricación de nueve probetas cilíndricas de hormigón como se muestra en la Tabla 4.16.

Tabla 4. 16. Material requerido para elaborar nueve probetas cilíndricas.

Material	Masa (kg)
Agua	2,26
Cemento	4,42
Arena de mar	5,68
Agregado grueso	15,13

Fuente: El Autor.

Elaboración: El Autor.

4.8.2.2. Análisis del hormigón elaborado.

- Asentamiento

El asentamiento de la mezcla se obtuvo conforme a la norma NTE INEN 1578. Éste cumplió con lo especificado en el diseño de la mezcla, resultando un valor de 65 mm.

- Resistencias a compresión de probetas de prueba

Luego de elaborar las probetas, utilizando la dosificación que se indicó en la Tabla 4.16. y someterlas al ensayo de resistencia a la compresión simple, se pudo evidenciar que los valores obtenidos no cumplen con el porcentaje mínimo de resistencia esperado a la edad de 28 días. A continuación se presenta en la Tabla 4.17, los siguientes resultados.

Tabla 4. 17. Resultados obtenidos mediante prueba de compresión simple, mezclas con agregados de canteras San Isidro y Picoazá.

ROTURA DE CILINDROS CLASE M													
N°	Identificación Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	D (m)	Sección m ²	L (m)	Peso (kg)	Carga (Kgf)	Resistencia			Densidad (kg/m ³)	Tipo de falla
									Kgf/cm ²	MPa	%		
1	A1	3-jul-17	1-ago-17	0.102	0.0082	0.201	3.82	1,765.62	216.50	21.23	88.5	2,331.55	1
				0.102									
2	A2	3-jul-17	1-ago-17	0.101	0.0080	0.200	3.83	1,612.74	200.50	19.66	81.9	2,381.73	1
				0.102									
3	A3	3-jul-17	1-ago-17	0.101	0.0080	0.201	3.87	1,945.92	242.40	23.77	99.0	2,396.02	1
				0.101									
4	A4	3-jul-17	1-ago-17	0.105	0.0088	0.200	3.83	1,547.86	175.40	17.20	71.7	2,172.21	2
				0.107									
5	A5	3-jul-17	1-ago-17	0.112	0.0089	0.200	3.87	2,046.21	229.70	22.53	93.9	2,169.99	5
				0.101									
6	A6	3-jul-17	1-ago-17	0.101	0.0080	0.200	3.82	1,331.57	166.20	16.30	67.9	2,387.55	2
				0.101									
7	A7	3-jul-17	1-ago-17	0.100	0.0081	0.200	3.85	1,395.34	173.30	16.99	70.8	2,390.84	5
				0.102									
f'cm:									200.57	19.67	82.0	2,318.56	

Fuente: El Autor.

Elaboración: El Autor.

Mediante el presente cuadro se obtiene el f'cm de la rotura de siete probetas cilíndricas con un resultado de 19.67 MPa. Ante ello, se realizó dosificaciones disminuyendo la arena de mar y agregando arena triturada en proporciones de 40, 50, y 60 por ciento del total de la muestra requerida en dosificación, a continuación se resume las variaciones;

- Clase A: Grava ¾" - Catamayito / Arena de mar - Bahía 60 % / Arena triturada - Catamayito 40 %
- Clase B: Grava ¾" - Catamayito / Arena de mar - Bahía 50 % / Arena triturada - Catamayito 50 %
- Clase C: Grava ¾" - Catamayito / Arena de mar - Bahía 40 % / Arena triturada - Catamayito 60 %

4.8.3. Diseño de mezclas clase A

Una vez realizado el proceso de dosificación de acuerdo a la sección 2.11.1, se determina los siguientes resultados;

Tabla 4. 18. Resultados obtenidos mediante prueba de compresión simple, Mezcla Clase A.

ROTURA DE CILINDROS CLASE A													
N°	Identificación Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	D (m)	Sección m ²	L (m)	Peso (kg)	Carga (Kgf)	Resistencia			Densidad (kg/m ³)	Tipo de falla
									Kgf/cm ²	MPa	%		
1	A1	2-jul-17	1-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	2-jul-17	1-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	2-jul-17	1-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	2-jul-17	1-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	2-jul-17	1-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	2-jul-17	1-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	2-jul-17	1-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	

Fuente: El Autor.

Elaboración: El Autor.

Los ensayos de laboratorio que determinan las propiedades físicas y mecánicas de los agregados para la mezcla A, se detallan en el ANEXO I. *ENSAYOS FÍSICO MECÁNICOS DE LABORATORIO REALIZADOS EN AGREGADOS - DOSIFICACIONES ACI*, como resultado a la compresión simple tenemos 29.75 MPa, con un 24.0 % sobre la resistencia requerida.

4.8.4. Diseño de mezclas clase B

Una vez realizado el proceso de dosificación de acuerdo a la sección 2.11.1, se determina los siguientes resultados;

Tabla 4. 19. Resultados obtenidos mediante prueba de compresión simple, Mezcla Clase B.

ROTURA DE CILINDROS CLASE B													
N°	Identificación Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	D (m)	Sección m ²	L (m)	Peso (kg)	Carga (Kgf)	Resistencia			Densidad (kg/m ³)	Tipo de falla
									Kgf/cm ²	MPa	%		
1	A1	3-jul-17	1-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	A2	3-jul-17	1-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	A3	3-jul-17	1-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	A4	3-jul-17	1-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	A5	3-jul-17	1-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	A6	3-jul-17	1-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	A7	3-jul-17	1-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	

Fuente: El Autor.

Elaboración: El Autor.

Los ensayos de laboratorio que determinan las propiedades físicas y mecánicas de los agregados para la mezcla B, se detallan en el ANEXO I. *ENSAYOS FÍSICO MECÁNICOS DE LABORATORIO REALIZADOS EN AGREGADOS - DOSIFICACIONES ACI*, como resultado a la compresión simple tenemos 36.94 MPa, con un 53.9 % sobre la resistencia requerida.

4.8.5. Diseño de mezclas clase C

Una vez realizado el proceso de dosificación de acuerdo a la sección 2.11.1, se determina los siguientes resultados;

Tabla 4. 20. Resultados obtenidos mediante prueba de compresión simple, Mezcla Clase C.

ROTURA DE CILINDROS CLASE C													
N°	Identificación Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	D (m)	Sección m ²	L (m)	Peso (kg)	Carga (Kgf)	Resistencia			Densidad (kg/m ³)	Tipo de falla
									Kgf/cm ²	MPa	%		
1	A1	4-jul-17	1-ago-17	0.105 0.107	0.0088	0.200	3.82	29,092.00	370.30	36.31	151.3	2,164.37	2
2	A2	4-jul-17	1-ago-17	0.112 0.101	0.0089	0.201	3.84	31,663.00	403.00	39.52	164.7	2,144.60	1
3	A3	4-jul-17	1-ago-17	0.101 0.101	0.0080	0.200	3.81	28,675.00	365.00	35.79	149.1	2,377.73	2
4	A4	4-jul-17	1-ago-17	0.101 0.102	0.0081	0.201	3.84	31,022.00	394.90	38.73	161.4	2,361.09	2
5	A5	4-jul-17	1-ago-17	0.100 0.102	0.0080	0.201	3.8	27,673.00	352.20	34.54	143.9	2,359.69	5
6	A6	4-jul-17	1-ago-17	0.101 0.100	0.0079	0.199	3.81	30,980.00	394.30	38.67	161.1	2,413.51	1
7	A7	4-jul-17	1-ago-17	0.101 0.099	0.0079	0.201	3.84	28,750.00	365.90	35.88	149.5	2,432.46	5
f'cm:									377.94	37.06	154.4	2,321.92	

Fuente: El Autor.

Elaboración: El Autor.

Los ensayos de laboratorio que determinan las propiedades físicas y mecánicas de los agregados para la mezcla C, se detallan en el ANEXO I. ENSAYOS FÍSICO MECÁNICOS DE LABORATORIO REALIZADOS EN AGREGADOS - DOSIFICACIONES ACI, como resultado a la compresión simple tenemos 37.06 MPa, con un 54.4 % sobre la resistencia requerida.

4.8.6. Determinación de las propiedades físico químicas de los agregados y del concreto endurecido.

Se detalla resultados adicionales a los procesos directos de corrosión del acero, enfocados en las normas nacionales e internacionales para la conclusión y verificación de los mismos. Como objeto primordial se evalúa químicamente al concreto endurecido y agregados, ya que es el punto inicial del carácter electroquímico de la corrosión.

4.8.6.1. *Standard test method for density, absorption, and voids in hardened concrete, ASTM C 642.*

En este método se evalúa el concreto endurecido, como prioridad se calcula el volumen de vacíos en el cilindro de concreto, también se determina la densidad aparente y absorción.

Mediante el procedimiento de la norma ASTM C 642 se obtiene los siguientes resultados, tanto para las probetas de clase M-T como las A-B-C.

Tabla 4. 21. Porcentaje de vacíos en el concreto endurecido.

MUESTRA	ABSORCIÓN DESPUÉS DE INMERSIÓN	DENSIDAD APARENTE g ₂	VOLUMEN DE VACÍOS (ESPACIO DE POROS PERMEABLES)
UNIDADES	%	kg/m ³	%
FÓRMULA	$[(B-A)/A] \times 100$	$[A/(A-D)].\rho = g_2$	$(g_2-g_1)/g_2 \times 100$
M9	4.82	2.64	8.52
M8	4.92	2.66	8.81
T9	6.65	2.60	11.56
T8	6.90	2.61	11.75
A8	4.67	2.48	8.72
A9	4.94	2.49	9.01
B8	5.00	2.47	9.06
B9	5.09	2.50	9.35
C8	4.98	2.48	8.75
C9	4.70	2.46	8.13

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 es baja.

4.8.6.2. Núcleos de hormigón. Método de ensayo de la resistencia del núcleo. INEN 3041 / ASTM C42 / ASTM C31.

Se realiza para establecer que un producto de hormigón pre moldeado, terminado, transportable tiene la suficiente resistencia para cumplir con las especificaciones indicadas.



Fotografía 4. 5. Compresión simple de núcleos Edificio Albatros y Vista Azul.
Fuente: El Autor.
Elaboración: El Autor.

En la Tabla 4.24 se exponen los resultados de los especímenes sometidos a la compresión simple.

Tabla 4. 22. Resultado de la prueba de compresión simple a núcleos.

Probetas	Medidas		Resistencia
Código.	Diámetro (cm)	Altura (cm)	(Kgf/cm²)
M1-PP	7.5	15.2	113.5
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
CB1-1P-1	7.4	14.7	113.5
CD2-1P-1	7.5	15.2	76.1
CB2-1P-2	7.49	9.3	81.4

Fuente: El Autor.
Elaboración: El Autor.

El criterio de la norma ASTM C 42 para la evaluación de los núcleos, estima que;

- El promedio mínimo de 3 núcleos debe ser mayor o igual al 85 % de $f'c$
- Ningún testigo unitario debe ser menor o igual al 75 % de $f'c$

Dado los criterios de aceptaciones de los núcleos se determina que los especímenes no cumplen con el $f'_{cr} = 178.5 \text{ kgf/cm}^2$, y el valor individual y promedio están por debajo de lo requerido.

4.8.6.3. Determinación de la solidez de los áridos mediante el uso de sulfato de sodio o de sulfato de magnesio, INEN 863.

Mediante este ensayo se tiene información para estimar la calidad de los áridos que han de estar sometidos a la acción de agentes químicos y atmosféricos cuando forman parte de una obra civil como, hormigón, pavimento, mortero, etc.

Tabla 4. 23. Tabla resumen del porcentaje de pérdida por acción de sulfatos.

Material	Cantera	Pérdida Compensada (%)
Arena de mar	Bahía de Caraquez	2.2
Arena triturada	Picoazá	10.7
Grava ¾"	San Isidro	12.2

Fuente: El Autor.
Elaboración: El Autor.

La Norma NTE INEN 087,2011 establece la resistencia a la disgregación (pérdida de masa después de 5 ciclos de inmersión y secado), con un valor de 12 como porcentaje máximo en masa.

4.8.6.4. Standard test method for acid-soluble chloride in mortar and concrete, ASTM C 1152.

Los cloruros solubles en agua, cuando están presentes en cantidad suficiente, son capaces de conducir la iniciación o aceleración de la corrosión de metales, tales como acero de refuerzo



Fotografía 4. 6. Titulaciones con Nitrato de Plata para la determinación del ion Cl.
Fuente: El Autor.
Elaboración: El Autor.

Bajo la norma de ASTM C 1152, se realiza los procesos para determinar los cloruros solubles en agua para los cuales se tiene los siguientes resultados;

Tabla 4. 24. Porcentaje de cloruros solubles en ácido.

Muestra	Peso (g)	pH	Solución (ml)	% Cloruros
Edificio Albatros	10 ± 0.01	7.61	175.5	0.75
Edificio Vista Azul	10 ± 0.01	8.23	35.7	0.25
Mescal A	10 ± 0.01	8.36	14.4	0
Mezcla C	10 ± 0.01	8.61	175.5	0.73
Mezcla M	10 ± 0.01	8.1	108.75	0.56
Mezcla T	10 ± 0.01	8.59	60.4	0.49

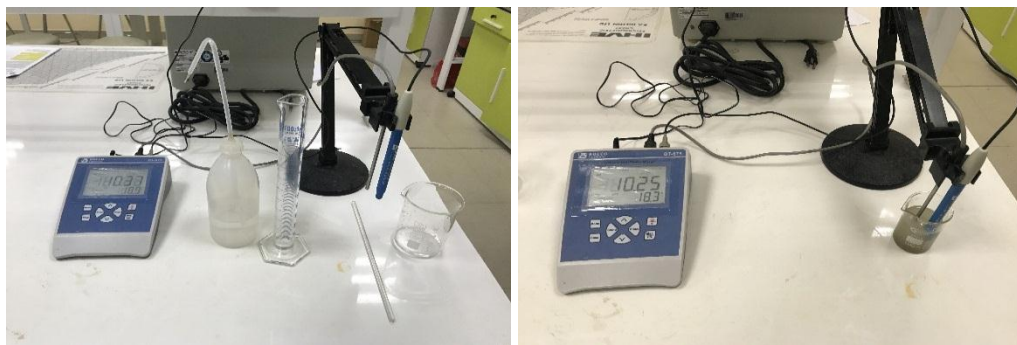
Fuente: El Autor.

Elaboración: El Autor.

ACI 222R-01 recomienda el límite de cloruros para construcciones nuevas y aceptables para el concreto reforzado en estado húmedo y seco, estos parámetros son 0.1 % y 0.2 %.

4.8.6.5. Standard test method for pH of chemically cleaned or etched concrete surfaces, ASTM D 4262.

Este método de prueba cubre los procedimientos para determinar la acidez o alcalinidad del concreto, en la siguiente tabla se presenta los resultados obtenidos de acuerdo al proceso ASTM D 4262.



Fotografía 4. 7. Determinación del pH del concreto por método del electrodo.

Fuente: El Autor.

Elaboración: El Autor.

Tabla 4. 25. Resultados de pH de las muestras trituradas disueltas en agua ionizada.

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

Fuente: El autor.
Elaboración: El Autor.

De acuerdo al ACI 201.2R-01, establece que pH del hormigón se debe a la presencia de hidróxido de calcio, el cual se libera cuando se hidrata el cemento, que constituye aproximadamente 15 a 25 % de la pasta. El pH de una solución saturada de hidróxido de calcio es de 12.5; este valor es el pH mínimo de una pasta no carbonatada.

4.8.6.6. Análisis químico del agua.

De acuerdo al ACI 318 se determinó lo parámetro de sulfatos y cloruros disuelto en agua, y se comparó con los valores de la norma NTE INEN 2617, en el cuadro siguiente se muestran los resultados.

Tabla 4. 26. Resultados del análisis químico del agua

UBICACIÓN	PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
Agua de pozo - Bahía de Caráquez	pH	adimensional	8.04
	Sulfatos	mg/l	33
	Cloruros	mg/l	198.02
Agua de río - Río Canoa	pH	adimensional	8.1
	Sulfatos	mg/l	780
	Cloruros	mg/l	353.61

Fuente: El Autor.
Elaboración: El Autor.

4.8.6.7. La Cristalografía de rayos X – DRX

Técnica experimental para estudiar y analizar materiales. Se basa en el fenómeno de difracción de los rayos X por sólidos en estado cristalino. Los objetivos de este ensayo fueron;

- Conocer la composición cuantitativa, semicuantitativa, y cualitativa de la sustancia.
- Conocer la composición en compuestos químicos de una sustancia.
- Averiguar la composición química de una sustancia.



Fotografía 4. 8. Pulverización de la arena de mar.
 Fuente: El Autor.
 Elaboración: El Autor.

Se estima la cantidad de compuestos encontrados en la arena como sales, óxidos y cloruros que se muestran en la tabla 4.27.

Tabla 4. 27. Ensayo químico de Fluorescencia

Óxido/Elemento	Porcentaje Sin Lavar (%)	Porcentaje Lavada (%)
SiO ₂	64.8	64.5
Al ₂ O ₃	12.2	11.9
P ₂ O	1.08	0.944
S	0.069	0.162
K ₂ O	0.718	0.625
CaO	10.9	10.8
TiO ₂	1.24	1.12
Fe ₂ O ₃	6	5.72
MnO	0.15	0.143

Fuente: El autor
 Elaboración: El Autor.

Tabla 4. 28. Resumen de composición de minerales en porcentajes.

Mineral	Tipo de mineral	Porcentaje Sin Lavar (%)	Porcentaje Lavada (%)
Cuarzo	Sílice	47.77	59.9
Albita	Silicatos- Plagioclasas de NaCa	17.45	5.13
Andesina		6.22	8.49
Sanidina	Silicatos- Feldespato de K	0.56	3.4
Diópsido	Silicatos- Piroxeno de Mg-Fe	6.41	2.62
Hornblenda	Silicatos- Anfíbol de Fe-Mg-Ca-K	7.01	10.38
Calcita	Carbonato de calcio	6	6.14
Magnetita	Óxido ferroso-férrico	0.7	0.19
Hematita	Óxido férrico	0.38	0.24
Rutilo	Óxido de titanio	0.01	-
Fluoroarrojadita (K-Fe)	Fosfato de K-Fe-F	6.35	4.31
Yeso	Sulfato de calcio hidratado	1.15	-

Fuente: El autor.

Elaboración: El Autor.

Ver, *ANEXO II. ENSAYOS QUÍMICOS DE LABORATORIO*

4.9. Ensayo de Esclerometría

Los ensayos esclerométricos son no destructivos evalúan la calidad del hormigón armado. Este ensayo utiliza el esclerómetro de Schmidt, que mide la dureza superficial del hormigón a partir del rebote de una masa incidente después de impactar contra la superficie de estudio.



Fotografía 4. 9. Martillo esclerométrico silverschmidt.
Fuente: El Autor.
Elaboración: El Autor.

Se tomarán al menos, diez lecturas con el fin de disponer de una estimación fiable del índice de rebote de la zona de ensayo. La Tabla 4.31, resume los resultados del ensayo de esclerometría.

Tabla 4.29. Resultados de Esclerometría, Edificio Albatros.

Nomenclatura	Resistencia (kg/cm ²)	S (Desviación Estándar)	Elemento estructural	Daño presente
P#1	155	5,2	Muro	Sin daño, nivel moderado
P#2	235	4,2	Muro	Sin daño, nivel moderado
P#3	175	3,3	Muro	Sin daño, nivel moderado
P#4	190	4,2	Columna	Sin daño, nivel moderado
P#5	265	4,6	Columna	Sin daño, nivel moderado
P#6	190	4,8	Muro	No posee daño
P#7	210	4,2	Muro	No posee daño
P#8	235	4,6	Muro	No posee daño
P#9	195	3,2	Muro	No posee daño
P#10	170	5,4	Muro	No posee daño
P#11	185	1,9	Muro	No posee daño
P#12	225	2,6	Muro	No posee daño
P#13	275	3,3	Muro	No posee daño
Promedio	210			

Fuente: El Autor.
Elaboración: El Autor.

El resultado se toma como la mediana de todas las lecturas corregidas, si es necesario, teniendo en cuenta la orientación del esclerómetro de acuerdo con las instrucciones del fabricante y expresado como un número entero. *Ver ANEXO III. TABLA RESUMEN DE RESULTADOS ESCLEROMÉTRICOS DEL EDIFICIO "ALBATROS II" DE LA CIUDAD BAHÍA DE CARÁQUEZ*

CAPÍTULO V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Corrosión del acero de refuerzo.

La corrosión del acero de refuerzo es evidente en los dos edificios. En el edificio Vista Azul los parámetros de pérdida de masa para varillas de 10 mm es del 47 %, de 12 mm es 38 %, y para el edificio Albatros en varillas de 10 mm es del 45 %, en 12 mm y 14 mm es del 29 %.

La mayor parte de la oxidación presente en los diagramas de barras por colores Tabla 4.1, 4.2, y 4.3, da como referencia la ubicación del acero de refuerzo que está en contacto con el medio ambiente marino, las grietas producidas por los esfuerzos de sobrecarga y fricción.

La producción del acero de refuerzo es normada y controlada, por ende la caracterización física y química están sujetas a ensayos rigurosos con equipos especiales que no se tiene a disposición. Pese a ello se ha determinado el porcentaje de corrosión por variación directa de la masa.

5.2. Propiedades físico, mecánicas de los agregados.

En el CAPITULO 4, se estudiaron sus características principales para el diseño de mezclas, requisitos que deben ser cumplidos estrictamente para la fabricación de hormigones estructurales.

Análisis granulométrico.- En la sección 4.2.1, y de acuerdo a la norma NTE INEN 696 determina el rango de 2.30 a 3.10 debe cumplir el módulo de finura, en la Figura 5.1, se presenta los valores de los ensayo.

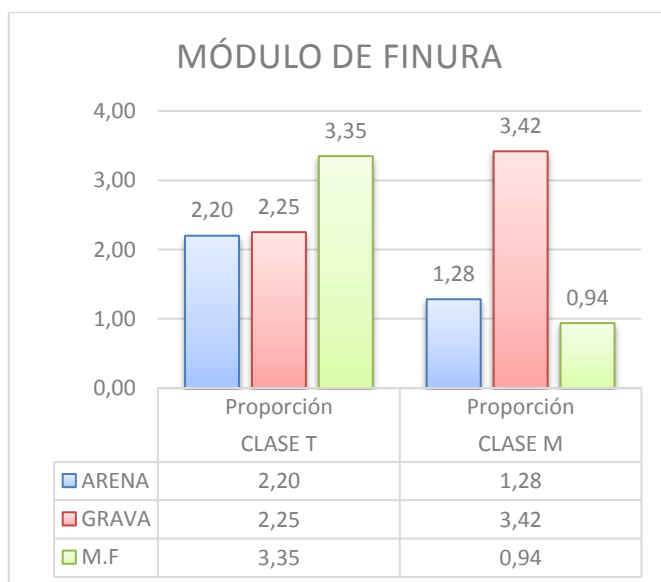


Figura 5. 1. Variación del módulo de finura vs Agregados fino y grueso.
Fuente: El Autor.
Elaboración: El Autor.

Los valores del módulo de finura son determinantes en la dosificación, ya que es la base principal para la determinar la proporción del agregado grueso.

Análisis de Densidades.- En el desarrollo de los ensayos no se observó mayor variación en los valores obtenidos tanto en el agregado grueso y fino, los mismos se encuentran en el rango tolerable establecido en la sección 4.2.2.

Análisis del Peso Volumétrico.- Con respecto a los ensayos de volumetría los valores obtenidos se encuentran en el rango permisible descrito en la sección 4.2.3.

Análisis de Abrasión.- Los valores obtenidos se encuentran por debajo del máximo permisible, por ende son aceptados para la elaboración de dosificaciones ACI.

Análisis del Contenido de Humedad- Este parámetro de cálculo incide directamente en la relación agua – cemento, y sirve para controlar el agua total de la mezcla.

5.3. Compresión simple de los especímenes.

Antes de evaluar y discutir los resultados, se indica la nomenclatura que se adoptó para sistematizar el manejo de los resultados, tanto para las dosificaciones, mezclas y roturas de compresión simple.

- Clase M: Grava $\frac{3}{4}$ " - San Isidro / Arena de mar - Bahía
- Clase T: Grava $\frac{3}{4}$ " - San Isidro / Arena triturada - Picoazá
- Clase A: Grava $\frac{3}{4}$ " - Catamayito / Arena de mar - Bahía 60 % / Arena triturada - Catamayito 40 %.
- Clase B: Grava $\frac{3}{4}$ " - Catamayito / Arena de mar - Bahía 50 % / Arena triturada - Catamayito 50 %.
- Clase C: Grava $\frac{3}{4}$ " - Catamayito / Arena de mar - Bahía 40 % / Arena triturada - Catamayito 60 %.

Para el análisis de la resistencia obtenida, es claro indicar los valores en las proporciones de los materiales que conforman la mezcla, en el Tabla 5.1, y la Figura 5.1, dan fe de los datos obtenidos.

Tabla 5. 1. Proporción de los materiales de mezcla.

TIPO DE MEZCLA	CLASE M		CLASE T		
	Material	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

Fuente: El Autor.

Elaboración: El Autor.

Los especímenes de Clase T dieron la pauta para la determinación de la resistencia a los 28 días, obteniendo los resultados de;

Tabla 5. 2. Resistencia promedio a la compresión simple.

Tipo de Mezcla	Resistencia			Densidad (kg/m ³)
	Kgf/cm ²	MPa	%	
T	262.51	25.74	107.30	2,381.62
M	200.57	19.67	82.00	2,318.56

Fuente: El Autor.

Elaboración: El Autor.

La resistencia a la compresión especificada es de $f'c = 24Mpa$, y la requerida de $f'cr = 32.4Mpa$, los valores son aceptables excepto los obtenidos de la dosificación de Mezcla M, los cuales no cumplen con la resistencia especificada.

Después de varias correcciones a la dosificación se pudo determinar con la resistencia la aceptación de la Mezcla tipo T, y realizar la dosificación de la Mezcla tipo M, únicamente sustituyendo el agregado fino triturado por arena de mar.

Con la arena de mar se realiza la nueva dosificación y se obtiene el peso y las proporciones detalladas en la Tabla 5.1, Clase M, obteniendo las resistencias detalladas en la Tabla 5.2.

En vista que los especímenes de Clase M no cumplen con la resistencia requerida, se evalúan nuevamente sus parámetros, y se determina realizar una mezcla al árido fino en proporciones diferentes con la finalidad de mejorar su MF, Tabla 5.3.

Tabla 5. 3. MF de diferentes Mezclas de diseño.

TIPO DE MEZCLA	CLASE T	CLASE M	CLASE A	CLASE B	CLASE C
Arena	-	-	60%M*+40%T**	50%M*+50%T**	40%M*+60%T**
M.F	3.35	0.94	1.98	2.24	2.5

Fuente: El Autor. * M: Arena de mar **T: Arena triturada
Elaboración: El Autor.

Como posemos verificar en la tabla anterior el módulo de finura, (Figura 5.2) mejora y aún más, se puede determinar cómo los agregados se compensan y de la misma forma mejora el tamaño máximo nominal del agregado grueso, que es requisito para la dosificación de acuerdo en ACI de la Tabla 2.15.

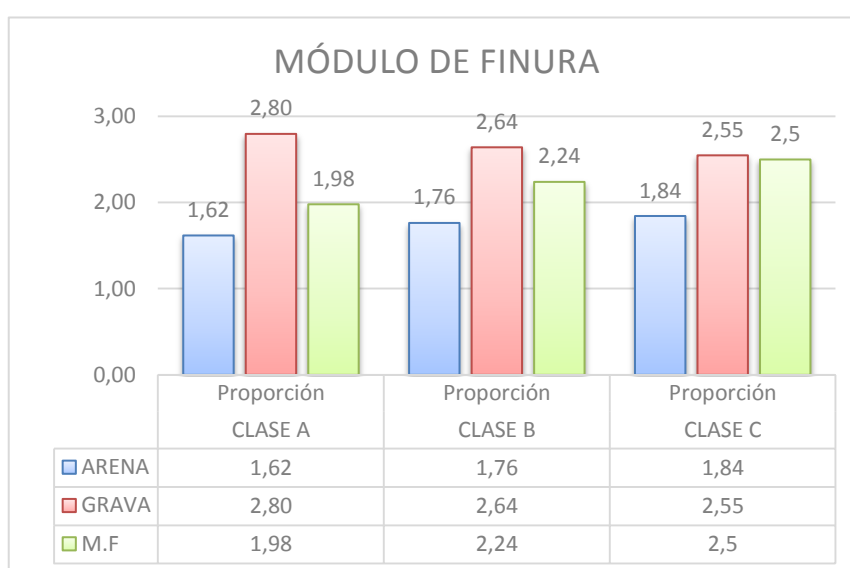


Figura 5. 2. Incremento del módulo de finura por acción de la mescla en el árido fino.
Fuente: El Autor
Elaboración: El Autor.

Se calcula densidades y nuevas volumetrías por acción de las mezclas descritas en la Tabla 5.3, se dosifica y se elabora nuevos especímenes de prueba, concluyendo los resultados siguientes;

Tabla 5. 4. Nuevos resultados de compresión simple en Mezclas A, B y C.

Tipo de Mezcla	Resistencia			Densidad (kg/m³)
	Kgf/cm²	MPa	%	
A	303.40	29.75	124.00	2,362.12
B	376.71	36.94	153.90	2,385.40
C	377.94	37.06	154.40	2,321.92

Fuente: El Autor.
Elaboración: El Autor.

Los resultados obtenidos son satisfactorios por cuanto cumplen la resistencia especificada $f'c$ y más aún la requerida $f'cr$, su densidad se mantiene en el rango permisible para el calificativo de hormigón normal.

Se calculan nuevos parámetros como la resistencia a la tracción, ecuación 2.23 y el módulo de elasticidad, ecuación 2.28.

Tabla 5. 5. Calculo del Módulo de Elasticidad y Resistencia a la Tracción.

Tipo de Mezcla	Resistencia	Tracción (f_t)	Módulo de Elasticidad (E_c)
	Kgf/cm ²	Kgf/cm ²	Kgf/cm ²
$f'c$	240.00	23.24	232,379.00
T	262.51	24.30	243,032.41
M	200.57	21.24	212,434.11
A	303.4	26.13	261,275.72
B	376.71	29.11	291,135.28
C	377.94	29.16	291,610.19

Fuente: El Autor.
Elaboración: El Autor.

5.4. Propiedades físico químicas de los agregados y del concreto endurecido

Se analizan los procesos químicos y sus resultados, con la finalidad de terminar y aceptar aquellos obtenidos en ítems anteriores.

Con respecto al porcentaje de poros ASTM C 642, en el concreto endurecido se determina que los especímenes de las Mezclas T corresponden a un hormigón de calidad media, a diferencia de los demás que obtuvieron una calidad alta.

Las resistencias a los núcleos extraídos de los edificios de interés, no cumplen el 85 % de la resistencia requerida.

En los ensayos químicos a los agregados NTE INEN 863, se determina deficiencia al ataque de sulfato para el agregado grueso y fino..

El análisis químico del agua es favorable para la utilización como agua para mezcla, tanto la de Pozo como la del Río Canoa. Y los resultados del ensayo DRX nos determina la presencia de Fe_2O_3 en la arena de mar.

5.5. Divulgación

El presente trabajo fue la base para la redacción de un paper denominado “Oxidación del acero de refuerzo en estructuras de concreto reforzado”, mismo que será publicado en la 19 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA, a desarrollarse en el PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA, CUBA, NOVIEMBRE 2018.

CONCLUSIONES

- La pérdida de masa por año, en varillas de 10 mm, es de 47 % para el edificio Vista Azul y de 45 % para el edificio Albatros, ambos casos durante 10 años. Para los mismos edificios, pero con varillas de 12 mm, la pérdida de masa es 38 % y 29 % respectivamente. Para refuerzo de 14 mm en el edificio Albatros, la pérdida de masa es de 29 %.
- El agregado grueso triturado proveniente de la cantera San Isidro presenta tamaño máximo nominal de 3/4" y una resistencia a la abrasión de 35,44 % menor al 50 % que es valor máximo establecido por la norma NTE INEN 872.
- El agregado fino (arena de mar) y triturado de la cantera Picoazá no cumplen con los requerimientos según la Norma NTE INEN 872 pues sus valores se encuentran fuera del rango de 2.3 a 3.1.
- Para mejorar el módulo de finura de la arena de mar se varió la mezcla de acuerdo a la Tabla 5.3, obteniendo módulos de 1.98, 2.24 y 2.5 para las mezclas A, B, C respectivamente; dos de ellas cumplen los requisitos de la norma NTE INEN 872, respecto al módulo de finura.
- La compresión simple, determina que el espécimen tipo M no cumple con la resistencia especificada de 24 MPa. Las probetas T, A, B, C, cumplen con la resistencia especificada y requerida, por lo tanto el espécimen tipo B es el adecuado en relación a resistencia, módulo de elasticidad y trabajabilidad.
- Las mezclas tipo M, A, B y C, cumplen con los parámetros de porosidad, calificando al hormigón de alta calidad. En cambio la mezcla tipo T cuenta con una calidad media por contar con un porcentaje promedio de poros de 11.6.
- La resistencia promedio de los núcleos extraídos del edificio Albatros es de 11 MPa, valor que no cumple la resistencia requerida de 21 MPa según la norma ASTM C 42.
- Las resistencias obtenidas a través de las pruebas de esclerometría, difieren a las de los núcleos ensayados. Esto pudo ser por el fisuramiento interno que produjo el sismo en los elementos estructurales.
- Los áridos procedentes de la cantera San Isidro, no cumplen los requisitos de la norma NTE INEN 087 por tener un valor de 12.2 % de resistencia a los sulfatos.
- Los resultados del ensayo químico del agua de pozo domiciliario y del Río Canoa, indican que esta es favorable para la aceptación como agua de mezcla, de acuerdo a la norma ACI 318.
- El resultado de los cloruros totales solubles en ácido norma ASTM C1152, muestra la presencia del ion cloruro en todos los núcleos ensayados cuyo valor promedio es 0.46 %, siendo evidente la sobrecarga de cloruros.

- Las sales, óxidos y cloruros obtenidos del ensayo de Difracción de Rayos X varían en menor proporción en la arena lavada, respecto de la arena sin lavar. Los porcentajes de silicatos oscilan entre 64.8 % a 64.5 %, estos otorgan mayor resistencia al hormigón en el fraguado. El óxido de aluminio (Al_2O_3) es el segundo compuesto con mayor concentración en la arena de mar (12.2 %), lo que disminuye la trabajabilidad del hormigón, pero este efecto puede inhibirse con la cantidad (6%) de óxido férrico (Fe_2O_3) presente en la misma arena.
- La arena de mar puede ser empleada para construir ya que por su módulo de finura mejora las condiciones de porosidad y, aunque posea cloruros, esta cantidad es tan baja que no afecta las características físicas y mecánicas del hormigón endurecido. Para mejorar sus cualidades se puede mezclar con arena triturada.

RECOMENDACIONES

- Si se requiere determinar la condición de corrosión, se sugiere para próximas investigaciones realizar el ensayo de media celda según la Norma ASTM C 876 y comparar los resultados con los valores de referencia mostrados en la Tabla 2.1.
- Para el método de resistencia a la polarización lineal RPL, método electroquímico, se determina en la Tabla 2.2 los valores correspondientes a la velocidad y tiempo de corrosión.
- Para el diseño de mezclas de hormigón se debe realizar un estudio y análisis de las propiedades químicas de los agregados para verificar si son aptos para su utilización, pues estos influyen de gran manera en las características y desempeño del hormigón.
- Los resultados obtenidos en esta investigación son aplicables para otros proyectos, siempre y cuando trabajen bajo características similares de los componentes que se han utilizado para estos hormigones.
- Se recomienda cuidar las condiciones de curado de los especímenes, ya sea en cámara húmeda o bajo agua a una temperatura constante hasta su fecha de ensayo, ya que de este proceso depende la resistencia que se consiga en los mismos.

BIBLIOGRAFÍA

- American Concrete Institute. (2002). *Report on Fiber Reinforced Concrete. ACI 544.1R-96*. Detroit: ACI Committee 544.
- American Concrete Institute. (2005). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*. Farmington Hills: ACI 318.
- ASTM C1116. (2012). *Standar Specification for Fiber - Reinforced Concrete*.
- Bañon, L. (2010). *Propiedades del Hormigón*. Alicante-España: Universidad de Alicante.
- Barros, V. P., & Ramírez, H. C. (2012). *Diseño de Hormigones con Fibras de Polipropileno para Resistencias a la Compresión de 21 y 28 Mpa con agregados de la Cantera de Pifo. Tesis de Grado*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Blanco, F. (2010). *Materiales de Construcción*. Oviedo- España: Universidad de Oviedo.
- Broomfield, J. (1997). *Corrosion of Steel in Concrete*. London, New York: E&FN Spon.
- Castro. (2001). *Corrosión en estructuras de concreto armado*. Mexico: IMCYC.
- Castro, B. (1998). *Corrosión en estructuras de concreto armado: Teoría, inspección, diagnóstico, vida útil y reparaciones*. (Segunda ed.). IMCYC.
- Crank, J. (1976). *The mathematics of Diffusion*. Oxford University Press.
- Fontana, M. (1986). *Corrosion Engineering* (Third ed.). Mc Graw Hill.
- Genescá Llongueras, J. (2002). *Extrapolación de Tafel (intersección). En Técnicas electroquímicas para el control y estudio de la corrosión*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- González, J. (2014). *MODELOS DE PENETRACIÓN DEL IÓN CLORURO ORIENTADOS A LA REDUCCIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO*. Bogotá, D.C.: Universidad Nacional de Colombia.
- Gusman Gonzalez, O. (2008). *Influencia del agrietamiento del concreto en la corrosión*. Oaxaca de Juarez.
- Hernández, E., & Gil, L. M. (2007). *HORMIGÓN ARMADO Y PRETENSADO*. Granada - España: Gráficas Alhambra.

- INECYC. (2009). *Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Concreto. Control de Calidad en el Hormigón. Control por Resistencia Parte I*. Quito-Ecuador: Imprenta NOCIÓN.
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (Febrero de 2007). *Concreto reforzado con fibras*. Obtenido de <http://www.imcyc.com/ct2007/feb07/problemas.htm>
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Portland Cement Association*. Mexico: Grupo Apasco.
- Lorenzo, S. (s.f.). *Tecnología del Hormigón*. Obtenido de <http://www.lorenzoservidor.com.ar/facu01/modulo6/modulo6.htm>
- Love, T. (2006). *El concreto en la construcción*. Mexico: Trillas.
- Mármol, P. (2010). *Hormigones con Fibras de Acero Características Mecánicas. Trabajo Fin de Máster*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Mays, G. (1992). *Durability of Concrete Structures: Investigation, repair, protection*. New York: E&FN SPON.
- Moragues Terrades, A. (15 de 07 de 2010). *PROCESOS DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO Y MICROESTRUCTURA DEL HORMIGÓN*. Obtenido de Universidad Politécnica de Madrid: <http://prt2.uprm.edu/Microestructura.pdf>
- NTE INEN 1573. (2010). *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico*.
- NTE INEN 1576. (2011). *Hormigón de cemento hidráulico. Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo*.
- NTE INEN 2554. (2011). *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la flexión del hormigón. (Utilizando una viga simple con carga en los tercios)*.
- NTE INEN 696. (2011). *Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso*.
- NTE INEN 697. (2010). *Áridos. Determinación del material más fino que pasa el tamiz con aberturas de 75 μ m (No. 200), mediante lavado*.
- NTE INEN 856. (2010). *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino*.
- NTE INEN 857. (2010). *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso*.

- NTE INEN 858. (2010). *Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos.*
- 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.*
- NTE INEN 862. (2011). *Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad.*
- NTE INEN 872. (2011). *Áridos para hormigón. Requisitos.*
- Rivera, G. (2009). *Concreto Simple.* Cauca-Colombia: Universidad del Cauca.
- Romo, M. (2008). *Temas de Hormigón Armado.* Quito-Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército.
- Torroja, I. (1989). *Manual inspección de obras dañadas por corrosión de armaduras.* Madrid, España: Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción. .
- Tuutti, K. (1982). *Corrosion of Steel in Concrete.* Stockholm, The Swedish Cement and Concrete Association.
- Villarino, A. (2011). *Ciencia y Tecnología de los Materiales.* Ávila - España: Escuela Politécnica Superior de Ávila.
- Zapater y Pérez. (2009). *El acero estructural para la ingeniería mecánica.* Mexico D.F.: Mexico D.F.

ANEXOS

Anexo 1. Hormigón clase T.



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

MÉTODO: ACI
MATERIALES: Arena triturada y grava
PROVIENE: Bahía de Caraquez (Cantón Sucre)
RESISTENCIA: 240 Kg/cm²
REALIZADO POR: Marco Antonio Guaya O.
FECHA: Ene-18

DATOS DE LOS MATERIALES						
MATERIALES	ORIGEN	D _{ss}	D _{ac}	D _a	M.F.	% AD.
CEMENTO		3.15				
ARENA	JIPIJAPA	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.PESC	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.PESC	D. UNIT.	D. SACO	VOL. AP.	PARI.
ARENA	351	885	2.20	110.07	72.56	2.2
GRAVA	317	906	2.25	112.65	75.86	2.3

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.
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: Picoasa (Jipijapa)
REALIZADO POR : Marco Antonio Guaya O.

MATERIAL: Arena triturada
FECHA: Ene-18

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 ³)	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 ³)	M	1.485	1.508	1.528	1.549

Densidad Aparente estado suelto:	$M = \frac{(G - T)}{V}$	Valor Promedio Masa Unitaria o Densidad Aparente sin varillar 1.517 kg/m³
----------------------------------	-------------------------	---

MASA UNITARIA O DENSIDAD APARENTE EN ESTADO COMPACTADO

Ensayo número		1	2	3	4
Volumen del recipiente: (m ³)	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 ³)	M	1.713	1.730	1.725	1.758

Densidad Aparente estado compactado:	$M = \frac{(G - T)}{V}$	Valor Promedio Masa Unitaria o Densidad Aparente por varillado 1.732 kg/m³
--------------------------------------	-------------------------	--

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

Marco Antonio Guaya O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN

Observaciones: _____



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

NORMA: AASHTO T-19
PROVIENE: San Isidro (Bahía de Caraquez)
REALIZADO POR : Marco Antonio Guaya O.

MATERIAL: Árido grueso (3/4")
FECHA: Ene -18

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 ³)	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	27.726	27.611	27.906	27.726
Peso de la muestra de ensayo (kg)	G - T	18.400	18.285	18.580	18.400
Densidad aparente: (kg/m ³)	M	1.484	1.475	1.498	1.484

Densidad Aparente estado suelto:	$M = \frac{(G - T)}{V}$	Valor Promedio Masa Unitaria o Densidad Aparente sin varillar 1.485 kg/m³
----------------------------------	-------------------------	---

MASA UNITARIA O DENSIDAD APARENTE EN ESTADO COMPACTADO

Ensayo número		1	2	3	4
Volumen del recipiente: (m ³)	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	30.416	30.154	30.241	30.476
Peso de la muestra de ensayo (kg)	G - T	21.090	20.828	20.915	21.150
Densidad aparente: (kg/m ³)	M	1.701	1.680	1.687	1.706

Densidad Aparente estado compactado:	$M = \frac{(G - T)}{V}$	Valor Promedio Masa Unitaria o Densidad Aparente por varillado 1.693 kg/m³
--------------------------------------	-------------------------	--

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

Marco Antonio Guaya O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN

Observaciones: _____



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

NORMA: ASTM C128

MATERIAL: Arena triturada

PROVIENE: JIPIJAPA (Picoaza)

FECHA: Ene-18

REALIZADO POR : Marco Antonio Guaya O.

DATOS		
PESO PICNOMETRO MAS AGUA:	659.19	gr
PESO PICNOMETRO:	160.37	gr
VOLUMEN PICNOMETRO:	498.82	cc
PESO TOTAL:	960.90	gr
PESO SUELO SECO:	468.93	gr
DENSIDAD MASIVA:	2.36	gr/cm ³
DENSIDAD SSS:	2.522	gr/cm ³
DENSIDAD APARENTE:	2.80	gr/cm ³
ABSORCION:	6.63%	

Ing. Bolívar Hernán Maza

**DIRECTOR DE PROYECTO DE
FIN DE TITULACIÓN**

Marco Antonio Guaya O.

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 Caraquez (Cantón Sucre)

FECHA: Ene-18

REALIZADO POR : Marco Antonio Guaya O.

DATOS:		
PESO EN EL AIRE:	2280.00	gr
PESO SUMERGIDO:	1483.00	gr
PESO SECO:	2250.00	gr
DENSIDAD MASIVA:	2.82	gr/cm ³
DENSIDAD SSS:	2.861	gr/cm ³
DENSIDAD APARENTE:	2.93	gr/cm ³
ABSORCION:	1.33%	

Ing. Bolívar Hernán Maza

**DIRECTOR DE PROYECTO DE
FIN DE TITULACIÓN**

Marco Antonio Guaya O.

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)

MATERIAL: Arena triturada corregida

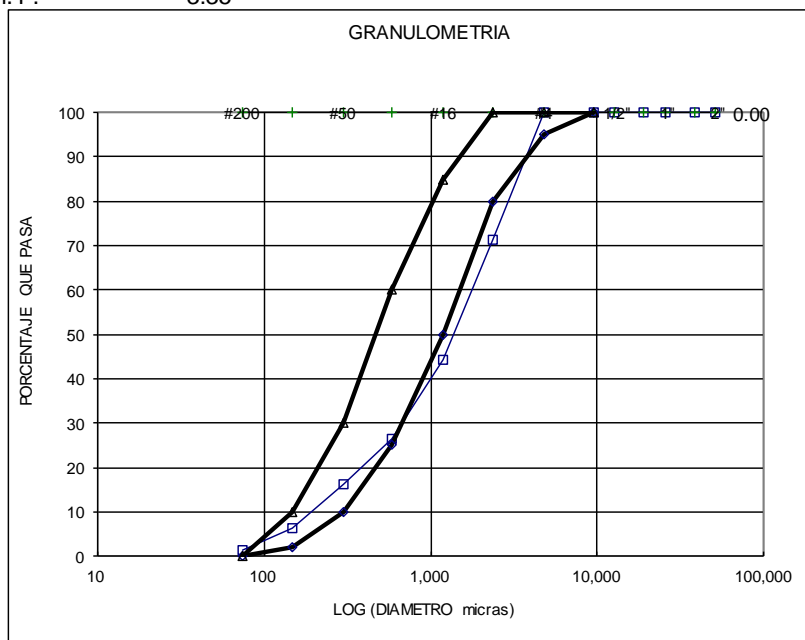
PROVIENE: Picoasa (Jipijapa)

FECHA: Ene-18

REALIZADO : Marco Antonio Guaya O.

mm	TAMIZ	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% PASA	% PASA CORREGIDO	% RETENIDO ACUMULADO
50	2	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00
37.5	1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00
25	1"	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00
19	3/4"	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00
12.5	1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00
9.5	3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00
4.750	Nº 4	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00
	Pasa Nº 4	1,854.46	1,854.46	100.00			
	TOTAL	1,854.46	1,854.46	100.00			
	PESO HUM=	1854.46		0.00		1854.46	
2.360	Nº 8	533.20	533.20	28.75	71.25	71.25	28.75
1.180	Nº 16	503.07	1036.27	55.88	44.12	44.12	55.88
0.600	Nº 30	325.32	1361.59	73.42	26.58	26.58	73.42
0.300	Nº50	192.35	1553.94	83.79	16.21	16.21	83.79
0.150	Nº100	182.47	1736.41	93.63	6.37	6.37	93.63
0.075	Nº200	91.19	1827.60	98.55	1.45	1.45	98.55
	PASA #200	26.86	26.86	1.45			
	TOTAL	1854.46	1854.46	100.00			

M. F. 3.35



OBSERVACION El tamaño nominal del agregado es igual a 3/8 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 TITULACIÓN

Marco Antonio Guaya O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



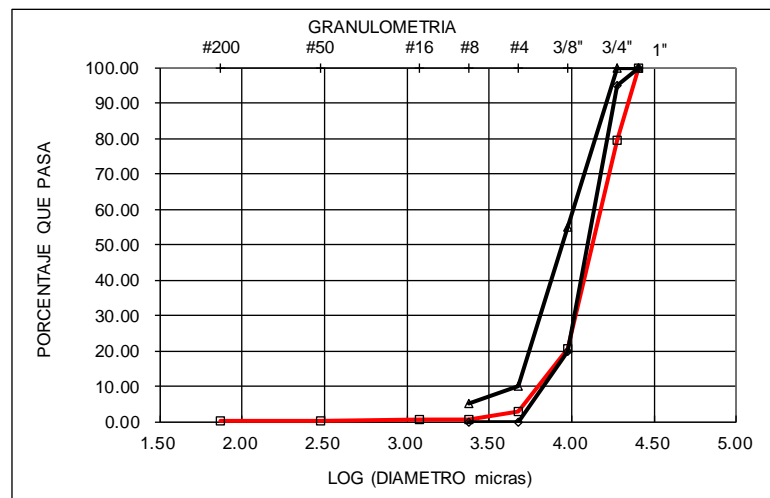
UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

NORMA: NTE INEN 696 (ASTM C136)
PROVIENE: San Isidro
REALIZADO : Marco Antonio Guaya O.

MATERIAL: Árido grueso
FECHA: Ene-18

mm	TAMIZ	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% PASA	% PASA CORREGIDO	% RETENIDO ACUMULADO
75.00	3	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00
50	2	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00
37.5	1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00
25	1"	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00
19	3/4"	908.64	908.64	20.46	79.54	79.54	20.46
12.5	1/2"	1,858.98	2,767.62	62.33	37.67	37.67	62.33
9.5	3/8"	753.88	3,521.50	79.31	20.69	20.69	79.31
4.750	Nº 4	792.87	4,314.37	97.17	2.83	2.83	97.17
	Pasa Nº 4	125.63	125.63	2.83			
	TOTAL	4,440.00	4,440.00	100.00			
	PESO HUM=	125.63		0.00		125.63	
2.360	Nº 8	92.48	92.48	73.61	26.39	0.75	99.25
1.180	Nº 16	13.11	105.59	84.05	15.95	0.45	99.55
0.600	Nº 30	1.82	107.41	85.50	14.50	0.41	99.59
0.300	Nº50	1.50	108.91	86.69	13.31	0.38	99.62
0.150	Nº100	3.87	112.78	89.77	10.23	0.29	99.71
0.075	Nº200	5.28	118.06	93.97	6.03	0.17	99.83
	PASA Nº200	7.57	7.57	6.03			
	TOTAL	125.63	125.63	100.00			

M. F. 7.57



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

Marco Antonio Guaya O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN

Anexo 2. Hormigón clase M.



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 Caraquez (Cantón Sucre)	RESISTENCIA:	240 Kg/cm ²
REALIZADO POR :	Marco Antonio Guaya O.	FECHA:	Ene-18

DOSIFICACION DE HORMIGONES

DATOS DE LOS MATERIALES

MATERIAL	ORIGEN	D _{ss}	D _{ac}	D _a	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.PESC	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	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.PESC	D. UNIT.	D. SACO	VOL. AP.	PARI.
ARENA	187	516	1.28	64.22	43.36	1.34
GRAVA	480	1375	3.42	170.99	115.15	3.5

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.
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 Caraquez (Cantón Sucre)
REALIZADO POR : Marco Antonio Guaya O.

MATERIAL: Arena fina de mar
FECHA: Ene-18

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 ³)	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 ³)	M	1.500	1.477	1.481	1.466

Densidad Aparente estado suelto:	$M = \frac{(G - T)}{V}$	Valor Promedio Masa Unitaria o Densidad Aparente sin varillar 1.481 kg/m³
----------------------------------	-------------------------	---

MASA UNITARIA O DENSIDAD APARENTE EN ESTADO COMPACTADO

Ensayo número		1	2	3	4
Volumen del recipiente: (m ³)	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 ³)	M	1.664	1.662	1.660	1.664

Densidad Aparente estado compactado:	$M = \frac{(G - T)}{V}$	Valor Promedio Masa Unitaria o Densidad Aparente por varillado 1.663 kg/m³
--------------------------------------	-------------------------	--

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

Marco Antonio Guaya O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN

Observaciones: _____



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

NORMA: AASHTO T-19
PROVIENE: San Isidro (Bahía de Caraquez)
REALIZADO POR : Marco Antonio Guaya O.

MATERIAL: Árido grueso (3/4")
FECHA: Ene - 18

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 ³)	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	27.726	27.611	27.906	27.726
Peso de la muestra de ensayo (kg)	G - T	18.400	18.285	18.580	18.400
Densidad aparente: (kg/m ³)	M	1.484	1.475	1.498	1.484

Densidad Aparente estado suelto:	$M = \frac{(G - T)}{V}$	Valor Promedio Masa Unitaria o Densidad Aparente sin varillar 1.485 kg/m³
----------------------------------	-------------------------	---

MASA UNITARIA O DENSIDAD APARENTE EN ESTADO COMPACTADO

Ensayo número		1	2	3	4
Volumen del recipiente: (m ³)	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	30.416	30.154	30.241	30.476
Peso de la muestra de ensayo (kg)	G - T	21.090	20.828	20.915	21.150
Densidad aparente: (kg/m ³)	M	1.701	1.680	1.687	1.706

Densidad Aparente estado compactado:	$M = \frac{(G - T)}{V}$	Valor Promedio Masa Unitaria o Densidad Aparente por varillado 1.693 kg/m³
--------------------------------------	-------------------------	--

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

Marco Antonio Guaya O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN

Observaciones: _____



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

NORMA: ASTM C128

PROVIENE: Bahía de Caraquez (Cantón Sucre)

REALIZADO POR : Marco Antonio Guaya O.

MATERIAL: Árido fino

FECHA: Ene-18

DATOS:		
PESO PICNOMETRO MAS AGUA:	659.19	gr
PESO PICNOMETRO:	160.37	gr
VOLUMEN PICNOMETRO:	498.82	cc
PESO TOTAL:	978.13	gr
PESO SUELO SECO:	496.83	gr
DENSIDAD MASIVA:	2.74	gr/cm ³
DENSIDAD SSS:	2.762	gr/cm ³
DENSIDAD APARENTE:	2.79	gr/cm ³
ABSORCION:	0.64%	

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

Marco Antonio Guaya O.
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: San Isidro

FECHA: Ene-18

REALIZADO POR : Marco Antonio Guaya O.

DATOS:		
PESO EN EL AIRE:	2280.00	gr
PESO SUMERGIDO:	1483.00	gr
PESO SECO:	2250.00	gr
DENSIDAD MASIVA:	2.82	gr/cm ³
DENSIDAD SSS:	2.861	gr/cm ³
DENSIDAD APARENTE:	2.93	gr/cm ³
ABSORCION:	1.33%	

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

Marco Antonio Guaya O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



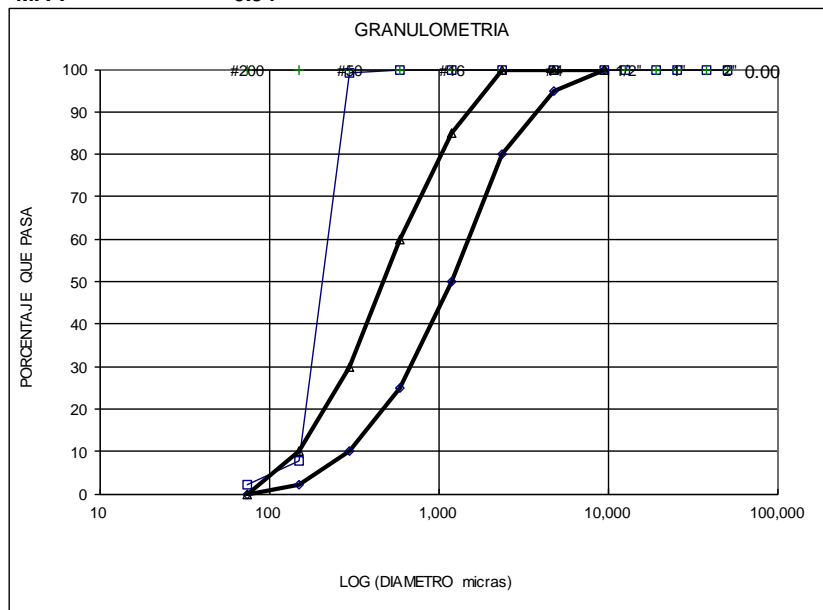
UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

NORMA: NTE INEN 696 (ASTM C136)
PROVIENE: Bahía de Caraquez (Cantón Sucre)
REALIZADO : Marco Antonio Guaya O.

MATERIAL: Árido fino corregido
FECHA: Ene-18

mm	TAMIZ	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% PASA	% PASA CORREGIDO	% RETENIDO ACUMULADO
50	2	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00
37.5	1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00
25	1"	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00
19	3/4"	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00
12.5	1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00
9.5	3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00
4.750	Nº 4	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00
	Pasa Nº 4	1,534.50	1,534.50	100.00			
	TOTAL	1,534.50	1,534.50	100.00			
	PESO HUM=	1534.50		0.00		1534.50	
2.360	Nº 8	1.40	1.40	0.09	99.91	99.91	0.09
1.180	Nº 16	1.19	2.59	0.17	99.83	99.83	0.17
0.600	Nº 30	0.70	3.29	0.21	99.79	99.79	0.21
0.300	Nº50	10.67	13.96	0.91	99.09	99.09	0.91
0.150	Nº100	1399.86	1413.82	92.14	7.86	7.86	92.14
0.075	Nº200	90.03	1503.85	98.00	2.00	2.00	98.00
	PASA Nº200	30.65	30.65	2.00			
	TOTAL	1534.50	1534.50	100.00			

M. F. 0.94



OBSERVACION El tamaño nominal del agregado es menor a 3/8 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 TITULACIÓN

Marco Antonio Guaya O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



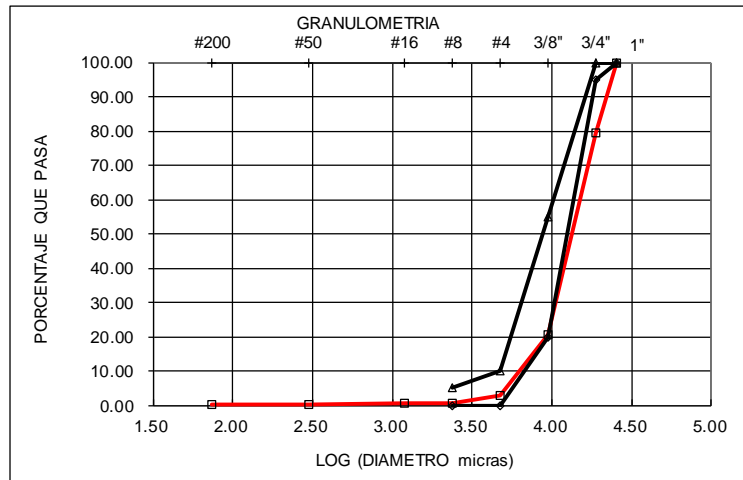
UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

NORMA: NTE INEN 696 (ASTM C136)
PROVIENE: San Isidro
REALIZADO : Marco Antonio Guaya O.

MATERIAL: Árido grueso
FECHA: Ene-18

mm	TAMIZ	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% PASA	% PASA CORREGIDO	% RETENIDO ACUMULADO
75.00	3	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00
50	2	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00
37.5	1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00
25	1"	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00
19	3/4"	908.64	908.64	20.46	79.54	79.54	20.46
12.5	1/2"	1,858.98	2,767.62	62.33	37.67	37.67	62.33
9.5	3/8"	753.88	3,521.50	79.31	20.69	20.69	79.31
4.750	Nº 4	792.87	4,314.37	97.17	2.83	2.83	97.17
	Pasa Nº 4	125.63	125.63	2.83			
	TOTAL	4,440.00	4,440.00	100.00			
	PESO HUM=	125.63		0.00		125.63	
2.360	Nº 8	92.48	92.48	73.61	26.39	0.75	99.25
1.180	Nº 16	13.11	105.59	84.05	15.95	0.45	99.55
0.600	Nº 30	1.82	107.41	85.50	14.50	0.41	99.59
0.300	Nº50	1.50	108.91	86.69	13.31	0.38	99.62
0.150	Nº100	3.87	112.78	89.77	10.23	0.29	99.71
0.075	Nº200	5.28	118.06	93.97	6.03	0.17	99.83
	PASA Nº200	7.57	7.57	6.03			
	TOTAL	125.63	125.63	100.00			

M. F. 7.57



OBSERVACIONES: El tamaño nominal del agregado es menor a 1 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 TITULACIÓN

Marco Antonio Guaya O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN

Anexo 3. Hormigón clase A.



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

MÉTODO: ACI
PROVIENE: Bahía de Caraquez (Cantón Sucre) - Catamayo
REALIZADO POR: Marco Antonio Guaya O.
MATERIALES: Arena y grava
RESISTENCIA: 240 Kg/cm²
FECHA: Ene-18

DOSIFICACION DE HORMIGONES

DATOS DE LOS MATERIALES

MATERIALES	ORIGEN	D _{ss}	D _{ac}	D _a	M.F.	%AD.
CEMENTO		3.15				
ARENA 40T - 60M	BAHIA / CATAMAYITO	2.699	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	0					
AGUA	205	205	0.51	25.50		205
ARENA	251	677	1.68	84.20	54.35	437
GRAVA	417	1102	2.74	137.07	99.76	802
TOTAL	1000	2386		H. F.	2.39	

CORRECCION DE ARENA Y GRAVA

MATERIAL	VOL.REAL	DOS.PESO	D. UNIT.	D. SACO	VOL. AP.	PARI.
ARENA	242	654	1.63	81.35	52.52	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

Marco Antonio Guaya O.
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 Caraquez - Catamayito
REALIZADO POR : Marco Antonio Guaya O.

MATERIAL: Arena fina de mar 60% - 40% Catamayito
FECHA: Ene-18

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 ³)	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 ³)	M	1.549	1.547	1.543	1.557

Densidad Aparente estado suelto:	$M = \frac{(G - T)}{V}$	Valor Promedio Masa Unitaria o Densidad Aparente sin varillar 1.549 kg/m³
----------------------------------	-------------------------	---

MASA UNITARIA O DENSIDAD APARENTE EN ESTADO COMPACTADO

Ensayo número		1	2	3	4
Volumen del recipiente: (m ³)	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 ³)	M	1.689	1.687	1.689	1.687

Densidad Aparente estado compactado:	$M = \frac{(G - T)}{V}$	Valor Promedio Masa Unitaria o Densidad Aparente por varillado 1.688 kg/m³
--------------------------------------	-------------------------	--

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

Marco Antonio Guaya O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN

Observaciones: _____



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 : Marco Antonio Guaya O.

MATERIAL: Árido grueso (3/4")
FECHA: Ene-18

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 ³)	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 ³)	M	1.360	1.374	1.390	1.374

Densidad Aparente estado suelto:	$M = \frac{(G - T)}{V}$	Valor Promedio Masa Unitaria o Densidad Aparente sin varillar 1.374 kg/m³
----------------------------------	-------------------------	---

MASA UNITARIA O DENSIDAD APARENTE EN ESTADO COMPACTADO

Ensayo número		1	2	3	4
Volumen del recipiente: (m ³)	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 ³)	M	1.543	1.543	1.552	1.571

Densidad Aparente estado compactado:	$M = \frac{(G - T)}{V}$	Valor Promedio Masa Unitaria o Densidad Aparente por varillado 1.552 kg/m³
--------------------------------------	-------------------------	--

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

Marco Antonio Guaya O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN

Observaciones: _____



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

NORMA: ASTM C128

MATERIAL: Árido fino

PROVIENE: Bahía de Caraquez (Cantón Sucre)

FECHA: Ene-18

REALIZADO POR : Marco Antonio Guaya O.

DATOS:		
PESO PICNOMETRO MAS AGUA:	659.19	gr
PESO PICNOMETRO:	160.37	gr
VOLUMEN PICNOMETRO:	498.82	cc
PESO TOTAL:	978.13	gr
PESO SUELO SECO:	496.83	gr
<hr/>		
DENSIDAD MASIVA:	2.74	gr/cm ³
DENSIDAD SSS:	2.762	gr/cm ³
DENSIDAD APARENTE:	2.79	gr/cm ³
ABSORCION:	0.64%	

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

Marco Antonio Guaya O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



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

NORMA: NTE INEN 856 (ASTM C128)
PROVIENE: Catamayito
REALIZADO POR : Marco Antonio Guaya O.

MATERIAL: Arena Triturada
FECHA: Ene-18

**DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA)
Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO**

NUMERO DE ENSAYO		1
Peso de la muestra secada en el horno (g)	A	493.20
Peso del picnómetro lleno con agua (g)	B	1475.90
Peso del picnómetro + muestra + agua (g)	C	1784.50
Peso de la muestra en condición sss (g)	S	500.00
Densidad relativa seca al horno (DRSH)	A/(B+S-C)	2.577
Densidad relativa saturada superficialmente seca (DRSSS)	S/(B+S-C)	2.612
Densidad relativa aparente (DRA)	A/(B+A-C)	2.672
Porcentaje de absorción	((S-A)/A)x100	1.38

Densidad relativa seca al horno (DRSH)= 2.577

Densidad relativa saturada superficialmente seca (DRSSS) = 2.612

Densidad relativa aparente (DRA) = 2.672

Densidad (SH)= 2570.36 kg/m³

Densidad (SSS)= 2605.80 kg/m³

Densidad aparente= 2665.04 kg/m³

Porcentaje de absorción (%)= 1.38 %

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

Marco Antonio Guaya O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN

Observaciones: _____



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

NORMA: NTE INEN 857 (ASTM C127)
PROVIENE: Catamayito
REALIZADO POR : Marco Antonio Guaya O.

MATERIAL: Árido Grueso (3/4")
FECHA: Ene-18

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO

NUMERO DE ENSAYO	1
Masa de la muestra secada en el horno (g)	A 1355.00
Masa de la muestra en condición sss (g)	B 1362.00
Masa en el agua de la muestra en condición sss (g)	C 847.00
Densidad relativa seca al horno (DRSH)	A/(B-C) 2.631
Densidad relativa saturada superficialmente seca (DRSSS)	B/(B-C) 2.645
Densidad relativa aparente (DRA)	A/(A-C) 2.667
Porcentaje de absorción	((B-A)/A)x100 0.52

Densidad relativa seca al horno (DRSH)= 2.631

Densidad relativa saturada superficialmente seca (DRSSS) = 2.645

Densidad relativa aparente (DRA) = 2.667

Densidad (SH)= 2631.07 kg/m³

Densidad (SSS)= 2644.66 kg/m³

Densidad aparente= 2667.32 kg/m³

Porcentaje de absorción (%)= 0.52 %

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

Marco Antonio Guaya O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN

Observaciones: _____



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

MEZCLA ARENA PARA HORMIGON

PROYEC : TESIS DE GRADO

OBRA : MODULO DE FINURA TENTATIVO

MUESTRA # 1: ARENA TRITURADA

LOCALZ.: BAHIA DE CARAQUEZ

MUESTRA # 2: ARENA DE MAR

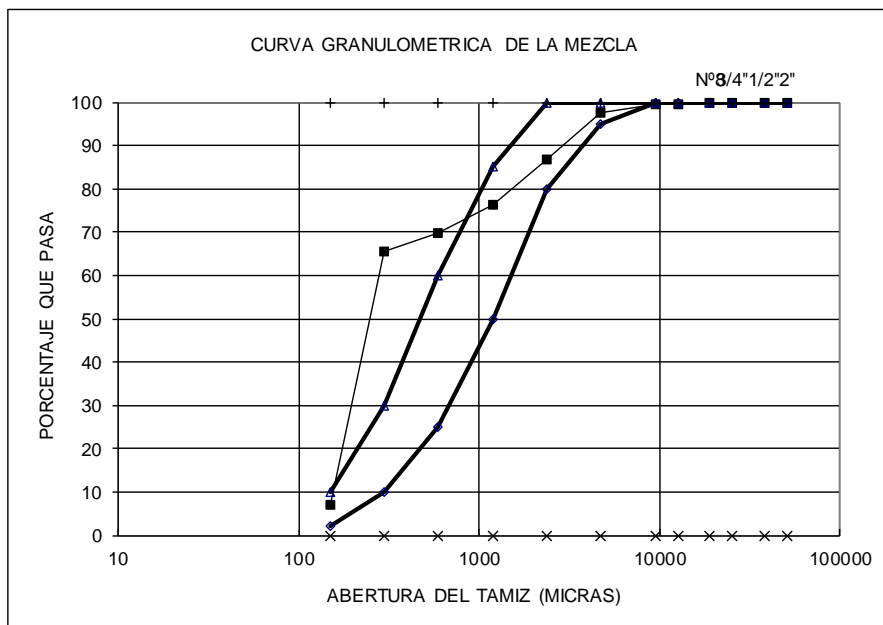
FECHA : JUNIO 2017

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	99.82	0.18
1/2"	99.07	100.00		100.00	100.00	99.63	0.37
3/8"	98.78	100.00		100.00	100.00	99.51	0.49
Nº4	93.90	99.97		95.00	100.00	97.54	2.46
Nº8	66.90	99.98		80.00	100.00	86.75	13.25
Nº16	41.43	99.80		50.00	85.00	76.45	23.55
Nº30	24.96	99.75		25.00	60.00	69.83	30.17
Nº50	15.22	99.06		10.00	30.00	65.52	34.48
Nº100	5.98	7.86		2.00	10.00	7.11	92.89
Nº200	1.36	2.00		0.00	0.00	1.74	98.26

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

MF: 1.98



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

Marco Antonio Guaya O.
 PROFESIONAL EN FORMACIÓN

Anexo 4. Hormigón clase B.



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 Caraquez (Cantón Sucre) - Catamayito

RESISTENCIA: 240 Kg/cm²

REALIZADO POR: Marco Antonio Guaya O.

FECHA: Ene-18

DOSIFICACION DE HORMIGONES

DATOS DE LOS MATERIALES

MATERIALES	ORIGEN	D _{ss}	D _{ac}	D _a	M.F.	%AD.
CEMENTO		3.15				
ARENA 50T - 50M	BAHIA / CATAMAYO	2.685	1.727	1.568	2.24	0.87
GRAVA 3/4	CATAMAYO	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	741	1.84	92.19	58.78	473
GRAVA	391	1035	2.58	128.77	93.72	753
TOTAL	1000	2383		H. F.	2.38	

CORRECCIÓN DE ARENA Y GRAVA

MATERIAL	VOL.REAL	DOS.PESO	D. UNIT.	D. SACO	VOL. AP.	PARI.
ARENA	266	714	1.78	88.84	56.64	1.69
GRAVA	401	1062	2.64	132.07	96.12	2.9

PARIHUELAS

ARENA	32cm.	32cm.	33 cm.
GRAVA	32cm.	32cm.	32 cm.

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

Marco Antonio Guaya O.
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 Caraquez - Catamayito
REALIZADO POR : Marco Antonio Guaya O.

MATERIAL: Arena fina de mar 50% - 50% Catamayito
FECHA: Ene-18

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 ³)	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 ³)	M	1.568	1.560	1.558	1.587

Densidad Aparente estado suelto:	$M = \frac{(G - T)}{V}$	Valor Promedio Masa Unitaria o Densidad Aparente sin varillar 1.568 kg/m³
----------------------------------	-------------------------	---

MASA UNITARIA O DENSIDAD APARENTE EN ESTADO COMPACTADO

Ensayo número		1	2	3	4
Volumen del recipiente: (m ³)	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 ³)	M	1.723	1.738	1.728	1.721

Densidad Aparente estado compactado:	$M = \frac{(G - T)}{V}$	Valor Promedio Masa Unitaria o Densidad Aparente por varillado 1.727 kg/m³
--------------------------------------	-------------------------	--

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

Marco Antonio Guaya O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN

Observaciones: _____



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 : Marco Antonio Guaya O.

MATERIAL: Árido grueso (3/4")
FECHA: Ene-18

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 ³)	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 ³)	M	1.360	1.374	1.390	1.374

Densidad Aparente estado suelto:	$M = \frac{(G - T)}{V}$	Valor Promedio Masa Unitaria o Densidad Aparente sin varillar 1.374 kg/m³
----------------------------------	-------------------------	---

MASA UNITARIA O DENSIDAD APARENTE EN ESTADO COMPACTADO

Ensayo número		1	2	3	4
Volumen del recipiente: (m ³)	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 ³)	M	1.543	1.543	1.552	1.571

Densidad Aparente estado compactado:	$M = \frac{(G - T)}{V}$	Valor Promedio Masa Unitaria o Densidad Aparente por varillado 1.552 kg/m³
--------------------------------------	-------------------------	--

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

Marco Antonio Guaya O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN

Observaciones: _____



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

NORMA: ASTM C128

MATERIAL: Árido fino

PROVIENE: Bahía de Caraquez (Cantón Sucre)

FECHA: Ene-18

REALIZADO POR : Marco Antonio Guaya O.

DATOS:		
PESO PICNOMETRO MAS AGUA:	659.19	gr
PESO PICNOMETRO:	160.37	gr
VOLUMEN PICNOMETRO:	498.82	cc
PESO TOTAL:	978.13	gr
PESO SUELO SECO:	496.83	gr
<hr/>		
DENSIDAD MASIVA:	2.74	gr/cm ³
DENSIDAD SSS:	2.762	gr/cm ³
DENSIDAD APARENTE:	2.79	gr/cm ³
ABSORCION:	0.64%	

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

Marco Antonio Guaya O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



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

NORMA: NTE INEN 856 (ASTM C128)
PROVIENE: Catamayito
REALIZADO POR : Marco Antonio Guaya O.

MATERIAL: Arena Triturada
FECHA: Ene-18

**DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA)
Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO**

NUMERO DE ENSAYO		1
Peso de la muestra secada en el horno (g)	A	493.20
Peso del picnómetro lleno con agua (g)	B	1475.90
Peso del picnómetro + muestra + agua (g)	C	1784.50
Peso de la muestra en condición sss (g)	S	500.00
Densidad relativa seca al horno (DRSH)	$A/(B+S-C)$	2.577
Densidad relativa saturada superficialmente seca (DRSSS)	$S/(B+S-C)$	2.612
Densidad relativa aparente (DRA)	$A/(B+A-C)$	2.672
Porcentaje de absorción	$((S-A)/A) \times 100$	1.38

Densidad relativa seca al horno (DRSH)= 2.577

Densidad relativa saturada superficialmente seca (DRSSS) = 2.612

Densidad relativa aparente (DRA) = 2.672

Densidad (SH)= 2570.36 kg/m³

Densidad (SSS)= 2605.80 kg/m³

Densidad aparente= 2665.04 kg/m³

Porcentaje de absorción (%)= 1.38 %

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

Marco Antonio Guaya O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN

Observaciones: _____



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

NORMA: NTE INEN 857 (ASTM C127)
PROVIENE: Catamayito
REALIZADO POR : Marco Antonio Guaya O.

MATERIAL: Árido Grueso (3/4")
FECHA: Ene-18

**DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA)
Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO**

NUMERO DE ENSAYO		1
Masa de la muestra secada en el horno (g)	A	1355.00
Masa de la muestra en condición sss (g)	B	1362.00
Masa en el agua de la muestra en condición sss (g)	C	847.00
Densidad relativa seca al horno (DRSH)	A/(B-C)	2.631
Densidad relativa saturada superficialmente seca (DRSSS)	B/(B-C)	2.645
Densidad relativa aparente (DRA)	A/(A-C)	2.667
Porcentaje de absorción	((B-A)/A)x100	0.52

Densidad relativa seca al horno (DRSH)= 2.631

Densidad relativa saturada superficialmente seca (DRSSS)= 2.645

Densidad relativa aparente (DRA) = 2.667

Densidad (SH)= 2631.07 kg/m³

Densidad (SSS)= 2644.66 kg/m³

Densidad aparente= 2667.32 kg/m³

Porcentaje de absorción (%)= 0.52 %

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

Marco Antonio Guaya O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN

Observaciones: _____



MEZCLA ARENA PARA HORMIGON

PROYEC : TESIS DE GRADO

OBRA : MODULO DE FINURA TENTATIVO

MUESTRA # 1: ARENA TRITURADA

LOCALZ.: BAHIA DE CARAQUEZ

MUESTRA # 2: ARENA DE MAR

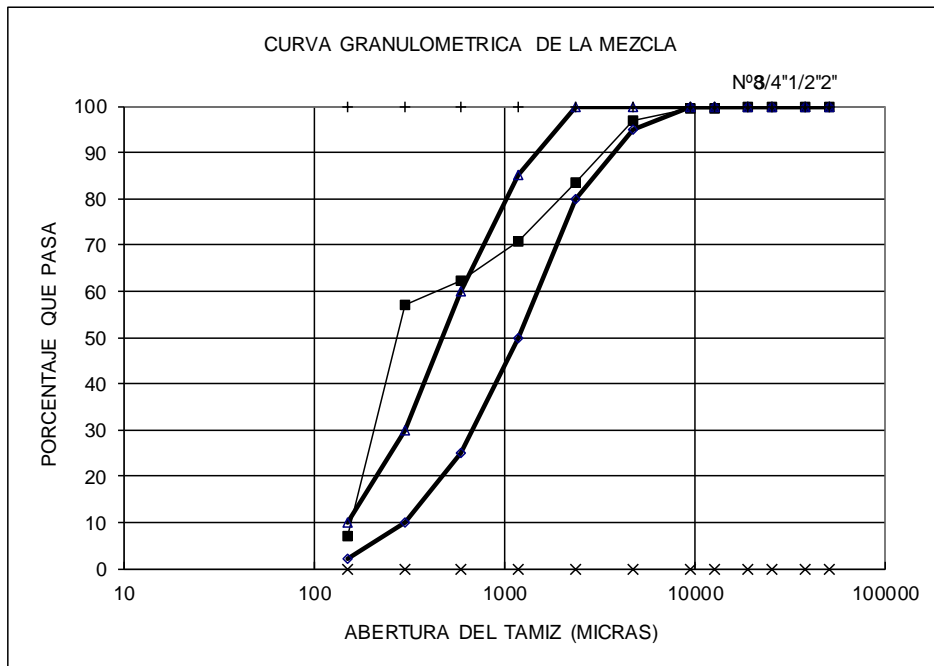
FECHA : JUNIO 2017

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	99.77	0.23
1/2"	99.07	100.00		100.00	100.00	99.54	0.47
3/8"	98.78	100.00		100.00	100.00	99.39	0.61
Nº4	93.90	99.97		95.00	100.00	96.94	3.07
Nº8	66.90	99.98		80.00	100.00	83.44	16.56
Nº16	41.43	99.80		50.00	85.00	70.62	29.39
Nº30	24.96	99.75		25.00	60.00	62.36	37.65
Nº50	15.22	99.06		10.00	30.00	57.14	42.86
Nº100	5.98	7.86		2.00	10.00	6.92	93.08
Nº200	1.36	2.00		0.00	0.00	1.68	98.32

MUESTRA Nº 1 % = 50
 MUESTRA Nº 2 % = 50
 MUESTRA Nº 3 % = 0

MF: 2.24



Anexo 5. Hormigón clase C.



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 Caraquez (Cantón Sucre) - Catamayito

RESISTENCIA: 240 Kg/cm²

REALIZADO POR : Marco Antonio Guaya O.

FECHA: Ene-18

DOSIFICACION DE HORMIGONES

DATOS DE LOS MATERIALES

MATERIALES	ORIGEN	D _{ss}	D _{ac}	D _a	M.F.	%AD.
CEMENTO		3.15				
ARENA 60T - 40M	BAHIA / CATAMAYO	2.67	1.764	1.576	2.5	0.94
GRAVA 3/4	CATAMAYO	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	0					
AGUA	205	205	0.51	25.50		205
ARENA	292	779	1.94	96.93	61.49	494
GRAVA	376	993	2.47	123.55	89.92	723
TOTAL	1000	2380		H. F.	2.38	

CORRECCION DE ARENA Y GRAVA

MATERIAL	VOL.REAL	DOS.PESO	D. UNIT.	D. SACO	VOL. AP.	PARI.
ARENA	280	748	1.86	93.04	59.02	1.8
GRAVA	387	1024	2.55	127.41	92.73	2.8

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.
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 Caraquez - Catamayito
REALIZADO POR : Marco Antonio Guaya O.

MATERIAL: Arena fina de mar 40% - 60% Catamayito
FECHA: Ene - 18

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 ³)	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 ³)	M	1.566	1.557	1.589	1.594

Densidad Aparente estado suelto:	$M = \frac{(G - T)}{V}$	Valor Promedio Masa Unitaria o Densidad Aparente sin varillar 1.576 kg/m³
----------------------------------	-------------------------	---

MASA UNITARIA O DENSIDAD APARENTE EN ESTADO COMPACTADO

Ensayo número		1	2	3	4
Volumen del recipiente: (m ³)	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 ³)	M	1.762	1.772	1.758	1.762

Densidad Aparente estado compactado:	$M = \frac{(G - T)}{V}$	Valor Promedio Masa Unitaria o Densidad Aparente por varillado 1.764 kg/m³
--------------------------------------	-------------------------	--

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

Marco Antonio Guaya O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN

Observaciones: _____



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 : Marco Antonio Guaya O.

MATERIAL: Árido grueso (3/4")
FECHA: Ene - 18

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 ³)	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 ³)	M	1.360	1.374	1.390	1.374

Densidad Aparente estado suelto:	$M = \frac{(G - T)}{V}$	Valor Promedio Masa Unitaria o Densidad Aparente sin varillar 1.374 kg/m³
----------------------------------	-------------------------	---

MASA UNITARIA O DENSIDAD APARENTE EN ESTADO COMPACTADO

Ensayo número		1	2	3	4
Volumen del recipiente: (m ³)	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 ³)	M	1.543	1.543	1.552	1.571

Densidad Aparente estado compactado:	$M = \frac{(G - T)}{V}$	Valor Promedio Masa Unitaria o Densidad Aparente por varillado 1.552 kg/m³
--------------------------------------	-------------------------	--

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

Marco Antonio Guaya O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN

Observaciones: _____



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

NORMA: ASTM C128

MATERIAL: Árido fino

PROVIENE: Bahía de Caraquez (Cantón Sucre)

FECHA: Ene - 18

REALIZADO POR : Marco Antonio Guaya O.

DATOS:		
PESO PICNOMETRO MAS AGUA:	659.19	gr
PESO PICNOMETRO:	160.37	gr
VOLUMEN PICNOMETRO:	498.82	cc
PESO TOTAL:	978.13	gr
PESO SUELO SECO:	496.83	gr
DENSIDAD MASIVA:		
DENSIDAD SSS:	2.74	gr/cm ³
DENSIDAD APARENTE:	2.762	gr/cm ³
ABSORCION:	2.79	gr/cm ³
	0.64%	

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

Marco Antonio Guaya O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



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

NORMA: NTE INEN 856 (ASTM C128)
PROVIENE: Catamayito
REALIZADO POR : Marco Antonio Guaya O.

MATERIAL: Arena Triturada
FECHA: Ene - 18

**DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA)
Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO**

NUMERO DE ENSAYO		1
Peso de la muestra secada en el horno (g)	A	493.20
Peso del picnómetro lleno con agua (g)	B	1475.90
Peso del picnómetro + muestra + agua (g)	C	1784.50
Peso de la muestra en condición sss (g)	S	500.00
Densidad relativa seca al horno (DRSH)	$A/(B+S-C)$	2.577
Densidad relativa saturada superficialmente seca (DRSSS)	$S/(B+S-C)$	2.612
Densidad relativa aparente (DRA)	$A/(B+A-C)$	2.672
Porcentaje de absorción	$((S-A)/A) \times 100$	1.38

Densidad relativa seca al horno (DRSH)= 2.577
Densidad relativa saturada superficialmente seca (DRSSS) = 2.612
Densidad relativa aparente (DRA) = 2.672
Densidad (SH)= 2570.36 kg/m³
Densidad (SSS)= 2605.80 kg/m³
Densidad aparente= 2665.04 kg/m³
Porcentaje de absorción (%)= 1.38 %

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

Marco Antonio Guaya O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN

Observaciones: _____



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

NORMA: NTE INEN 857 (ASTM C127)
PROVIENE: Catamayito
REALIZADO POR : Marco Antonio Guaya O.

MATERIAL: Árido Grueso (3/4")
FECHA: Ene - 18

**DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA)
Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO**

NUMERO DE ENSAYO		1
Masa de la muestra secada en el horno (g)	A	1355.00
Masa de la muestra en condición sss (g)	B	1362.00
Masa en el agua de la muestra en condición sss (g)	C	847.00
Densidad relativa seca al horno (DRSH)	A/(B-C)	2.631
Densidad relativa saturada superficialmente seca (DRSSS)	B/(B-C)	2.645
Densidad relativa aparente (DRA)	A/(A-C)	2.667
Porcentaje de absorción	$((B-A)/A) \times 100$	0.52

Densidad relativa seca al horno (DRSH)= 2.631
Densidad relativa saturada superficialmente seca (DRSSS) = 2.645
Densidad relativa aparente (DRA) = 2.667
Densidad (SH)= 2631.07 kg/m³
Densidad (SSS)= 2644.66 kg/m³
Densidad aparente= 2667.32 kg/m³
Porcentaje de absorción (%)= 0.52 %

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

Marco Antonio Guaya O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN

Observaciones: _____



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

MEZCLA ARENA PARA HORMIGON

PROYEC : TESIS DE GRADO

OBRA : MODULO DE FINURA TENTATIVO

MUESTRA # 1: ARENA TRITURADA

LOCALZ.: BAHIA DE CARAQUEZ

MUESTRA # 2: ARENA DE MAR

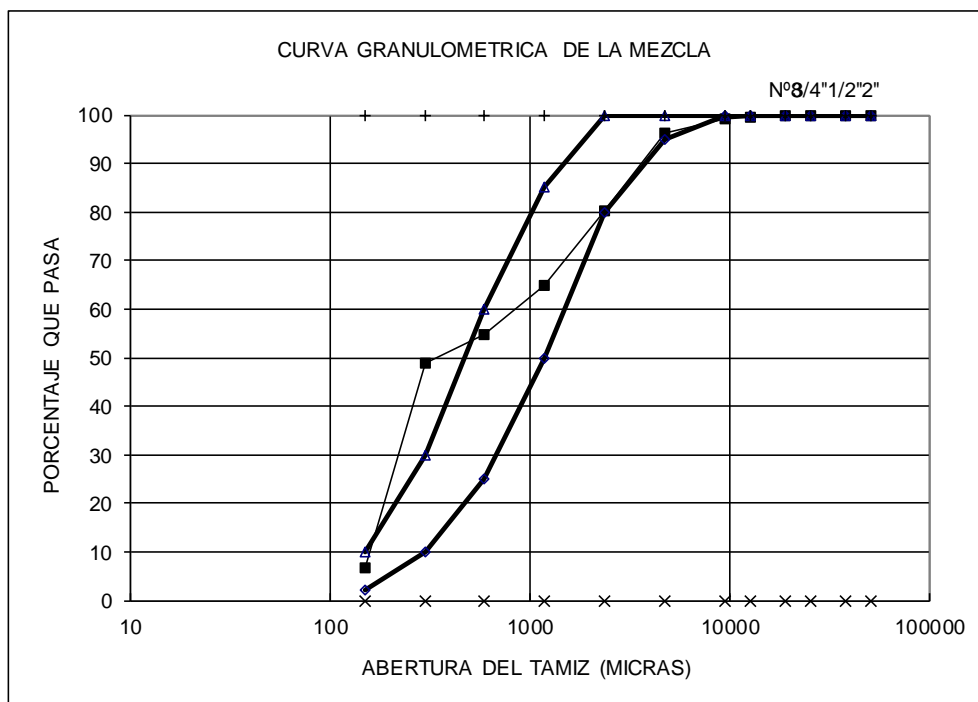
FECHA : JUNIO 2017

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 Hernán Maza
DIRECTOR DE PROYECTO DE
FIN DE TITULACIÓN

Marco Antonio Guaya O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN

Anexo 6. Determinación de la solidez de los áridos mediante el uso de sulfato de sodio y magnesio, INEN 863 / ASTM C 88.

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES</p>								
<p>NORMA: INEN 863 PROVIENE: Bahía de Caraquez REALIZADO POR : Marco Antonio Guaya O.</p>				<p>MATERIAL: Arena fina de mar SOLUCIÓN: Sulfato de Sodio FECHA: Ene-18</p>				
RESISTENCIA A LA DISGREGACIÓN								
SERIE FINA								
FRACCIÓN	TAMIZ		GRADACIÓN DE LA MUESTRA ORIGINAL (%)	MASA ANTES DEL ENSAYO (g)	MASA DESP. DEL ENSAYO (g)	PÉRDIDA (%)	PÉRDIDA COMPENSADA (%)	OBSERVACIONES
	Pasante	Retenido						
1	9,5mm (3/8")	4,75mm (Nº4)	3.5			1.3	0.0	
2	4,75mm (Nº4)	2,36mm (Nº8)	9.7	100.00	98.74	1.3	0.1	
3	2,36mm (Nº8)	1,18mm (Nº16)	8.2	100.00	98.54	1.5	0.1	
4	1,18mm (Nº16)	,600mm (Nº30)	4.8			2.5	0.1	
5	,600mm (Nº30)	300mm (Nº50)	73.8	100.00	97.54	2.5	1.8	
TOTAL			100.0				2.2	

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

Marco Antonio Guaya O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



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

NORMA: INEN 863
PROVIENE: Jipijapa (Picoazá)
REALIZADO : Marco Antonio Guaya O.

MATERIAL: Arena triturada
SOLUCIÓN: Sulfato de Sodio
FECHA: Ene-18

RESISTENCIA A LA DISGREGACIÓN

SERIE FINA

FRACCIÓN	TAMIZ		GRADACIÓN DE LA MUESTRA ORIGINAL (%)	MASA ANTES DEL ENSAYO (g)	MASA DESP. DEL ENSAYO (g)	PÉRDIDA (%)	PÉRDIDA COMPENSADA (%)	OBSERVACIONES
	Pasante	Retenido						
1	9,5mm (3/8")	4,75mm (Nº4)	5.8	100.00	90.87	9.1	0.5	
2	4,75mm (Nº4)	2,36mm (Nº8)	32.3	100.00	90.32	9.7	3.1	
3	2,36mm (Nº8)	1,18mm (Nº16)	30.5	100.00	89.00	11.0	3.4	
4	1,18mm (Nº16)	,600mm (Nº30)	19.7	100.00	86.88	13.1	2.6	
5	,600mm (Nº30)	300mm (Nº50)	11.7	100.00	90.83	9.2	1.1	
TOTAL			100.0				10.7	

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

Marco Antonio Guaya O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



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

NORMA: INEN 863
PROVIENE: San Isidro (Bahía de Caraquez)
REALIZADO: Marco Antonio Guaya O

MATERIAL: Árido Grueso (3/4")
SOLUCIÓN: Sulfato de Sodio
FECHA: Ene-18

RESISTENCIA A LA DISGREGACIÓN
SERIE GRUESA

FRACCIÓN	TAMIZ		GRADACIÓN DE LA MUESTRA ORIGINAL (%)	MASA ANTES DEL ENSAYO			MASA DESPUES DEL ENSAYO		PERDIDA (%)	PERDIDA COMPENSADA (%)	ACCION				
	Pasante	Retenido		Parcial (g)	Total (g)	Número	Tamices	Peso Ret. (g)			DESINTE-GRACION	HENDI-MIENTO	DESMENU-ZAMIENTO	AGRIETA-MIENTO	DESCA-MACIÓN
1	90mm (3")	63mm (2 1/2")	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	63mm (2 1/2")	50mm (2")	0.0				31,5mm (1 1/4")								
	50mm (2")	37,5mm (1 1/2")													
3	37,5mm (1 1/2")	25mm (1")	25.8	0.00	501.3	25	16mm (5/8")	437.15	12.8	3.3	-	25	-	-	-
	25mm (1")	19mm (3/4")		501.27											
4	19mm (3/4")	12,5 mm(1/2")	52.8	670.39	1000.6	-	8mm (5/16")	882.26	11.8	6.2	-	-	-	-	-
	12,5 mm(1/2")	9.5mm (3/8")		330.17											
5	9.5mm (3/8")	4,75mm (Nº4)	21.4	300.00	300.00	-	4mm (Nº5)	263.27	12.2	2.6	-	-	-	-	-
TOTAL			100.0							12.2					

Ing. Bolívar Hernán Maza

DIRECTOR DE PROYECTO DE FIN DE TITULACIÓN

Marco Antonio Guaya O.

PROFESIONAL EN FORMACIÓN

Anexo 7. Determinación de pH en el concreto. Método ASTM D 4262



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

MÉTODO: ASTM D 4262

MATERIALES: VARIAS MUESTRAS

PROVIENE: Bahía de Caraquez (Cantón Sucre)

FECHA: Ene-18

REALIZADO: Marco Antonio Guaya O.

1.- PESOS OBTENIDOS

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

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

Marco Antonio Guaya O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN

Anexo 8. Determinación de cloruros disueltos en ácido. Método ASTM C 1152 .



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

MÉTODO: ASTM C-1152

MATERIALES: CILINDRO DE HORMIGON CLASE A-B-C

PROVIENE: Bahía de Caraquez (Cantón Sucre)

RESISTENCIA: 240 Kg/cm²

REALIZADO : Marco Antonio Guaya O.

FECHA: 22/08/2017

1.- PESOS OBTENIDOS

Muestra	Peso (g)	Ph	Solucion (ml)	% Cloruros	Cloruos mg/l
Ea	10 ± 0.01	7.61	175.5	0.75	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	0.73	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. Bolívar Hernán Maza
DIRECTOR DE PROYECTO DE
FIN DE TITULACIÓN

Marco Antonio Guaya O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN

Anexo 9. Ensayo de difracción de rayos x.

Fecha: 31 de mayo de 2017

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) 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

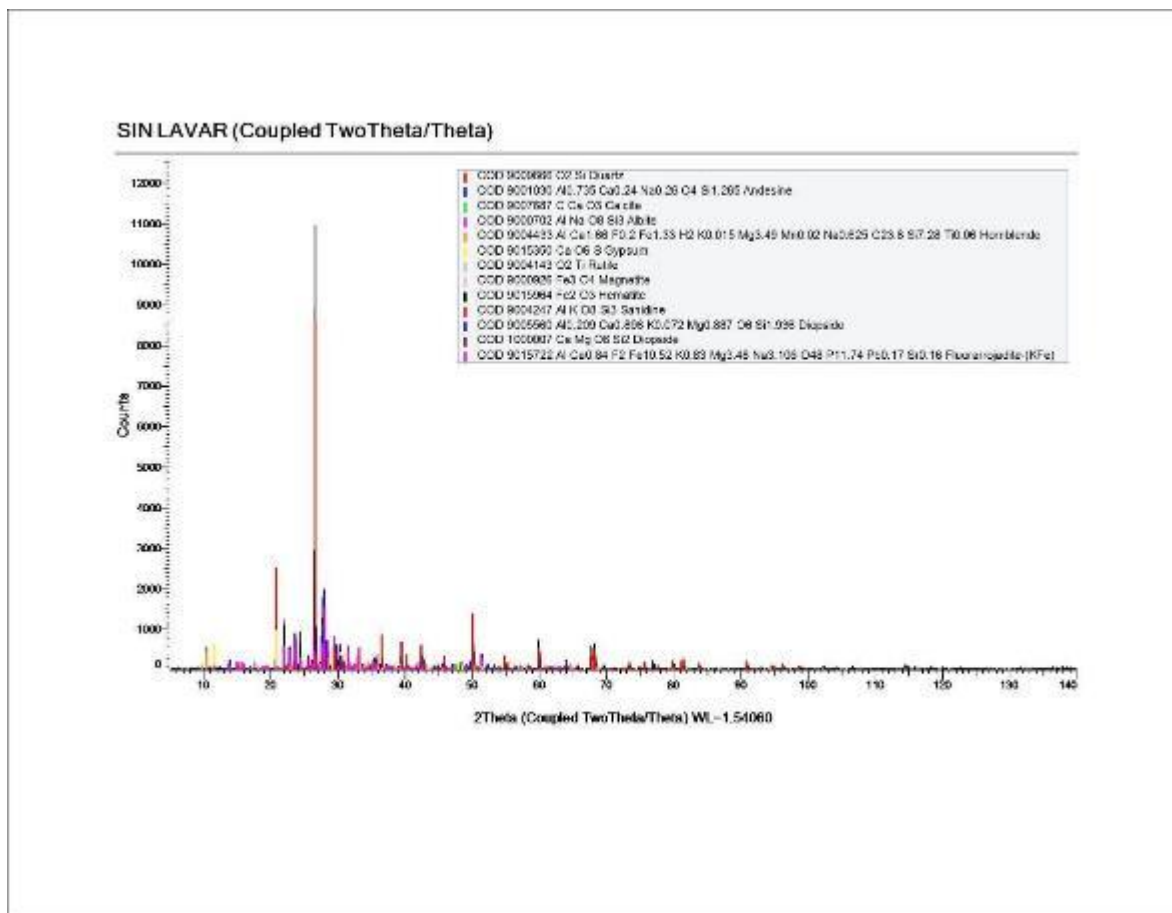


Ilustración 1. Difractograma de la muestra 000474 (sin lavar).

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 NaCa	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
Fluoroarrojadita (K-Fe)	Fosfato de K-Fe-F	6.35
Yeso	Sulfato de calcio hidratado	1.15

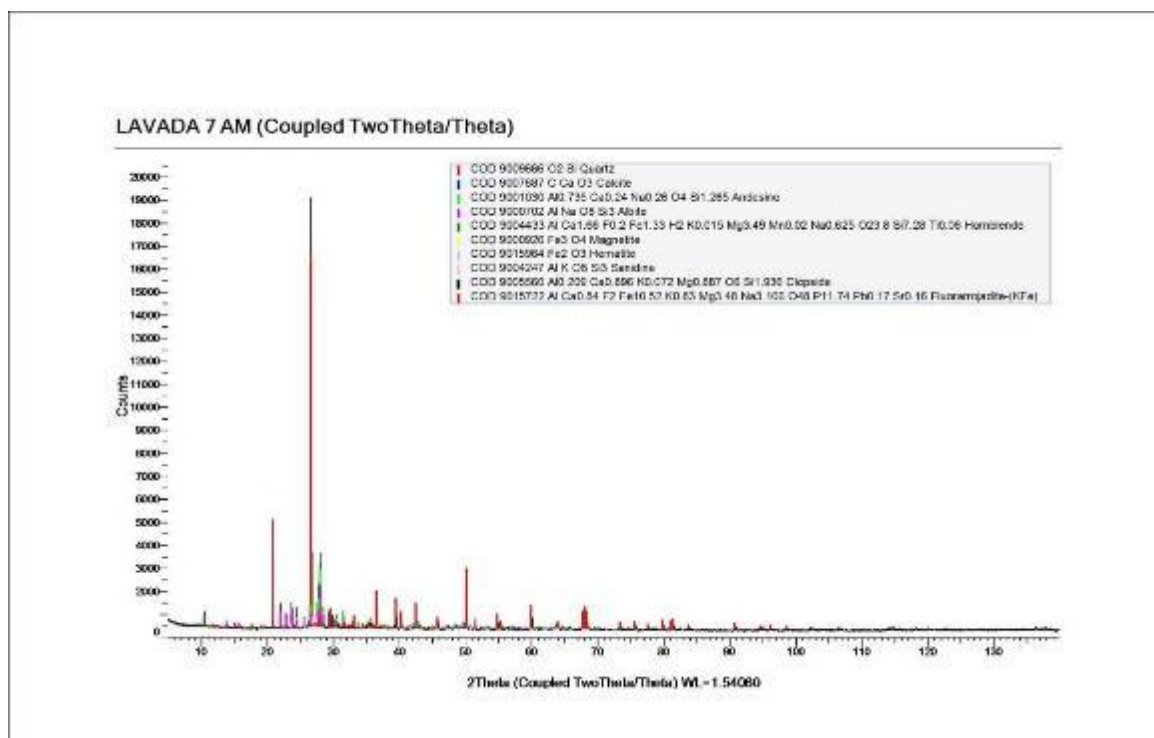
Se corrió un análisis químico de Fluorescencia de Rayos X adicional, en el cual los resultados de los principales componentes fueron:

Óxido/Elemento	Porcentaje
SiO ₂	64.8
Al ₂ O ₃	12.2
P ₂ O ₅	1.08
S	0.069
K ₂ O	0.718
CaO	10.9
TiO ₂	1.24
Fe ₂ O ₃	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 Na₂O 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 NaCa	5.13
Andesina		8.49
Sanidina	Silicatos- Feldespato de K	3.4
Diópsido	Silicatos- Piroxeno de Mg-	2.62

	Fe	
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 ₂	64.5
Al ₂ O ₃	11.9
P ₂ O ₅	0.944
S	0.162
K ₂ O	0.625
CaO	10.8
TiO ₂	1.12
Fe ₂ O ₃	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 Na₂O 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 10. Determinación de contenido de pH, cloruros y sulfatos en el agua.

CÓDIGO: R.4.1.1 VERSION: 4 FECHA: 01-06-2016 ELABORADO POR: Diego Maza Estrada REVISADO Y APROBADO POR: Mercedes Vila Achupallas	UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA REGISTRO DE RESULTADOS R.4.1.4 LABORATORIOS UTPL	 Servicio de Acreditación Ecuatoriana Acreditación N° OAE LE C 12-006 LABORATORIO DE ENSAYOS
--	--	--

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		
TELÉFONO:	980739933	email:	jetv1986@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 ₄ -HACH-006	mg/l	33	3,3%	150 - 1500
Cloruros	2017-04-17	2017-04-17	LUTPL-CL-VOL-008	mg/l	196,02	4,0%	1500

OBSERVACIONES:

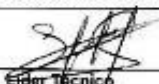
El informe de ensayo no se puede reproducir parcialmente, excepto en su totalidad con la aprobación escrita del laboratorio.
 Los resultados representan exclusivamente la muestra (s) analizada (s).
 Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE

Glosario

n/a: No Aplica
 n/d: No disponible
 U: Incertidumbre expandida con valor de k=2 y con un 95% de confianza.
 c: 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 Vila Achupallas	UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA REGISTRO DE RESULTADOS R.4.1.4 LABORATORIOS UTPL	 Servicio de Acreditación Ecuatoriano Acreditación N° DAE LE C 12-005 LABORATORIO DE ENSAYOS
---	--	--

FECHA DEL INFORME:	2017-04-26
INFORME No.	170159656
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	
TELÉFONO:	960739933	email: jnbc1968@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:	Portaviejo

DATOS GENERALES DE LAS MUESTRAS:

DESCRIPCIÓN:	Río Cauca
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 ₄ -HACH-006	mg/l	780	3,3%	150 - 1500
Cloruros	2017-04-17	2017-04-17	LUTPL-CL-WOL-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 Ramirez	 FIN DEL INFORME U.T.P.L.	 Técnico Analista Ing. Diego Ernesto Maza Estrada
---	---	--

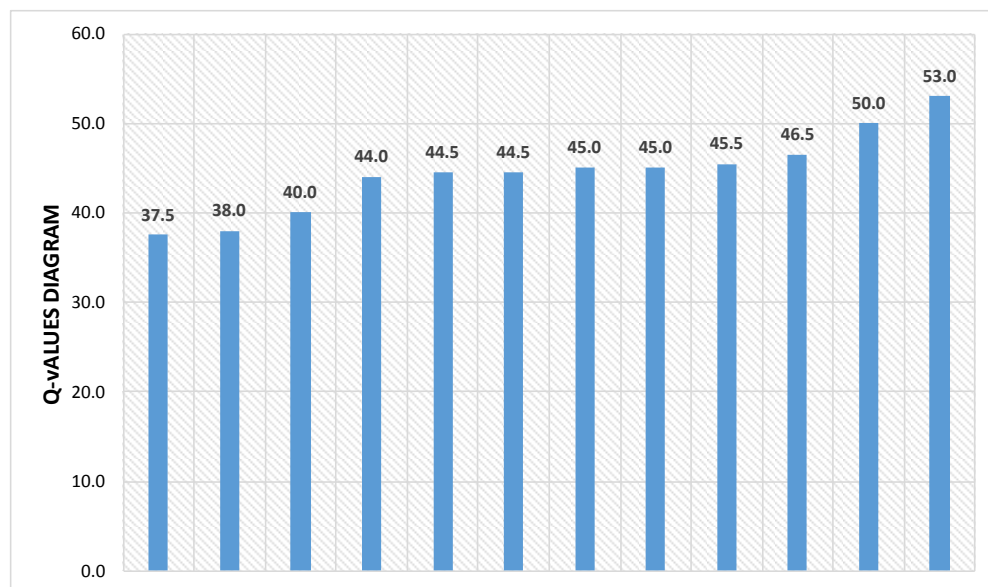
Anexo 11. Tabla resumen de resultados esclerométricos del edificio “Albatros II” de la ciudad Bahía de Caráquez.

PUNTO DE ESCLEROMETRÍA					
EDIFICACIÓN:	ALBATROS II			NOMENCLATURA:	P#1
DIRECCIÓN:	AV. VIRGILIO RATTI / CALLE SERGIO PLAZA			FECHA:	
PISO:	PLANTA BAJA	ELEMENTO:	MURO		
RESISTENCIA MEDIA: 155 kg/cm2					
				Q-VALUES	STATISTICS
				25.0	MEASUREMENTS
28.0	INVALID MEASUREMENTS	NI= 4 22%			
30.0	MEDIA EN	f'c= 155 kg/cm2 35.3 Q			
32.0	ESTÁNDAR DESVIATION	s= 5.2 Q			
32.0	SETTINGS				
32.5	AVERAGING MODE MEDIA EN				
34.5	CONVERSION CURVE CURVA EU				
34.5	FOR FACTOR 100%				
35.0	UNIT 1				
35.5	SERIAL NUMBER SHO1-007-0385				
36.5	SPRIN TYPE SILVER SCHMIDT N				
37.0	COMMENT				
38.0	EL MURO PRESENTA BAJA RESISTENCIA A LA				
38.0	COMPRESIÓN SE DETERMINO QUE ESTA RESISTENCIA YA				
38.5	EXISTÍA ANTES DEL SISMO DADO QUE NO PRESENTA				
39.0	FISURAS, PRESENTA FALTA DE RECUBRIMIENTO EN LA				
40.5	VARILLAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES.				
48.5					

PUNTO DE ESCLEROMETRÍA

EDIFICACIÓN:	ALBATROS II		NOMENCLATURA:	P#2
DIRECCIÓN:	AV. VIRGILIO RATTI / CALLE SERGIO PLAZA			
PISO:	PLANTA BAJA	ELEMENTO:	MURO	FECHA: 1/8/2017

RESISTENCIA MEDIA: 235 kg/cm2



Q-VALUES
37.5
38.0
40.0
44.0
44.5
44.5
45.0
45.0
45.5
46.5
50.0
53.0

STATISTICS			
MEASUREMENTS	N=	12	
INVALID MEASUREMENTS	NI=	4	33%
MEDIA EN	f'c=	235 kg/cm2	44.5 Q
ESTÁNDAR DESVIATION	s=	4.5 Q	

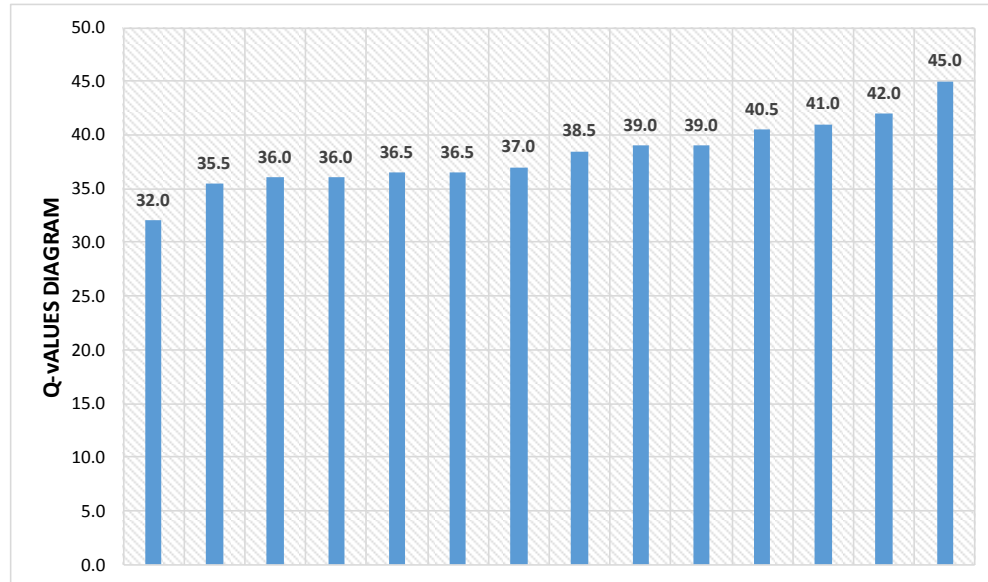
SETTINGS
AVERAGING MODE MEDIA EN
CONVERSION CURVE CURVA EU
FOR FACTOR 100%
UNIT 1
SERIAL NUMBER SHO1-007-0385
SPRIN TYPE SILVER SCHMIDT N

COMMENT
MURO DE ESCALERA CON BUENA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, SE OBSERVA QUE FALTA RECUBRIMIENTO EN LAS VARILLAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES.

PUNTO DE ESCLEROMETRÍA

EDIFICACIÓN:	ALBATROS II	NOMENCLATURA:	P#3
DIRECCIÓN:	AV. VIRGILIO RATTI / CALLE SERGIO PLAZA		
PISO:	1	ELEMENTO:	COLUMNA
		FECHA:	1/8/2017

RESISTENCIA MEDIA: 175 kg/cm2



Q-VALUES
32.0
35.5
36.0
36.0
36.5
36.5
37.0
38.5
39.0
39.0
40.5
41.0
42.0
45.0

STATISTICS		
MEASUREMENTS	N=	14
INVALID MEASUREMENTS	NI=	2 14%
MEDIA EN	f'c=	175 kg/cm2 38.2 Q
ESTÁNDAR DESVIATION	s=	3.3 Q

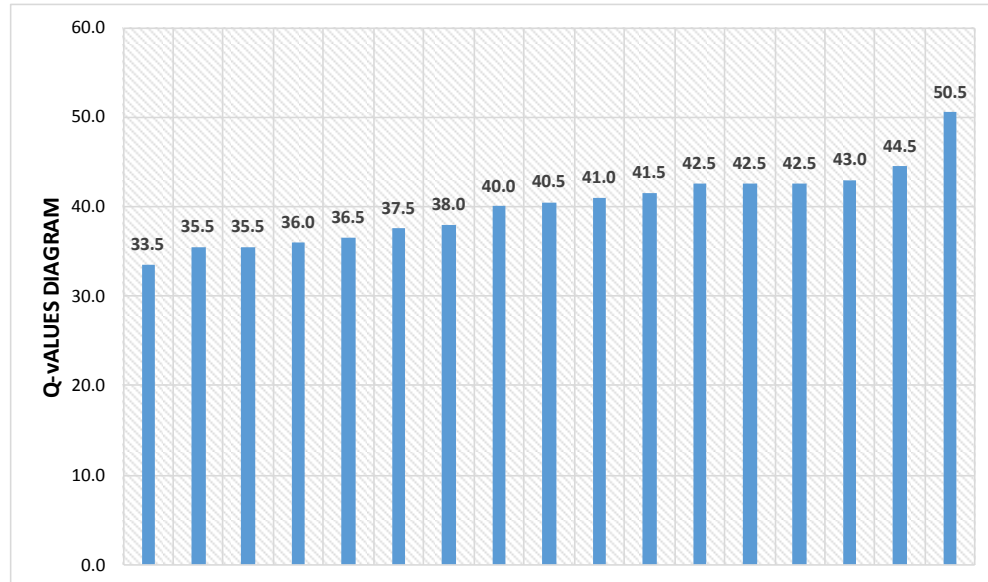
SETTINGS
AVERAGING MODE MEDIA EN
CONVERSION CURVE CURVA EU
FOR FACTOR 100%
UNIT 1
SERIAL NUMBER SHO1-007-0385
SPRIN TYPE SILVER SCHMIDT N

COMMENT
RESISTENCIA A LA COMPRESION EN COLUMNA BAJA, SE OBSERVARON FISURAS POR TENSION EN PIE DE COLUMNA.

PUNTO DE ESCLEROMETRÍA

EDIFICACIÓN:	ALBATROS II		NOMENCLATURA:	P#4
DIRECCIÓN:	AV. VIRGILIO RATTI / CALLE SERGIO PLAZA			
PISO:	1	ELEMENTO:	MURO	FECHA: 1/8/2017

RESISTENCIA MEDIA: 190 kg/cm2



Q-VALUES
33.5
35.5
35.5
36.0
36.5
37.5
38.0
40.0
40.5
41.0
41.5
42.5
42.5
42.5
43.0
44.5
50.5

STATISTICS			
MEASUREMENTS	N=	17	
INVALID MEASUREMENTS	NI=	4	24%
MEDIA EN	f'c=	190 kg/cm2	40.1 Q
ESTÁNDAR DESVIATION	s=		4.2 Q

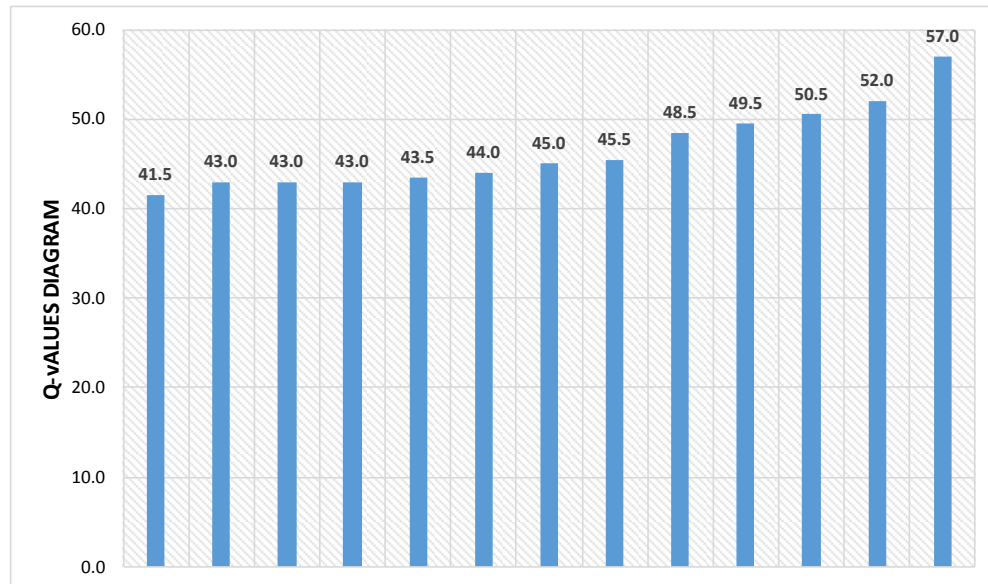
SETTINGS
AVERAGING MODE MEDIA EN
CONVERSION CURVE CURVA EU
FOR FACTOR 100%
UNIT 1
SERIAL NUMBER SHO1-007-0385
SPRIN TYPE SILVER SCHMIDT N

COMMENT
LA RESISTENCIA DE ESTE ELEMENTO NO ES APROPIADA PARA EL USO QUE SE LE ESTA DANDO, ES NECESARIO REFORZARLO.

PUNTO DE ESCLEROMETRÍA

EDIFICACIÓN:	ALBATROS II		NOMENCLATURA:	P#5
DIRECCIÓN:	AV. VIRGILIO RATTI / CALLE SERGIO PLAZA			
PISO:	2	ELEMENTO:	MURO	FECHA: 1/8/2017

RESISTENCIA MEDIA: 265 kg/cm²



Q-VALUES
41.5
43.0
43.0
43.0
43.5
44.0
45.0
45.5
48.5
49.5
50.5
52.0
57.0

STATISTICS			
MEASUREMENTS	N=	13	
INVALID MEASUREMENTS	NI=	3	23%
MEDIA EN	f'c=	265 kg/cm ²	46.6 Q
ESTÁNDAR DESVIATION	s=		4.6 Q

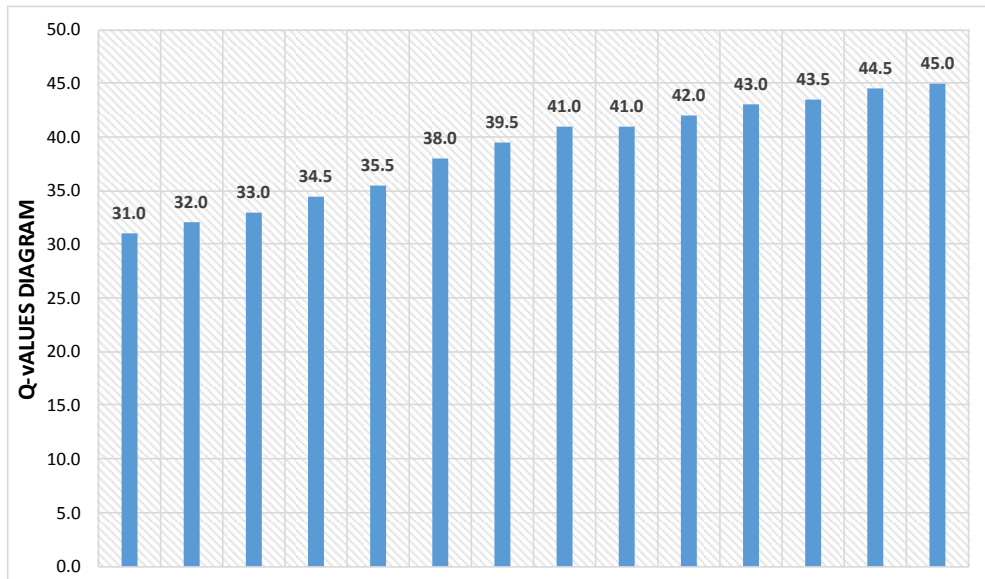
SETTINGS
AVERAGING MODE MEDIA EN
CONVERSION CURVE CURVA EU
FOR FACTOR 100%
UNIT 1
SERIAL NUMBER SHO1-007-0385
SPRIN TYPE SILVER SCHMIDT N

COMMENT
MURO CON BUENA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, NO ES NECESARIO REFORZAR.

PUNTO DE ESCLEROMETRÍA

EDIFICACIÓN:	ALBATROS II		NOMENCLATURA:	P#6
DIRECCIÓN:	AV. VIRGILIO RATTI / CALLE SERGIO PLAZA		FECHA:	1/8/2017
PISO:	2	ELEMENTO:		

RESISTENCIA MEDIA: 190 kg/cm²



Q-VALUES
31.0
32.0
33.0
34.5
35.5
38.0
39.5
41.0
41.0
42.0
43.0
43.5
44.5
45.0
49.0

STATISTICS			
MEASUREMENTS	N=	15	
INVALID MEASUREMENTS	NI=	6	40%
MEDIA EN	f'c=	190 kg/cm ²	39.5 Q
ESTÁNDAR DESVIATION	s=		4.8 Q

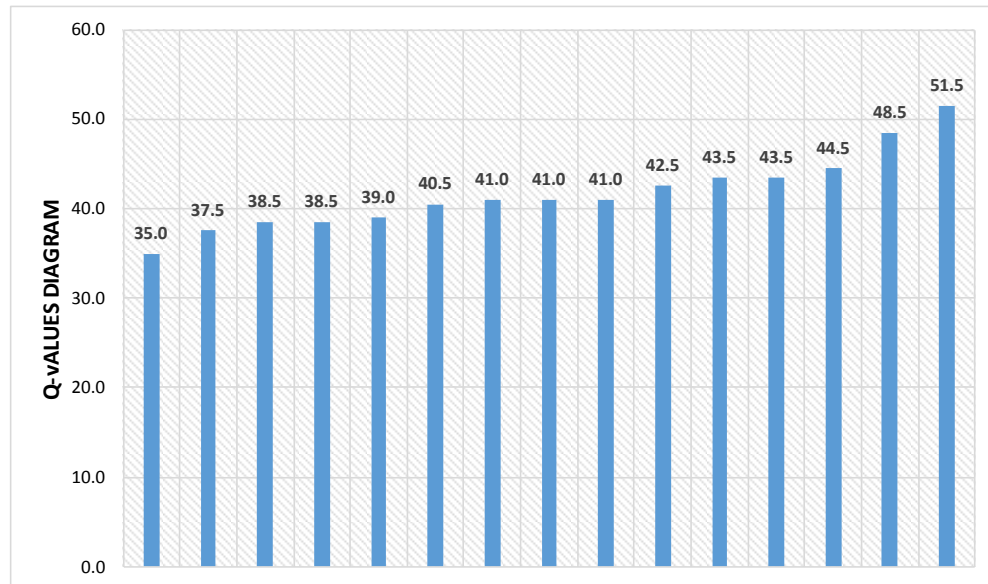
SETTINGS
AVERAGING MODE MEDIA EN
CONVERSION CURVE CURVA EU
FOR FACTOR 100%
UNIT 1
SERIAL NUMBER SHO1-007-0385
SPRIN TYPE SILVER SCHMIDT N

COMMENT
RESITENCIA D MURO CON BAJA RESISTENCIA, ES RECOMENDABLE REFORZARLO.

PUNTO DE ESCLEROMETRÍA

EDIFICACIÓN:	ALBATROS II		NOMENCLATURA:	P#7
DIRECCIÓN:	AV. VIRGILIO RATTI / CALLE SERGIO PLAZA			
PISO:	TERRAZA	ELEMENTO:	MURO	FECHA: 1/8/2017

RESISTENCIA MEDIA: 210 kg/cm2



Q-VALUES
35.0
37.5
38.5
38.5
39.0
40.5
41.0
41.0
41.0
41.0
42.5
43.5
43.5
44.5
48.5
51.5

STATISTICS			
MEASUREMENTS	N=	15	
INVALID MEASUREMENTS	NI=	3	20%
MEDIA EN	f'c=	210 kg/cm2	41.7 Q
ESTÁNDAR DESVIATION	s=		4.2 Q

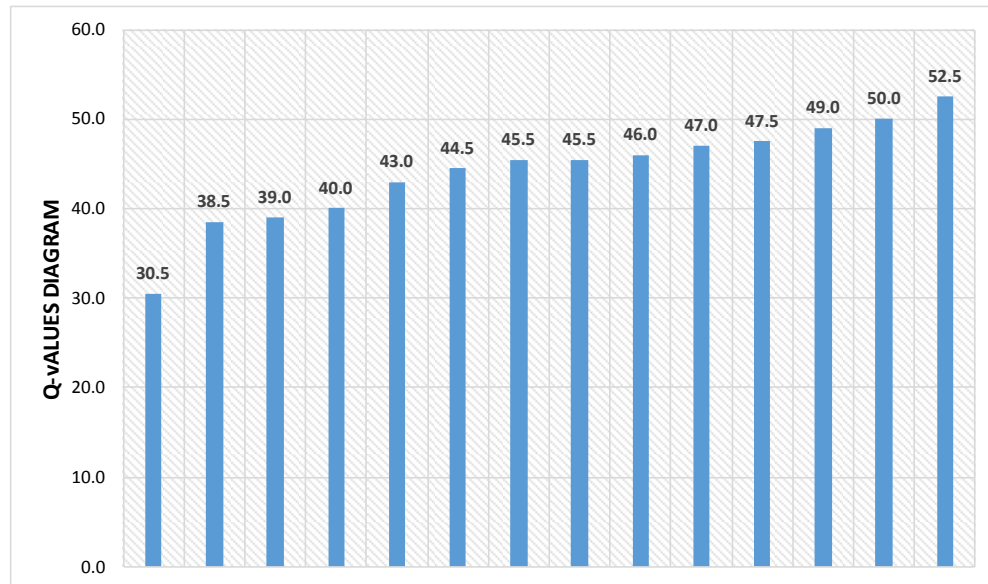
SETTINGS
AVERAGING MODE MEDIA EN
CONVERSION CURVE CURVA EU
FOR FACTOR 100%
UNIT 1
SERIAL NUMBER SHO1-007-0385
SPRIN TYPE SILVER SCHMIDT N

COMMENT
RESISTENCIA ALA COMPRESIÓN ADECUADA PARA ESTE ELEMENTO ESTRUCTURAL.

PUNTO DE ESCLEROMETRÍA

EDIFICACIÓN:	ALBATROS II		NOMENCLATURA:	P#8
DIRECCIÓN:	AV. VIRGILIO RATTI / CALLE SERGIO PLAZA			
PISO:	8	ELEMENTO:	MURO	FECHA: 1/8/2017

RESISTENCIA MEDIA: 235 kg/cm2



Q-VALUES
30.5
38.5
39.0
40.0
43.0
44.5
45.5
45.5
46.0
47.0
47.5
49.0
50.0
52.5

STATISTICS			
MEASUREMENTS	N=	14	
INVALID MEASUREMENTS	NI=	3	21%
MEDIA EN	f'c=	235 kg/cm2	44.2 Q
ESTÁNDAR DESVIATION	s=		4.6 Q

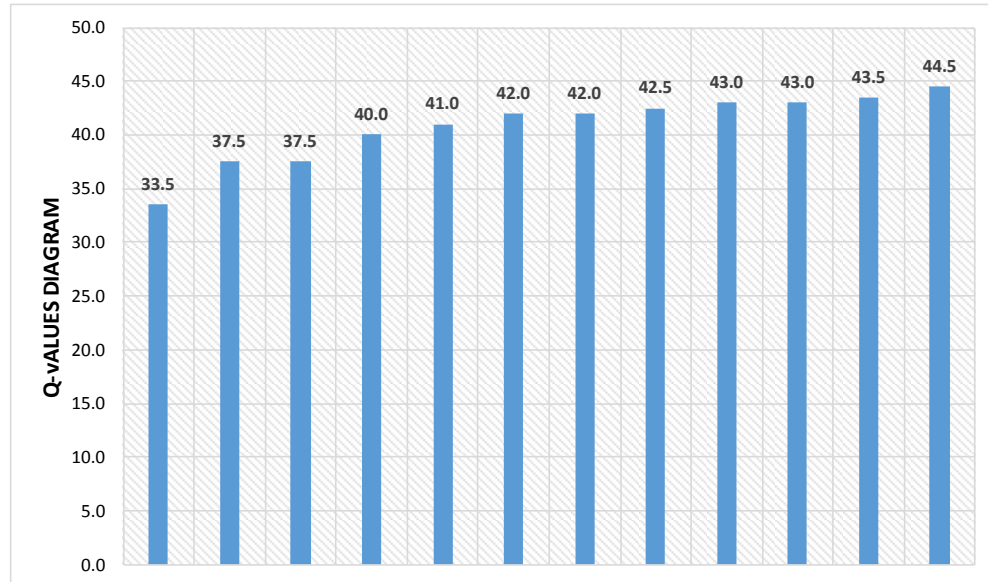
SETTINGS
AVERAGING MODE MEDIA EN
CONVERSION CURVE CURVA EU
FOR FACTOR 100%
UNIT 1
SERIAL NUMBER SHO1-007-0385
SPRIN TYPE SILVER SCHMIDT N

COMMENT
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN APTOPARA EL USO QUE LE SE ESTA BRINDANDO A ESTE ELEMENTO.

PUNTO DE ESCLEROMETRÍA

EDIFICACIÓN:	ALBATROS II		NOMENCLATURA:	P#9
DIRECCIÓN:	AV. VIRGILIO RATTI / CALLE SERGIO PLAZA		FECHA:	1/8/2017
PISO:	7	ELEMENTO:		

RESISTENCIA MEDIA: 195 kg/cm2



Q-VALUES
33.5
37.5
37.5
40.0
41.0
42.0
42.0
42.5
43.0
43.0
43.5
44.5

STATISTICS		
MEASUREMENTS	N=	12
INVALID MEASUREMENTS	NI=	2 17%
MEDIA EN	f'c=	195 kg/cm2 40.8 Q
ESTÁNDAR DESVIATION	s=	3.2 Q

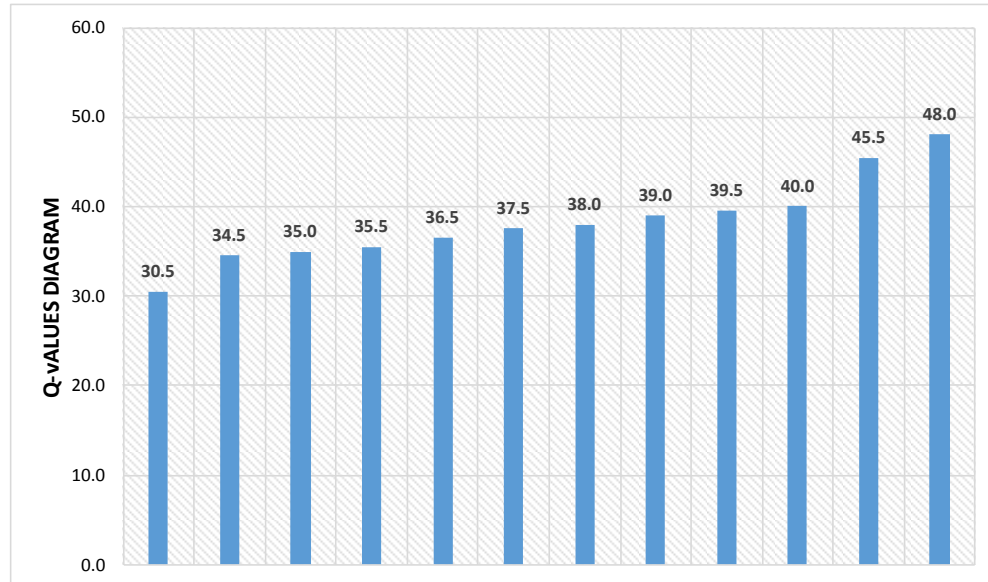
SETTINGS
AVERAGING MODE MEDIA EN
CONVERSION CURVE CURVA EU
FOR FACTOR 100%
UNIT 1
SERIAL NUMBER SHO1-007-0385
SPRIN TYPE SILVER SCHMIDT N

COMMENT
<p>MURO DE ESCALERA CON BAJA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ES NECESARIO REFORZAR EL ELEMENTO.</p>

PUNTO DE ESCLEROMETRÍA

EDIFICACIÓN:	ALBATROS II		NOMENCLATURA:	P#10
DIRECCIÓN:	AV. VIRGILIO RATTI / CALLE SERGIO PLAZA			
PISO:	6	ELEMENTO:	MURO	FECHA: 1/8/2017

RESISTENCIA MEDIA: 170 kg/cm2



Q-VALUES
30.5
34.5
35.0
35.5
36.5
37.5
38.0
39.0
39.5
40.0
45.5
48.0

STATISTICS			
MEASUREMENTS	N=	12	
INVALID MEASUREMENTS	NI=	3	25%
MEDIA EN	f'c=	170 kg/cm2	38.3 Q
ESTÁNDAR DESVIATION	s=		5.4 Q

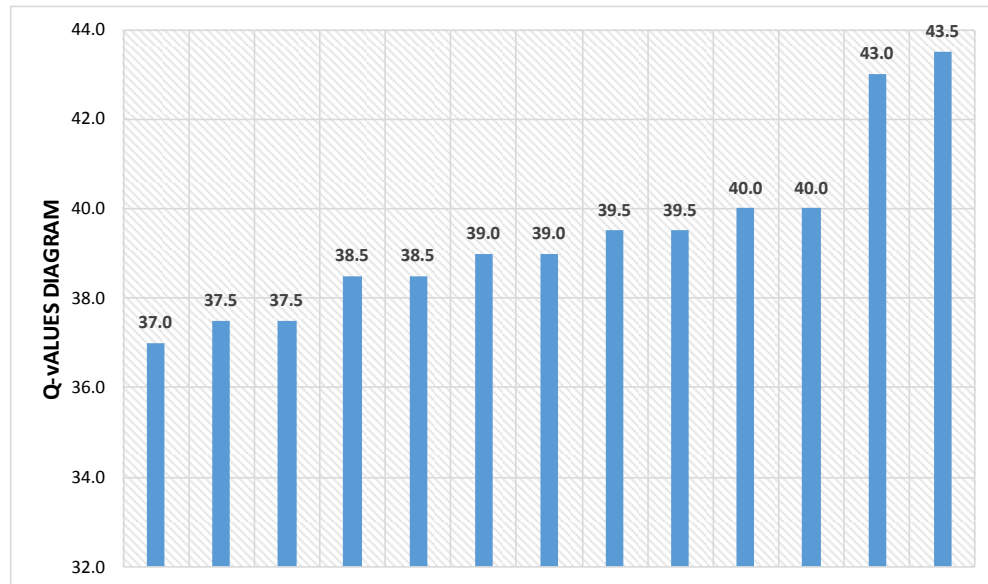
SETTINGS
AVERAGING MODE MEDIA EN
CONVERSION CURVE CURVA EU
FOR FACTOR 100%
UNIT 1
SERIAL NUMBER SHO1-007-0385
SPRIN TYPE SILVER SCHMIDT N

COMMENT
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESTE ELEMENTO MUY BAJA PARA SU USO.

PUNTO DE ESCLEROMETRÍA

EDIFICACIÓN:	ALBATROS II		NOMENCLATURA:	P#11
DIRECCIÓN:	AV. VIRGILIO RATTI / CALLE SERGIO PLAZA			
PISO:	5	ELEMENTO:	MURO	FECHA: 1/8/2017

RESISTENCIA MEDIA: 185 kg/cm²



Q-VALUES
37.0
37.5
37.5
38.5
38.5
39.0
39.0
39.5
39.5
40.0
40.0
43.0
43.5

STATISTICS			
MEASUREMENTS	N=	13	
INVALID MEASUREMENTS	NI=	2	15%
MEDIA EN	f'c=	185 kg/cm ²	39.4 Q
ESTÁNDAR DESVIATION	s=		1.9 Q

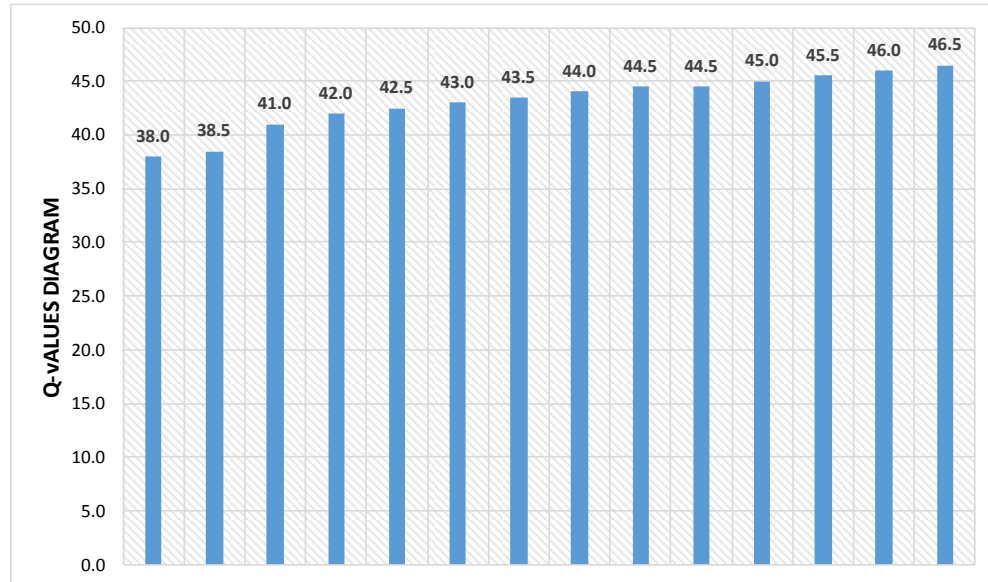
SETTINGS
AVERAGING MODE MEDIA EN
CONVERSION CURVE CURVA EU
FOR FACTOR 100%
UNIT 1
SERIAL NUMBER SHO1-007-0385
SPRIN TYPE SILVER SCHMIDT N

COMMENT
<p>EL MURO PRESENTA BAJA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, SE RECOMENTDA QUE SEA REFORZADO PARA EVITAR POSIBLES COLAPSOS AL PRESENTARSE UN MOVIMIENTO TELÚRICO.</p>

PUNTO DE ESCLEROMETRÍA

EDIFICACIÓN:	ALBATROS II		NOMENCLATURA:	P#12
DIRECCIÓN:	AV. VIRGILIO RATTI / CALLE SERGIO PLAZA			
PISO:	4	ELEMENTO:	MURO	FECHA: 1/8/2017

RESISTENCIA MEDIA: 225 kg/cm2



Q-VALUES
38.0
38.5
41.0
42.0
42.5
43.0
43.5
44.0
44.5
44.5
45.0
45.5
46.0
46.5

STATISTICS		
MEASUREMENTS	N=	14
INVALID MEASUREMENTS	NI=	4 29%
MEDIA EN	f'c=	225 kg/cm2 43.2 Q
ESTÁNDAR DESVIATION	s=	2.6 Q

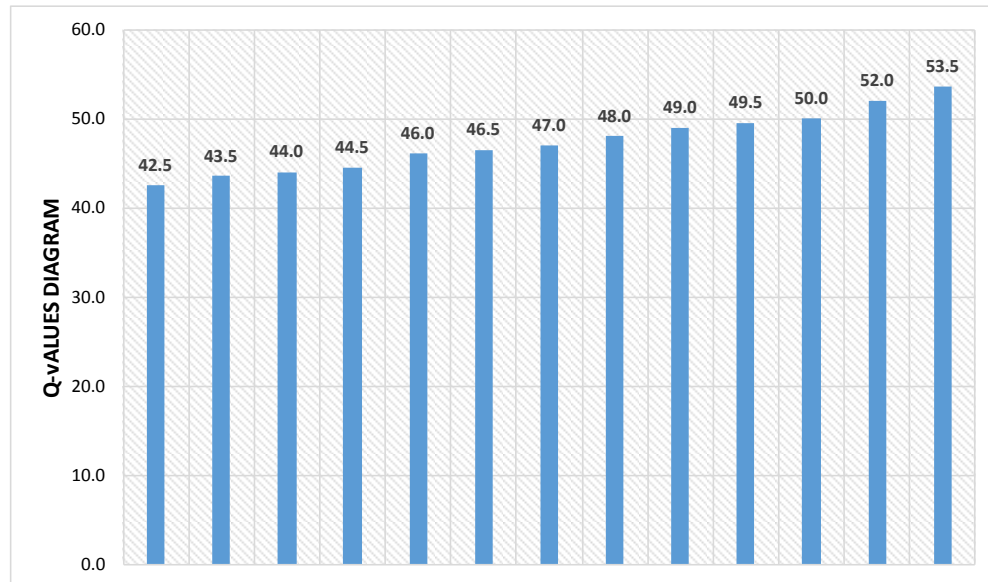
SETTINGS
AVERAGING MODE MEDIA EN
CONVERSION CURVE CURVA EU
FOR FACTOR 100%
UNIT 1
SERIAL NUMBER SHO1-007-0385
SPRIN TYPE SILVER SCHMIDT N

COMMENT

PUNTO DE ESCLEROMETRÍA

EDIFICACIÓN:	ALBATROS II		NOMENCLATURA:	P#13
DIRECCIÓN:	AV. VIRGILIO RATTI / CALLE SERGIO PLAZA			
PISO:	3	ELEMENTO:	MURO	FECHA: 1/8/2017

RESISTENCIA MEDIA: 275 kg/cm2



Q-VALUES
42.5
43.5
44.0
44.5
46.0
46.5
47.0
48.0
49.0
49.5
50.0
52.0
53.5

STATISTICS			
MEASUREMENTS	N=	13	
INVALID MEASUREMENTS	NI=	4	31%
MEDIA EN	f'c=	275 kg/cm2	47.4 Q
ESTÁNDAR DESVIATION	s=		3.3 Q

SETTINGS
AVERAGING MODE MEDIA EN
CONVERSION CURVE CURVA EU
FOR FACTOR 100%
UNIT 1
SERIAL NUMBER SHO1-007-0385
SPRIN TYPE SILVER SCHMIDT N

COMMENT
BUENA RESISTENCIA ALA COMPRESIÓN DE ESTE ELEMENTO.