

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



FACULTAD DE INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

TRABAJO DE TITULACIÓN

Título del proyecto:

**REACCIÓN ÁLCALI- CARBONATO, PERJUDICIAL PARA EL ACERO DEL
HORMIGÓN ARMADO, UTILIZANDO AGREGADOS PÉTREOS DE LAS MINAS,
CERRO NEGRO Y RIO CHAMBO.**

Autor:

Jordy Josué Velásquez Sevilla

Tutor:

Ing. Jorge Eugenio Núñez Vivar, MsC.

Riobamba – Ecuador

Año 2018

REVISIÓN

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: “REACCIÓN ÁLCALI- CARBONATO, PERJUDICIAL PARA EL ACERO DEL HORMIGÓN ARMADO, UTILIZANDO AGREGADOS PÉTREOS DE LAS MINAS, CERRO NEGRO Y RIO CHAMBO.” presentado por: Jordy Josué Velásquez Sevilla y dirigida por: Ing. Jorge Eugenio Núñez Vivar. Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Para la constancia de lo expuesto firman:

Ing. Jorge Núñez

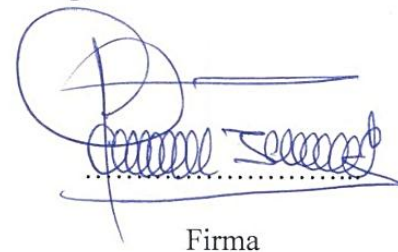
Tutor del Proyecto



Firma

Ing. Javier Palacios

Miembro del Tribunal



Firma

Dr. Víctor García

Miembro del Tribunal



Firma

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, **Ing. Jorge Eugenio Núñez Vivar**, en calidad de Tutor de Tesis, cuyo tema es: “REACCIÓN ÁLCALI- CARBONATO, PERJUDICIAL PARA EL ACERO DEL HORMIGÓN ARMADO, UTILIZANDO AGREGADOS PÉTREOS DE LAS MINAS, CERRO NEGRO Y RIO CHAMBO.”, CERTIFICO; que el informe final del trabajo investigativo, ha sido revisado y corregido, razón por la cual autorizo al Señor **Jordy Josué Velásquez Sevilla**, para que se presenten ante el tribunal de defensa respectivo para que se lleve a cabo la sustentación de su Tesis.

Atentamente,

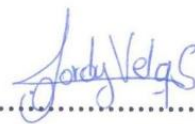


.....
Ing. Jorge Eugenio Núñez Vivar

TUTOR DE TESIS

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación, corresponde exclusivamente a: Jordy Josué Velásquez Sevilla e Ing. Jorge Eugenio Núñez Vivar; y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.



.....
Sr. Jordy Josué Velásquez Sevilla

C.I. 140059659-7

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, uno de los tres pilares importantes en mi carrera profesional, al dador de la vida, el único camino de salvación, Dios, quien guía mi sendero en todo tiempo, cuidándome y brindándome bendiciones inmerecidas, a mi familia el segundo pilar, el alentarme y brindarme apoyo todos los días para culminar con mis estudios universitarios, destacando el sacrificio que realizaron mis padres para darme la educación, infinitamente agradecidos con ellos y con Dios por tener a unos padres tan maravillosos, a mi segunda familia, Guevara Muñoz, quienes me acogieron en su hogar y me hicieron parte de ellos. El tercer pilar amigos y docentes de la Universidad Nacional de Chimborazo, en especial a una mujer maravillosa que me ayudo incondicionalmente ella es Shirley.

A mi tutor Ing. Jorge Eugenio Núñez Vivar y al Doctor Víctor García por la paciencia, dedicación y por guiarme acertadamente durante el desarrollo de este proyecto.

Jordy Josué Velásquez Sevilla

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mi familia, ya que este logro no es individual, es colectivo de toda mi familia que ha aportado con un granito de arena, muy importante para construir el camino hacia la meta tan anhelada, obtener el título Universitario de Ingeniero Civil

Jordy Josué Velásquez Sevilla

CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xi
1 INTRODUCCIÓN.....	13
2 OBJETIVOS.....	14
Objetivo general	14
Objetivo específico.....	14
3 MARCO TEÓRICO	15
4 METODOLOGÍA.....	21
5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	40
Recomendaciones.....	40
7 BIBLIOGRAFÍA	41
8 ANEXOS.....	43
Anexo 1: Análisis Granulométrico.....	43
Anexo 2: Contenido de Humedad en los agregados finos y gruesos	55
Anexo 3: Porcentaje de absorción y densidad de los agregados	57
Anexo 4: Masa unitaria compactada del agregado grueso.....	59
Anexo 5: Corrosión teórica y valores reales del ensayo de corrosión acelerada	60
Anexo 6: Análisis de varias unidireccional ANOVA por el método de TUKEY.....	64
Anexo 7: Fotografías de las varillas ensayadas.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1.- Minerales, rocas y otras sustancias potencialmente nocivas.	18
Tabla N° 2.- Cubos de hormigón, fabricados para el ensayo de corrosión acelerada	23
Tabla N°3: Análisis químico elemental de los agregados pétreos	26
Tabla N°4: Análisis Químico elemental del cemento Chimborazo IP y Holcim GU	27
Tabla N°5.- Ensayo de Difracción de Rayos X de los agregados pétreos de las dos minas.	28
Tabla N°6.- Ensayo de Difracción de Rayos X de los cementos Chimborazo IP y Holcim GU .	29
Tabla N° 7.- Resumen del ensayo granulométrico del agregado fino.....	30
Tabla N°8.- Resumen del ensayo granulométrico del agregado grueso.....	31
Tabla N°9.- Resumen de Contenido de Humedad del agregado fino y grueso	31
Tabla N°10.- Resumen del porcentaje de absorción y densidad de los agregados.....	32
Tabla N°11.- Resumen de la Masa unitaria compactada del agregado grueso	32
Tabla N°12.- Resistencia a la abrasión del agregado grueso	33
Tabla N°13 .- Dosificación por saco de cemento (50kg), para resistencia de $f'c$ 210 kg/cm ²	34
Tabla N°14.- Valores medios de los Resultados obtenidos del ensayo de corrosión acelerada....	36
Tabla N° 15.- Granulometría- Mina Cerro Negro, Muestra, Agregado fino.....	43
Tabla N° 16.- Granulometría- Mina Cerro Negro, Muestra2, Agregado fino.....	44
Tabla N° 17.- Granulometría- Mina Cerro Negro, Muestra 3, Agregado fino.....	45
Tabla N° 18.- Granulometría- Mina Rio Chambo, Muestra 1, Agregado fino	46
Tabla N° 19.- Granulometría- Mina Rio Chambo, Muestra 2, Agregado fino	47
Tabla N° 20.- Granulometría- Mina Rio Chambo, Muestra 3, Agregado fino	48
Tabla N° 21.- Granulometría- Mina Cerro Negro, Muestra 1, Agregado grueso	49
Tabla N° 22.- Granulometría- Mina Cerro Negro, Muestra 2, Agregado grueso	50
Tabla N° 23.- Granulometría- Mina Cerro Negro, Muestra 3, Agregado grueso	51

Tabla N° 24.- Granulometría- Mina Rio Chambo, Muestra 1, Agregado grueso	52
Tabla N° 25.- Granulometría- Mina Rio Chambo, Muestra 2, Agregado grueso	53
Tabla N° 26.- Granulometría- Mina Rio Chambo, Muestra 3, Agregado grueso	54
Tabla N° 27.- Contenido de Humedad del agregado fino, Cerro Negro	55
Tabla N° 28.- Contenido de Humedad del agregado fino, Rio Chambo.....	55
Tabla N° 29.- Contenido de Humedad del agregado grueso, Cerro Negro.....	56
Tabla N° 30.- Contenido de Humedad del agregado grueso, Rio Chambo.....	56
Tabla N° 31.- Peso específico y absorción del agregado fino. Cerro Negro.....	57
Tabla N° 32.- Peso específico y absorción del agregado grueso. Cerro Negro.....	57
Tabla N° 33.- Peso específico y absorción del agregado fino. Rio Chambo.....	58
Tabla N° 34.- Peso específico y absorción del agregado grueso. Rio Chambo	58
Tabla N° 35.- Masa unitaria compacta MUC. Cerro Negro.....	59
Tabla N° 36.- Masa unitaria compacta MUC. Rio Chambo	59
Tabla N° 37.- Corrosión teórica de la varilla," Rio Chambo - cemento Chimborazo"	60
Tabla N° 38.- Corrosión teórica de la varilla," Rio Chambo - cemento Holcim"	60
Tabla N° 39.- Corrosión teórica de la varilla," Cerro Negro - cemento Holcim"	61
Tabla N° 40.- Corrosión teórica de la varilla," Cerro Negro – cemento Chimborazo".....	61
Tabla N° 41.- Corrosión real de la varilla. " Rio Chambo - cemento Chimborazo"	62
Tabla N° 42.- Corrosión real de la varilla. " Rio Chambo - cemento Chimborazo"	62
Tabla N°43.- Corrosión real de la varilla. " Cerro Negro - cemento Holcim"	63
Tabla N° 44.- Corrosión real de la varilla. " Cerro Negro - cemento Holcim"	63
Tabla N° 45.- Análisis de Varianza unidireccional ANOVA-Tukey. Medición a los 7 días.....	64
Tabla N° 46.- Análisis de Varianza unidireccional ANOVA-Tukey. Medición a los 14 días.....	65
Tabla N° 47.- Análisis de Varianza unidireccional ANOVA-Tukey. Medición a los 21 días.....	66
Tabla N°48.- Fotografías de las varillas después de ser ensayadas RC-CH 1 al RC-CH 6	67
Tabla N°49.- Fotografías de las varillas después de ser ensayadas RC-CH 7 al RC-HL 12.....	68

Tabla N°50.- Fotografías de las varillas después de ser ensayadas RC-HL 13 al RC-HL 18.....	69
Tabla N°51.- Fotografías de las varillas después de ser ensayadas CN-HL 19 al CN-HL 24	70
Tabla N°52.- Fotografías de las varillas después de ser ensayadas CN-HL 25 al CN-CH 30	71
Tabla N°53.- Fotografías de las varillas después de ser ensayadas CN-CH 31 al CN-CH 36.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Esquema de la conexión eléctrica de los cubos de hormigón	24
Figura N° 2.- Resumen de las curvas granulométricas del agregado fino	30
Figura N° 3.- Cubo de Hormigón con pequeñas burbujas	35
Figura N° 4.- Grafica de caja. Q corr % a los 7 días.....	37
Figura N° 5.- Grafica de caja. Q corr % a los 14 días.....	38
Figura N° 6.- Grafica de caja. Q corr % a los 21 días.....	39
Figura N° 7: Granulometría- Mina Cerro Negro, Muestra1, Agregado fino	43
Figura N° 8.- Granulometría- Mina Cerro Negro, Muestra2, Agregado fino	44
Figura N° 9 .- Granulometría- Mina Cerro Negro, Muestra 3, Agregado fino	45
Figura N° 10.- Granulometría- Mina Rio Chambo, Muestra 1, Agregado fino.....	46
Figura N° 11.- Granulometría- Mina Rio Chambo, Muestra 2, Agregado fino.....	47
Figura N° 12.- Granulometría- Mina Rio Chambo, Muestra 3, Agregado fino.....	48
Figura N° 13.- Granulometría- Mina Cerro Negro, Muestra 1, Agregado grueso.....	49
Figura N° 14.- Granulometría- Mina Cerro Negro, Muestra 2, Agregado grueso.....	50
Figura N° 15.- Granulometría- Mina Cerro Negro, Muestra 3, Agregado grueso.....	51
Figura N° 16.- Granulometría- Mina Rio Chambo, Muestra 1, Agregado grueso.....	52
Figura N° 17.- Granulometría- Mina Rio Chambo, Muestra 2, Agregado grueso.....	53
Figura N° 18.- Granulometría- Mina Rio Chambo, Muestra 3, Agregado grueso.....	54

RESUMEN

El hormigón armado es uno de los materiales más utilizados en la industria de la construcción uno de los motivos se debe a las propiedades físicas que brinda el material: compresión y tracción, el hormigón a más de trabajar a compresión también cumple con la función de proteger al acero de agentes corrosivos proveniente del exterior o propiamente de los agregados utilizados.

Para identificar en qué porcentaje los agregados pétreos de las minas de Cerro Negro y Rio Chambo influyen en la corrosión del acero se realizó el ensayo de corrosión acelerada con electricidad, el mismo que consistió en elaborar 36 cubos de hormigón repartidos a la mitad entre los agregados de la mina de Cerro Negro y Rio Chambo, con una barra de acero incrustada en el centro, se transfirió electricidad constante a las barras de acero durante 500 horas.

Al terminar el ensayo, las barras de acero que estuvieron incrustadas en los cubos de hormigón elaborados con los agregados de la mina de Cerro Negro presentaron un porcentaje mayor de corrosión en comparación con las barras de acero incrustadas en los cubos de hormigón elaborados con los agregados de la mina de Rio Chambo, el motivo es por las sales que tiene el agregado de la mina de Cerro Negro.

Palabras claves: Corrosión, agregados finos y gruesos, cemento Chimborazo IP, cemento Holcim GU, ensayo de corrosión acelerada.

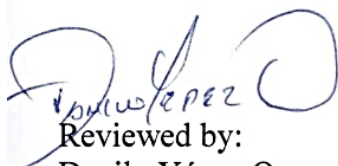
ABSTRACT

Reinforced concrete is one of the most used materials in the construction industry, one of the reasons is due to the physical properties of the material: compression and traction, the concrete to work more than compression also fulfills the function of protecting the steel from corrosive agents from the outside or properly from the aggregates used.

To identify in what percentage the stone aggregates of the Cerro Negro and Rio Chambo mines influence the corrosion of the steel, the accelerated corrosion test with electricity was carried out, the same one that consisted in elaborating 36 cubes of concrete distributed in half between the aggregates of the mine of Cerro Negro and Rio Chambo, with a steel bar embedded in the center, constant electricity was transferred to the steel bars for 500 hours.

At the end of the essay, the steel bars that were embedded in the concrete cubes made with the aggregates of the Cerro Negro mine presented a higher percentage of corrosion compared to the steel bars embedded in the concrete cubes made with the aggregates of the Rio Chambo mine, the reason is for the salts that the aggregate of the Cerro Negro mine has.

Keywords: Corrosion, fine and coarse aggregates, Chimborazo IP cement, Holcim GU cement, accelerated corrosion test.


Reviewed by:

Danilo Yépez O.
English professor UNACH.



1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad el uso del hormigón armado se ha ido propagando rápidamente, esto debido a que la combinación de las propiedades del acero con las del hormigón brindan una destacada resistencia a compresión y tracción (Correa, Montoya, Peñaranda, Echeverría, & Castaño, 2008; Escobar, 2012).

El hormigón a más de trabajar a compresión también tiene la función de actuar como recubrimiento de los aceros estructurales, dando origen a la formación espontánea de una capa protectora de óxidos de hierro conocida como capa pasivante (García, Silvia, Felipe, Mejía de Gutiérrez, & Ruby Torres, 2013).

Sin embargo, la ruptura de la capa pasivante puede ser causada por la carbonatación “reacción álcali-carbonato” en el hormigón o por la presencia del ion cloruro y en casos fortuitos por fugas de corrientes eléctricas, dando así el inicio de la corrosión en los aceros estructurales (Chaparro & Gordillo, 2013).

Con el experimento de corrosión acelerada se indujo la ruptura de la capa pasivante, lo que permitió medir el grado de deterioro en el acero producido por los minerales presentes en los agregados de la mina de Cerro Negro y Rio Chambo (Fernández, 2008).

2 OBJETIVOS

Objetivo general

Identificar los componentes de los agregados que influyen directamente en la corrosión del acero estructural mediante el ensayo de corrosión acelerada

Objetivo específico

Conocer la composición química de los agregados pétreos (mina Cerro Negro - Rio Chambo) y del cemento (Chimborazo – Holcim) a través del ensayo químico elemental y difracción de Rayos X.

Determinar si los agregados pétreos de las minas de Cerro Negro y Rio Chambo son potencialmente reactivos para formar la reacción álcali-carbonato.

3 MARCO TEÓRICO

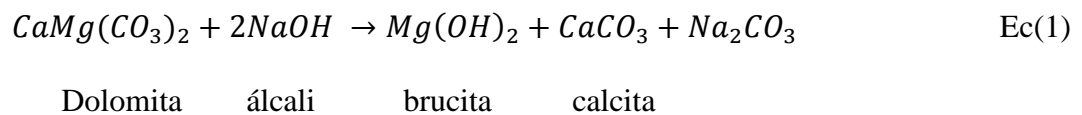
Al elaborar un hormigón estructural con la dosificación correcta y con el mantenimiento óptimo, la corrosión en el acero no debería producirse dentro del periodo de vida útil para el que fue diseñado debido a la protección física y química que confiere el hormigón al acero; en cuanto a la protección química se enfatiza la capa pasiva en la superficie del acero, empezando su formación con la disolución del metal, los iones de hierro liberados se combinarán con los iones hidróxilo generados en la reacción de reducción de oxígeno, para formar $Fe(OH)_2$, el hidróxido de hierro posee una baja solubilidad y en presencia de oxígeno y agua formará óxidos (Fe_2O_3) por lo que la capa pasiva constará de láminas de hidróxidos y óxidos en diferentes estados de oxidación brindándole al hormigón un pH entre 12.5 a 13.5 (Bertolini, Elsener, Pietro, & Redaelli, 2013; Escobar, 2012).

Una vez formada la capa pasiva, esta actuara como barrera reduciendo la difusión de oxígeno e inhibiendo la disolución anódica del acero protegiéndole así de la corrosión; Con esta protección el acero se corroe $0,1 \mu\text{m/año}$, siempre y cuando el hormigón sea elaborado correctamente y con una dosificación adecuada, dicha cantidad se considera despreciable, sin embargo esta capa se puede destruir por otros factores como: la carbonatación del hormigón y la presencia de iones despasivantes en los agregados (Escobar, 2012; García et al., 2013).

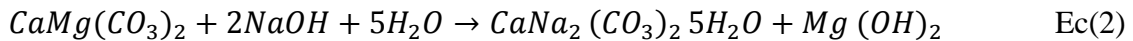
La carbonatación del hormigón se centra en las reacciones álcali agregados, estas reacciones han sido comparadas con el virus VIH, debido a que comparte con esta enfermedad algunos aspectos comunes, por ejemplo: puede estar latente durante 5 años o más sin manifestar ningún síntoma antes de activarse, una vez activada origina un proceso de deterioro progresivo que se incrementan con el tiempo, en la mayoría de los casos sus consecuencias son letales y está difundida a nivel mundial, por lo cual se han estudiado dos grandes fenómenos dentro de las

reacciones álcali agregados: la reacción álcali sílice o ASR y la reacción álcali carbonado o ACR; el primero es el más difundido ya que la variedad de minerales que le puede ocasionar es muy amplia, en el segundo caso, su ocurrencia es muy rara debido a que los agregados potencialmente reactivos no se emplean para producir hormigón por no tener propiedades de resistencia y dureza adecuada (Pasquel, 2011).

Este déficit de dureza y resistencia de los agregados se debe a su composición química, en su mayoría tienen presencia de dolomitas $CaMg(CO_3)_2$ y contenido de arcillas las mismas que reaccionan con los álcalis del cemento produciendo brucita $Mg(OH)_2$ y calcita $CaCO_3$ en una reacción de la siguiente manera conocida como desdolomitización o ACR:



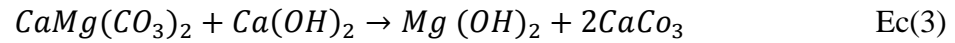
O bien



Al formarse $Mg(OH)_2$, que es un producto relativamente insoluble, se produce un debilitamiento de la unión pasta cemento y una zona porosa alrededor del árido con lo que el agua puede penetrar fácilmente. Además, el hecho de que se produzca la regeneración del ión álcali en solución hace que la desdolomitización sea un proceso continuo que puede afectar a grandes cantidades de árido (Sanjuan & Castro, 2001; Segarra, 2005; Soriano, 1998).

Hay otros autores como Gali y Garcia (como se cito en Segarra, 2005) que proponen una reacción de desdolomitización o ACR en la que no intervienen los cationes alcalinos. En este caso,

no se hablaría de álcali - carbonato, aunque igualmente se trata de una reacción expansiva sólo que en este caso no intervienen esos iones



Aquí, la dolomita reacciona directamente con la portlandita para dar brucita y calcita sin que sea necesaria la presencia de álcalis en solución.

A continuación, se enlista algunos minerales y rocas que son potencialmente nocivos para las reacciones álcali-agregado, tabla N°1.

Tabla N°1.-Minerales, rocas y otras sustancias potencialmente nocivas.

Minerales	Descripción
Ópalo	
Calcedonia	
Tridimita	
Cristobalita	
Cuarzo vitrificado	Criptocristalino, microcristalino
Cuarzo de grano grueso	Intensamente fracturado, granulado y deformado con incrustaciones submicroscópica, de las que la illita es una de las más corrientes.
Sílice volcánica cristalizada	Intermedia y básica
Cuarzo jaspeado	
ROCAS	
Rocas	Descripción
Granitos	Más del 30 % de cuarzo deformado, caracterizado por un ángulo de extinción ondulante de 25° o más
Granodiorita	
Charnockites	
Piedra Pómez Riolitas	
Andesitas	Sílice o sílice intermedia, rica en cristales volcánicos; cristales desvitrificados; tridimita.
Dacitas	
Latitas	
Perlitas	
Obsidianas	
Toba volcánica	
Basaltos	Calcedonia; cristobalita; palagonita; vidrio volcánico básico
Rocas metamórficas	Descripción
Gneis	Más del 30 % de cuarzo deformado, caracterizado por un ángulo de extinción ondulante de 25° ó más
Esquistos	
Cuarcitas	Cuarzo deformado como anteriormente; 5 % o más de sílice
Corneanas	Cuarzo deformado como anteriormente; cuarzo microcristalino a criptocristalino
Filitas	
Argilitas	
Rocas sedimentarias	Descripción
Areniscas	Cuarzo deformado como antes; 5 % o más de sílice; ópalo
Grauwacas	Cuarzo deformado como antes; cuarzo microcristalino a criptocristalino
Limos	Cuarzo deformado como antes; cuarzo microcristalino a criptocristalino
Pizarras	
Tillitas	Cuarzo deformado como antes; cuarzo microcristalino a criptocristalino
Sílice	Cuarzo criptocristalino; calcedonia; ópalo
Sílex	
Diatomita	Ópalo; cuarzo criptocristalino Calizas arcillosas dolomíticas Dolomita; filosilicatos expuestos por dedolomitización
Calizas arcillosas dolomíticas	Dolomita; filosilicatos expuestos por dedolomitización
Dolomías arcillosas cálcicas	
Calcita arcillosa dolomítica con cuarzo	
Otras Sustancias	Descripción
Vidrio sintético	Gel de sílice

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J. Adaptado de (Segarra, 2005)

Por ultimo al tener en cuenta la cantidad de dolomitas presentes en los agregados pétreos y la cantidad de cemento utilizado para realizar un hormigón, se puede predecir la velocidad con la que se va a producir la reacción ACR, siendo el cemento como el principal factor que afecta a la velocidad de carbonatación, el cual determina la concentración del óxido de calcio en la pasta de cemento, por ello se acostumbra a calcular el contenido total de álcalis en el cemento como el equivalente de Na_2O mediante la siguiente expresión (Osorio, 2013; Solis, 2018).

$$\text{Equivalente de } \% Na_2O = (0.658 * \%K_2O) \quad \text{Ec(4)}$$

Se ha considerado hasta ahora un contenido total de álcalis de 0.6% como el límite superior aceptable para cemento que se utilicen en la fabricación de concreto.

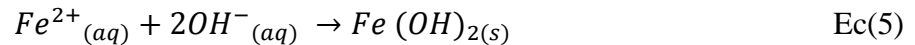
Continuando con el segundo factor de destrucción de la capa pasiva: la presencia de iones despasivantes en los agregados, esencialmente son los iones de cloruro, a diferencia de la reacción ACR que interviene con la destrucción de toda la capa pasivante adherida al acero, el ion cloruro degrada dicha capa protectora en zonas puntuales, dando así el inicio a la corrosión (Ortiz, Luna, Perez, & Camacho, 2016; Segarra, 2005).

Sin embargo, la reducción del pH debido a la carbonatación del hormigón o a la superación de un umbral crítico de cloruros, no es causa suficiente para que la corrosión del acero embebido en el hormigón se produzca, ya que se trata de un proceso de carácter electroquímico por estar en un medio acuoso, los factores acelerantes principales son, la disponibilidad de oxígeno y la humedad en la interfase acero/hormigón. Sin la presencia simultánea en una cantidad mínima de oxígeno y humedad, la corrosión electroquímica resulta imposible ya que ésta no puede desarrollarse a velocidades apreciables (Gordon, Beaudoin, James, Ramachandran, & Vangi, 2000).

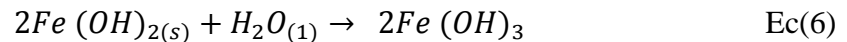
El proceso de corrosión electroquímica consiste en un traslado de electrones a través del electrolito dando así la existencia de una reacción oxidación – reducción o anódico–catódico; Esto implica dos zonas con diferente potencial electroquímico y esa desigualdad de energía, provoca el flujo de electrones desde el ánodo hasta el cátodo así que la zona anódica y la catódica están localizadas en la superficie del acero mientras que el hormigón actúa de electrolito formando una celda electroquímica también llamada “pila de corrosión” (Fernández, 2008; Gordon et al., 2000).

El proceso anódico tiene como función la disolución del acero lo que produce la oxidación del hierro al estado ferroso liberando electrones sin embargo la reacción catódica depende de la disponibilidad de oxígeno y del pH en la proximidad de la superficie del acero lo que da lugar a la formación de iones hidroxilo por la reducción del oxígeno disuelto en el agua que está en contacto con el acero, captando los electrones suministrados por el ánodo;

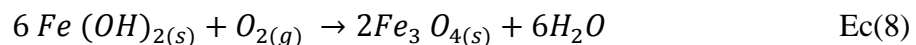
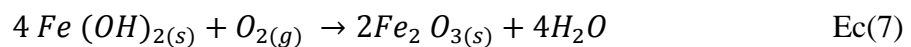
Iniciando así con la formación de hidróxido ferroso, de color verdoso



El proceso de oxidación continúa en presencia de humedad, para formar hidróxido férrico, de color rojizo.



En presencia de O_2 la reacción Ec(5) continuaría con formación de óxido ferroso (rojo-marrón) Ec(7) o férrico (negro) Ec(8).



Conociendo el proceso de corrosión del acero y sus efectos desastrosos, se ha visto la necesidad de investigar este suceso en hormigones fabricados con agregados pétreos de la mina Cerro Negro y Rio Chambo, utilizando dos cementos: el cemento Chimborazo IP y el cemento Holcim GU.

4 METODOLOGÍA

En el siguiente diagrama se muestra el proceso sistemático para la elaboración de la investigación.

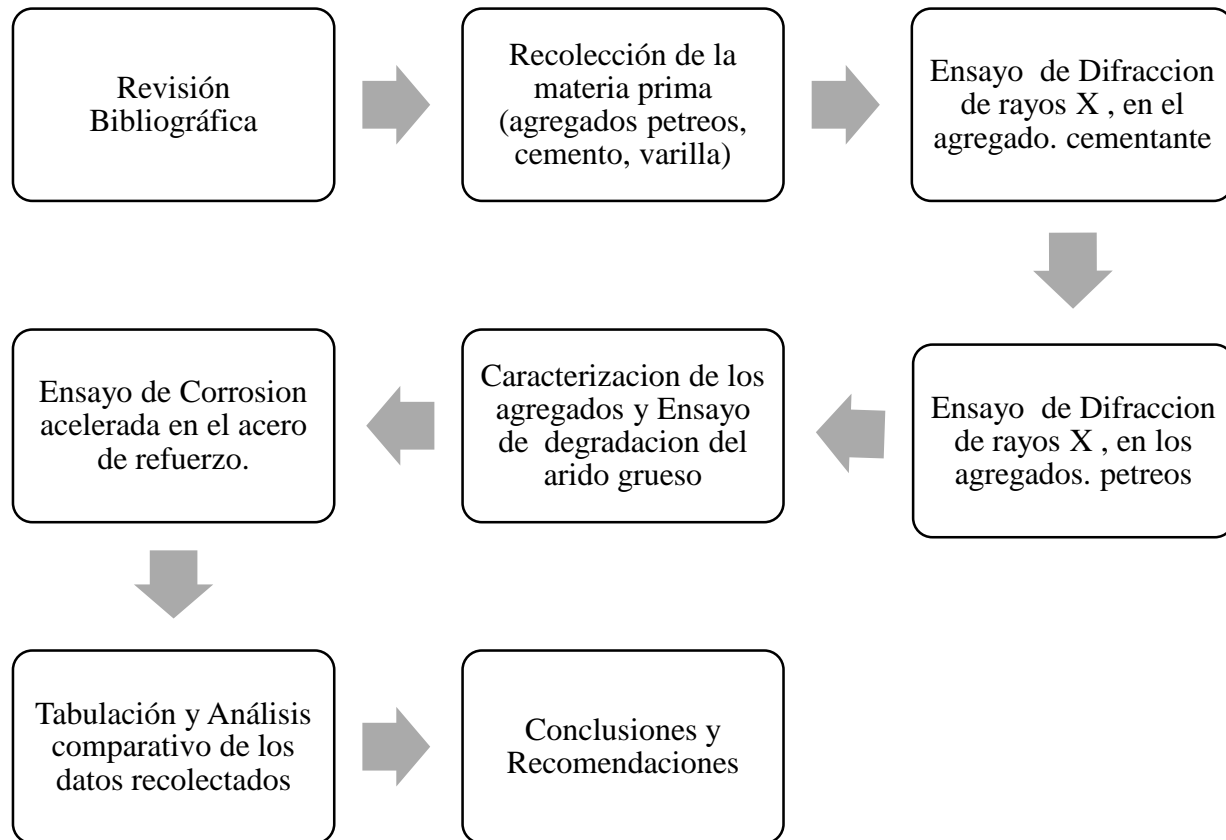


Figura N° 1.- Esquema de la metodología planteada

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J.

En la revisión bibliográfica se partió con la búsqueda de artículos científicos los cuales acreditaron la existencia del problema sobre la corrosión del acero y a su vez aportaron información para identificar los factores primordiales del problema tanto en los agregados como en el hormigón, esto usando diferentes bases de datos como Scopus, Scielo, Proquest, Ance library, repositorios digitales de universidades y buscadores web como google académico con el objetivo de asegurar que la información obtenida sea real, actual y aprobada por la comunidad científica.

En la recolección de la materia prima como los agregados pétreos, se pidió la autorización de forma verbal al gerente de la mina de cerro Negro y Rio Chambo, para tomar sus agregados como muestras de estudio, para el agregado cementante se utilizó el cemento portland tipo I, se obtuvo de dos marcas distintas, la de cemento Chimborazo y el Cemento Holcim GU , el acero se consiguió comprando una unidad corrugada de 12 mm de diámetro por 6 metros de largo, en cuanto al agua se tomó de las instalaciones de los laboratorios la Universidad Nacional de Chimborazo.

Una vez obtenidas la materia prima se procedió a realizar el análisis químico del cemento con el ensayo químico elemento y Fluorescencia de Rayos X o FRX, para los agregados pétreos como el agregado grueso y el agregado fino se empezó con el ensayo químico elemental y FRX, el mismo que se lo realizaron en los laboratorios de la Universidad Técnica Particular de Loja.

Según la norma NTE INEN 861 (INEN,2011) se determinó el valor de la degradación del árido grueso de partículas mayores a 19 mm . Este ensayo se realizó mediante el uso de la máquina de los ángeles lo que permitió determinar su calidad.

Para proceder con el ensayo de la corrosión acelerada del acero de refuerzo, como primer paso, se realizó la caracterización de los agregados finos y gruesos, utilizando la norma NTE INEN 696 (INEN, 2011), brindando datos del análisis granulométrico del agregado fino y grueso, la norma NTE INEN 862 (INEN, 2011) se utilizó para determinar el contenido de humedad del agregado fino y grueso, la norma (NTE INEN 856, 2010; NTE INEN 857, 2010) permitió establecer el peso específico y absorción del agregado fino y del agregado grueso respectivamente, la norma NTE INEN 858 (INEN,2010) se utilizó para obtenerde los valores de la masa unitaria compactada del agregado grueso, todos estos resultados obtenidos de la Norma Técnica Ecuatoriana fueron útiles en la realización de una correcta dosificación de un hormigón de 210

kg/cm², utilizando la norma ACI 211.1-91, (2002) Cabe resaltar que la dosificación se realizó para los dos cementos considerando su peso específico.

Esta dosificación fue utilizada en el segundo paso del ensayo de corrosión acelerada, la fabricación de cubos de 10cm x10 cm x10cm con la incrustación de una varilla de 12 mm de diámetro por 15 cm de largo previamente pesada, se colocó en el centro del cubo, se recubrió a dicha varilla con cinta aislante de 2 cm de ancho, entre la superficie que está en contacto con el hormigón y la intemperie, se realizó 9 cubos distintos con cada combinación entre el agregado pétreo y el agregado cementante como se muestra en la Tabla N°2.

Tabla N° 2.- Cubos de hormigón, fabricados para el ensayo de corrosión acelerada

Numero de Cubos	Cemento Chimborazo IP	Cemento Holcim GU	Agregado de la mina Cerro Negro	Agregado de la mina Rio Chambo	Varilla de 12 mm
9,0	X		X		X
9,0	X			X	X
9,0		X	X		X
9,0		X		X	X

Nota: Las X indica los agregados tanto cementante, pétreos y varilla seleccionados para la fabricación de los 9 cubos distintos.

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J.

Una vez fabricados los cubos se procedió con el curado en agua durante 28 días, culminado el curado de los mismos se realizó el tercer paso, a todos los cubos de hormigón se los sometió al ensayo de corrosión acelerada que consiste en transmitir una carga eléctrica (corriente anódica) de 45 mA al acero incrustada en el cubo, esta actúa como cátodo positivo, para que se cierre el circuito eléctrico se colocó una placa de plomo en la parte inferior del cubo, figura N° 1, se controló que la electricidad sea constante para ellos se colocó una bayeta mojada entre la placa de plomo y el cubo de hormigón, se inspecciono periódicamente que la bayeta se mantenga húmeda.

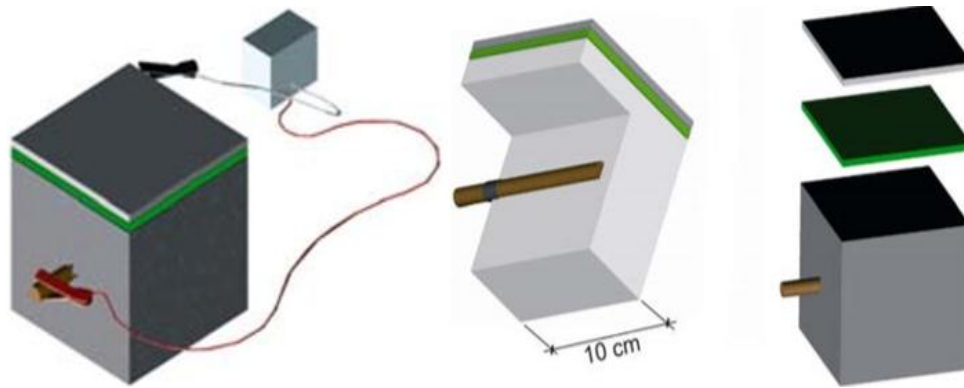


Figura N° 1: Esquema de la conexión eléctrica de los cubos de hormigón

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J.

Las mediciones de este ensayo se realizaron periódicamente a los 7, 14 y 21 días, ejecutando el ensayo destructivo al cubo de hormigón y extraendo el acero corroído, estas fueron fotografiadas con la cámara digital Labomed iVu 7000 con el objetivo de apreciar mejor la corrosión, inmediatamente se procedió con el lavado de las varillas utilizando ácidos, quitando la parte corroída de la varilla, estas varillas lavadas se pesaron con una balanza analítica y con la diferencia de peso se obtuvo el porcentaje de corrosión.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Partiendo con el procedimiento programado para la ejecución de este proyecto se empieza con los resultados obtenidos de la revisión bibliográfica sobre la corrosión del acero provocado por los agregados evidenciaron que no existen estudios realizados en la zona, sin embargo, hay estudios relevantes a nivel mundial sobre el tema, los que resaltan la presencia de sales, dolomitas y álcali en los agregados principales componentes para formar la corrosión del acero algunos de estos estudios recalca la presencia del ion cloruro en los agregados, siendo estos elementos perjudicial para el acero, datos que fueron de mucha importancia como punto de partida de este estudio.

En la recolección de la materia prima, como es el agregado fino y grueso de las minas estudiadas, no se presentó inconveniente alguno ya que estas minas están ubicadas en la provincia de Chimborazo y son de fácil acceso, con la ayuda de herramientas menores se las pudo recolectar y transportar, por otra parte para tener una mejor movilización de la varilla de 12 mm de diámetro y 6 metros de largo, se cortó en las dimensión especificada para realizar el ensayo de corrosión acelerada, obteniendo así varillas de 15 cm de largo.

En los ensayos químicos se empezó con el ensayo mineralógico elemental de los agregados, obteniendo valores distintos en cuanto al porcentaje y minerales del agregado fino y grueso de las minas de Cerro Negro y Rio Chambo como se observa en la tabla N° 3

Tabla N°3: Análisis químico elemental de los agregados pétreos

Mina Cerro Negro				Mina Rio Chambo			
Agregado Fino		Agregado Grueso		Agregado Fino		Agregado Grueso	
Componente	Porcentaje	Componente	Porcentaje	Componente	Porcentaje	Componente	Porcentaje
<i>SiO₂</i>	49,9000%	<i>SiO₂</i>	55,20000%	<i>SiO₂</i>	47,0000%	<i>SiO₂</i>	50,8000%
<i>Al₂O₃</i>	14,7000%	<i>Al₂O₃</i>	15,30000%	<i>Al₂O₃</i>	13,1000%	<i>Al₂O₃</i>	13,9000%
<i>CaO</i>	3,4500%	<i>CaO</i>	4,17000%	<i>CaO</i>	3,6700%	<i>CaO</i>	4,1800%
<i>Fe₂O₃</i>	2,1000%	<i>Fe₂O₃</i>	2,24000%	<i>Fe₂O₃</i>	2,7700%	<i>Fe₂O₃</i>	3,4600%
<i>SnO₂</i>	1,5900%	<i>SnO₂</i>	1,84000%	<i>SnO₂</i>	1,7500%	<i>MgO</i>	3,1300%
<i>K₂O</i>	0,7090%	<i>K₂O</i>	1,11000%	<i>Co₃O₄</i>	0,6710%	<i>SnO₂</i>	2,0000%
<i>Co₃O₄</i>	0,5180%	<i>Co₃O₄</i>	0,56100%	<i>K₂O</i>	0,5500%	<i>Co₃O₄</i>	0,8470%
<i>TiO₂</i>	0,3800%	<i>TiO₂</i>	0,39800%	<i>TiO₂</i>	0,4630%	<i>TiO₂</i>	0,5630%
<i>Sb₂O₃</i>	0,2570%	<i>Sb₂O₃</i>	0,25700%	<i>Sb₂O₃</i>	0,2570%	<i>K₂O</i>	0,5560%
<i>MnO</i>	0,0909%	<i>MnO</i>	0,10100%	<i>MnO</i>	0,1080%	<i>Sb₂O₃</i>	0,2570%
<i>CeO₂</i>	0,0355%	<i>CeO₂</i>	0,07290%	<i>CeO₂</i>	0,0946%	<i>CeO₂</i>	0,1480%
<i>S</i>	0,0229%	<i>Ta₂O₅</i>	0,03380%	<i>WO₃</i>	0,0132%	<i>MnO</i>	0,1420%
<i>Ta₂O₅</i>	0,0206%					<i>Cr₂O₃</i>	0,0526%
<i>WO₃</i>	0,0095%					<i>HfO₂</i>	0,0417%

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J.

En la tabla N° 3 Se evidencia en todos los agregados sales corrosivas como el potasio (K_2O) en pequeñas cantidades, con este porcentaje obtenido del ensayo químico elemental se calculó el porcentaje equivalente de sodio utilizando la ecuación Ec(4); En el agregado fino de la mina Cerro Negro se obtuvo 0.467% y del agregado grueso 0.730% de sodio, en el agregado fino de la mina Rio Chambo se obtuvo 0.362% y del agregado grueso 0.366% del porcentaje equivalente de sodio, teniendo valores considerablemente bajos a diferencia de la cantidad de sodio presente en el agregado grueso de la mina de Cerro Negro, indicando así que estos agregados tienen la tendencias a desarrollar un mayor grado de corrosión en el acero en menor tiempo Osorio (2013).

En el resultado obtenido del ensayo mineralógico elemental aplicando en el cemento Chimborazo tipo IP y el cemento Holcim GU se aplicó la misma fórmula antes mencionada para calcular el porcentaje equivalente de sodio presente en los cementos, tabla N°4.

Tabla N°4: Análisis Químico elemental del cemento Chimborazo IP y Holcim GU

Cemento			
Chimborazo IP		Holcim GU	
Componente	Porcentaje	Componente	Porcentaje
<i>CaO</i>	45,8000%	<i>CaO</i>	45,1000%
<i>SiO₂</i>	25,3000%	<i>SnO₂</i>	20,1000%
<i>Al₂O₃</i>	7,3100%	<i>SiO₂</i>	14,1000%
<i>Sb₂O₃</i>	6,8500%	<i>MgO</i>	8,1300%
<i>MgO</i>	4,5000%	<i>Al₂O₃</i>	7,0100%
<i>Fe₂O₃</i>	3,5600%	<i>Fe₂O₃</i>	1,6900%
<i>P₂O₅</i>	1,6900%	<i>S</i>	1,5000%
<i>S</i>	1,5100%	<i>P₂O₅</i>	1,1500%
<i>SnO₂</i>	1,3900%	<i>Co₃O₄</i>	0,4190%
<i>K₂O</i>	1,3300%	<i>K₂O</i>	0,4020%
<i>TiO₂</i>	0,2610%	<i>TiO₂</i>	0,2180%
<i>NiO</i>	0,1340%	<i>MnO</i>	0,0533%
<i>Sr</i>	0,1080%		
<i>MnO</i>	0,0992%		
<i>Co₃O₄</i>	0,0855%		
<i>Cr₃O₃</i>	0,0424%		
<i>CuO</i>	0,0335%		
<i>ZnO</i>	0,0142%		

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J.

En la tabla N°4 se evidencia con claridad la diferencia de porcentaje de potasio con mayor cantidad en el cemento Chimborazo con 1.33% a diferencia en el cemento Holcim GU con un 0.4020%, estos porcentaje se utilizaron para el cálculo equivalente de sodio con la Ec(4), obteniendo 0.875% del cemento Chimborazo IP y el cemento Holcim GU 0.265% de sodio, indicando la aceptación del porcentaje de sodio del cemento Holcim GU, por estar dentro del límite permitido del 0.6%, como lo propone (Osorio, 2013).

En la tabla N°5 se enlista los resultados del ensayo de Difracción de Rayos X, aplicado en los agregados pétreos de las dos minas, utilizando el programa QualX versión 2.22

Tabla N°5.- Ensayo de Difracción de Rayos X de los agregados pétreos de las dos minas.

Agregado Fino de la mina Cerro Negro		
Nombre del Compuesto	Formula Química	Porcentaje
Andesina	$Al_{0.735}Ca_{0.24}Na_{0.26}O_4Si_{1.265}$	51,70%
Albita	$Al Na O_8Si_3$	39,10%
Labradorita	$Al_{0.824}Ca_{0.317}Na_{0.183}O_4Si_{1.174}$	5,50%
Aluminosilicato de calcio y sodio	$Na_{48}Ca_{52}Al_{1.52}Si_2$	3,70%
Agregado Grueso de la mina Cerro Negro		
Nombre del Compuesto	Formula Química	Porcentaje
Labradorita	$Al_{0.83}Ca_{0.34}Na_{0.15}O_4Si_{1.17}$	71,50%
Andesina	$Al_2Ca O_8Si_2$	14,70%
Anortita	$Al_{0.735}Ca_{0.24}Na_{0.26}O_4Si_{1.265}$	13,80%
Agregado Fino de la mina Rio Chambo		
Nombre del Compuesto	Formula Química	Porcentaje
Sanidina	$Al Ba_{0.014}Fe_{0.003}K_{0.789}Na_{0.16}O_8Si_3$	30,20%
-----	$K_{0.41}Na_{0.56}Ca_{0.03}(Al_{1.03}Si_{2.97}O_8)$	24,30%
Albita	$Al_{0.502}Na O_4Si_{1.497}$	19,30%
Labradorita	$Al_{0.824}Ca_{0.31}Na_{0.183}O_4Si_{1.174}$	13,70%
Cuarzo	SiO_2	7,20%
Andesina	$Al_{0.735}Ca_{0.24}Na_{0.26} O_4Si_{1.265}$	5,30%
Agregado Grueso de la mina Rio Chambo		
Nombre del Compuesto	Formula Química	Porcentaje
Labradorita	$Al_{0.83}Ca_{0.34}Na_{0.15}O_4Si_{1.17}$	54,90%
Albita	$Al Na O_8Si_3$	26,00%
Hexasilicato circonio dicesio	$(ZrSi_6O_{15})Cs_2$	10,00%
-----	$Ga_4O_{48}Ti_{21}$	6,80%
Titanita	$Al Ca F O_4 Si$	2,30%

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J.

En la tabla N°5 se evidencia que los agregados finos y gruesos de la mina de Cerro Negro tienen un porcentaje alto de Andesina 51.70% y 14.70% respectivamente siendo esta roca potencialmente nociva para las reacciones álcalis agregado, sucediendo todo lo contrario con los agregados de la mina de Rio Chambo, confirmando lo propuesto por Segarra, (2005).

Continuando con el ensayo de Difracción de Rayos X, en la tabla N°6 se enlista los resultados obtenidos del ensayo aplicado a los cementos Chimborazo IP y Holcim GU utilizando el programa QualX versión 2.22.

Tabla N°6.- Ensayo de Difracción de Rayos X de los cementos Chimborazo IP y Holcim GU

Cemento Chimborazo IP		
Nombre del Compuesto	Formula Química	Porcentaje
Alita	Ca_3O_5Si	61,30%
Hatrurita	$Ca_{27}O_{45}Si_9$	19,00%
Bytownite	$Al_{7.76}Ca_{3.44}Na_{0.56}$	6,40%
Pentavanadato de calcio tripotásico	$Ca_3Ca(V_5O_{15})$	5,00%
-----	$Ca_3Cu_{0.951}Mn_{1.049}$	4,50%
Criolita	AlF_6Na_3	3,80%
Cemento Holcim GU		
Nombre del Compuesto	Formula Química	Porcentaje
Alita	Ca_3O_5Si	49,40%
Hatrurita	$Ca_{27}O_{45}Si_9$	22,00%
-----	$C Ca O_3$	11,70%
Larnita	$Ca O_4 Si$	10,30%
Sr Be2 (B O3)2	$B_2 Be_2 O_6 Sr$	3,60%
Brownmillwrite	$Al_{0.46} Ca_2 Fe_{1.54} O_5$	3,00%

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J.

En esta tabla se presenta la composición química de los dos cementos, dichos compuestos se hidrataran reaccionando químicamente entre, el yeso y el agua que conducen al fraguado y endurecimiento de la pasta de cemento, este fraguado fue diferente entre los dos cementos debido a la cantidad superior de Alita que tiene el cemento Chimborazo IP, haciendo que el proceso de endurecimiento sea más lento en comparación con el cemento Holcim GU (Calvopina & Cubina, 2018; J. Ortiz, 2005).

Para realizar el diseño de un hormigón de 210 kg/cm² siguiendo la Norma ACI 211.1-91, 2002, se empezó con la caracterización del agrego fino y grueso; Iniciando con el ensayo de granulometría del agregado pétreo, mediante la tamización mecánica, bajo la Norma NTE INEN 696 (INEN, 2011) En el Anexo 1 y en las tablas N°7 y la tabla N°8 se muestra los valores del ensayo granulométrico del agregado fino y grueso respectivamente.

Tabla N° 7.- Resumen del ensayo granulométrico del agregado fino

TAMICES	Mina Rio Chambo % Pasa	Mina Cerro Negro % Pasa	Límites Específicos Serie Finos	
3/8"	99,88	99,85	100	100
N° 4	92,85	96,58	95	100
N° 8	80,75	78,77	80	100
N° 16	61,60	60,70	50	85
N°30	41,33	44,62	25	60
N° 50	20,47	28,73	10	30
N° 100	6,82	13,35	2	10
M.F	2,97	2,77		

Nota: Los 2 valores del módulo de finura del agregado fino están dentro del límite Permitido por la Norma NTE INEN 696 (2.5-3.0)

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J.

Resumen de las curvas Granulométrica del agregado fino

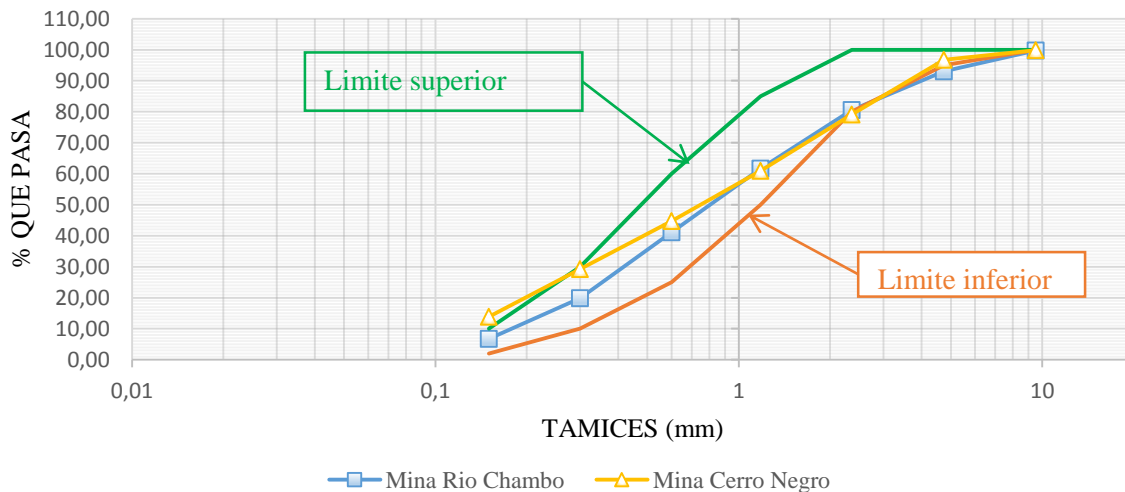


Figura N° 2.- Resumen de las curvas granulométricas del agregado fino

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J.

En la figura N° 2 se observar con claridad, en la curva granulométrica de la mina de Cerro Negro, el punto inferior esta fuera del límite superior permitido de la curva, demostrado que este agregado tiene mayor cantidad de finos, siendo este un factor influyente en el diseño del hormigón, a diferencia del agregado de la mina de Rio Chambo, en aquel se necesita más cemento para cumplir con el asentamiento permitido del ensayo de cono de Abrams.

Tabla N°8.- Resumen del ensayo granulométrico del agregado grueso

TAMICES	Mina Rio	Mina Cerro	Límites Específicos	
	Chambo % Pasa	Negro % Pasa	Serie Finos	
1 1/2"	99,99	100,00	100	100
1"	99,99	99,47	100	100
3/4"	98,37	83,09	90	100
1/2"	19,42	16,62	40	85
3/8"	4,93	4,03	0	60
N°4	0,57	0,28	0	15
N°8	0,15	0,04	0	5
BANDEJA	0,00	0,00	0	0
T.M Nominal	3/4"	3/4"		

Nota: Las dos minas cumple con el tamaño máximo nominal de 3/4"

Elaborado por: Velásquez S. Jordy

En el agregado grueso tanto de la mina de Cerro Negro y Rio Chambo se verifico que el tamaño máximo nominal corresponde a una grava de 3/4".

Bajo la norma NTE INEN 862 (INEN, 2011),se obtuvo el contenido de humedad de los agregados, en el Anexo 2 y en la tabla N° 9 se muestra el contenido de humedad de los agregados de la mina de Cerro Negro y Rio Chambo.

Tabla N°9.- Resumen de Contenido de Humedad del agregado fino y grueso

Agregado	Mina	
	Cerro Negro	Rio Chambo
Fino	6,48%	4,85%
Grueso	0,99%	0,74%

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J.

Los porcentajes de humedad de los agregados de la mina de Cerro Negro son mayores al porcentaje de la mina de Rio Chambo, lo que indica que la mezcla de hormigón requiere menos agua, pero no fue así, se colocó más agua y más cemento esto debido a la cantidad de finos que tiene este agregado.

Según la norma NTE INEN 856 (INEN, 2010) & NTE INEN 857, (INEN,2010), se determinó el porcentaje de absorción y densidad del agregado fino y del agregado grueso respectivamente, en el Anexo 3 y en la tabla N°10 se muestra el porcentaje de absorción y la densidad de los agregados.

Tabla N°10.- Resumen del porcentaje de absorción y densidad de los agregados

Mina	Agregado	Densidad (SH) g/cm3	Absorción
Cerro Negro	Fino	2,434	5,191%
	Grueso	2,581	2,261%
Rio Chambo	Fino	2,533	3,735%
	Grueso	2,669	1,249%

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J.

El porcentaje de absorción del agregado fino y grueso de la mina de Cerro Negro es superior al agregado de Río Chambo superando en un 72% y 52% esto se debe al contenido de sodio que tiene el agregado.

Las densidades secas al horno “SH” de la mina de Cerro Negro tanto del agregado fino y grueso son menores en un 4% y 3 % respectivamente, resultando así un hormigón mayor poroso que el hormigón fabricado con los agregados de la mina de Rio Chambo. (Calvopiña O. & Cubiña P., 2018)

Basado en la norma NTE INEN 0858 (INEN, 2010), se dedujo la masa unitaria compacta (MUC), en la tabla N° 11 y en el Anexo 4 se indica los valores del MUC de las dos minas.

Tabla N°11.- Resumen de la Masa unitaria compactada del agregado grueso

Mina	MUC	Unida
Cerro Negro	1444,44	kg/m3
Rio Chambo	1550,51	kg/m3

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J.

En la tabla N°11 se aprecia una diferencia notable de pesos volumétrico entre los dos agregados, teniendo un mayor valor la mina Río Chambo debido a que sus partículas tienen aristas redondeadas, proporcionándole una mejor distribución dentro del volumen que ocupan, es decir se generan una menor cantidad de vacíos.

El ensayo de resistencia a la abrasión se lo realizo con la norma NTE INEN 861(INEN, 2011), para determinar la calidad relativa del agregado grueso, en la tabla N°12 y el Anexo 5 se indica los valores obtenidos del ensayo.

Tabla N°12.- Resistencia a la abrasión del agregado grueso

Mina	Valor de degradación, en porcentaje
Cerro Negro	25,27%
Rio Chambo	20,62%

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J.

Los valores obtenidos del ensayo de abrasión están por debajo del límite máximo permitido que es del 50% de degradación según la norma NTE INEN 872(INEN, 2011). Por otra parte la degradación de la mina de Cerro Negro es mayor en comparación a la mina de Rio Chambo, esto se debe que los agregados de la mina Cerro Negro tiene un mayor porcentaje Sodio confirmando lo dicho de Pasquel, (2011)

Por último, se tomó los valores de densidad de los cementos Chimborazo IP y el cemento Holcim GU de investigaciones anteriores. Como es la densidad del cemento IP de 2.90 g/cm³ obtenido del análisis de 5 muestras (Rodríguez Almache & Villalba Rea, 2016), y la densidad del cemento GU de 3.41 g/cm³ (Vallejo Patarón & Amaguaya Chacha, 2016).

Con los resultados obtenidos de la caracterización de los agregados pétreos y cementante se dosifico un hormigón de 210 kg/cm² utilizando la norma ACI 211.1-91, como se muestra en la tabla N°13.

Tabla N°13 .- Dosificación por saco de cemento (50kg), para resistencia de $f'c$ 210 kg/cm²

Mina	Tipo de Cemento	Proporción de componentes			
		Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	Agua (L)
Cerro Negro	IP	1	1,54	2,8	26,58
Rio Chambo	IP	1	1,67	2,79	25,61
Cerro Negro	GU	1	1,58	2,73	26,51
Rio Chambo	GU	1	1,71	2,72	25,58

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J.

Las proporciones de los componentes varían entre dosificación, esto se debe que los agregados no tienen las mismas características físicas.

Con esta dosificación se prepararon los 36 cubos, los mismos que se han determinado con la siguiente nomenclatura:

RC-CH: Cubo realizado con la mina de Rio Chambo y Cemento Chimborazo

RC-HL: Cubo realizado con la mina de Rio Chambo y Cemento Holcim

CN-CH: Cubo realizado con la mina de Cerro Negro y Cemento Chimborazo

CN-HL: Cubo realizado con la mina de Cerro Negro y Cemento Holcim

Cada uno de ellos fueron sometidos al ensayo de corrosión acelerada; un paso previo fue el curado de los cubos en la piscina del laboratorio a temperatura ambiente, al primer día de estar sumergidos los cubos se apreció un hecho poco común, presentándose únicamente en los cubos CN-HL y CN-CH, en los que aparecieron unas pequeñas burbujas como se muestra en la figura N°3.



Figura N° 3.- Cubo de Hormigón con pequeñas burbujas
Elaborado por: Velásquez S. Jordy J.

En primera instancia se dedujo que fueron burbujas de agua, sin embargo, estas burbujas fueron de sales del ácido carbónico (CO_3)₂, se confirmó que son estas sales por la efervescencia que se produjo al introducir ácido en la muestra recolectada. Siendo este elemento químico potencialmente corrosivo, confirmando lo propuesto por Fernández, (2008).

Se tiene la teoría que estas sales se formaron al reaccionar el C3A o “Aluminato tricálcico” con (AFt) o “fase formada en la hidratación del cemento Portland que se deriva de la etringita pura con sustitución parcial de A (Al_2O_3) por F (Fe_2O_3) y SO_4^{2-} por otros aniones”, dentro del cascarón formando placas hexagonales de (AFm) o “fase formada en la hidratación del cemento Portland que se deriva del monosulfoaluminato puro con sustitución parcial de A (Al_2O_3) por F (Fe_2O_3) y SO_4^{2-} por otros aniones”, ya que estas reacciones se producen entre el primer día al tercer día del endurecimiento del hormigón (J. Ortiz, 2005).

En la tabla N°14 y en el Anexo 5 se observa los valores obtenidos del ensayo de corrosión acelerada de los tres grupos, para tener una referencia en cuanto al porcentaje de corrosión que se debe presentar en las varillas, se utilizó la ecuación de Faraday (Fernández, 2008)

Ec(9)

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

Donde:

t = Horas teóricas con electricidad

M = Peso Atómico del Hierro

I = Intensidad de corriente en Amperios

F = Constante de Faraday

z = Valencia del Hierro

Δm = Masa consumida de la varilla en gramos

Tabla N°14.- Valores medios de los Resultados obtenidos del ensayo de corrosión acelerada

DIA ENSAYADO	Corrosión Teórica "Q corre" (%)	Corrosión RC CH (%)	Corrosión RC HL (%)	Corrosión CN CH (%)	Corrosión CN HL (%)
7	0,6000%	0,1313%	0,0883%	0,1901%	0,1086%
14	1,2000%	0,2699%	0,1878%	0,4132%	0,2644%
21	2,0000%	0,4140%	0,3403%	0,8290%	0,4383%

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J.

Los valores medios de la corrosión producida por cada grupo no son iguales al valor teórico, esto es debido a que en los grupos ensayados no se colocó un agente corrosivo externo “NaCl”, por motivo del estudio de los agregados, sin embargo, para concluir si las medias son iguales o no entre los grupos que fueron ensayados el mismo día, se utilizó el análisis de varianza Anova por el método algorítmico de Tukey. Ver figura N°4 y el Anexo 6.

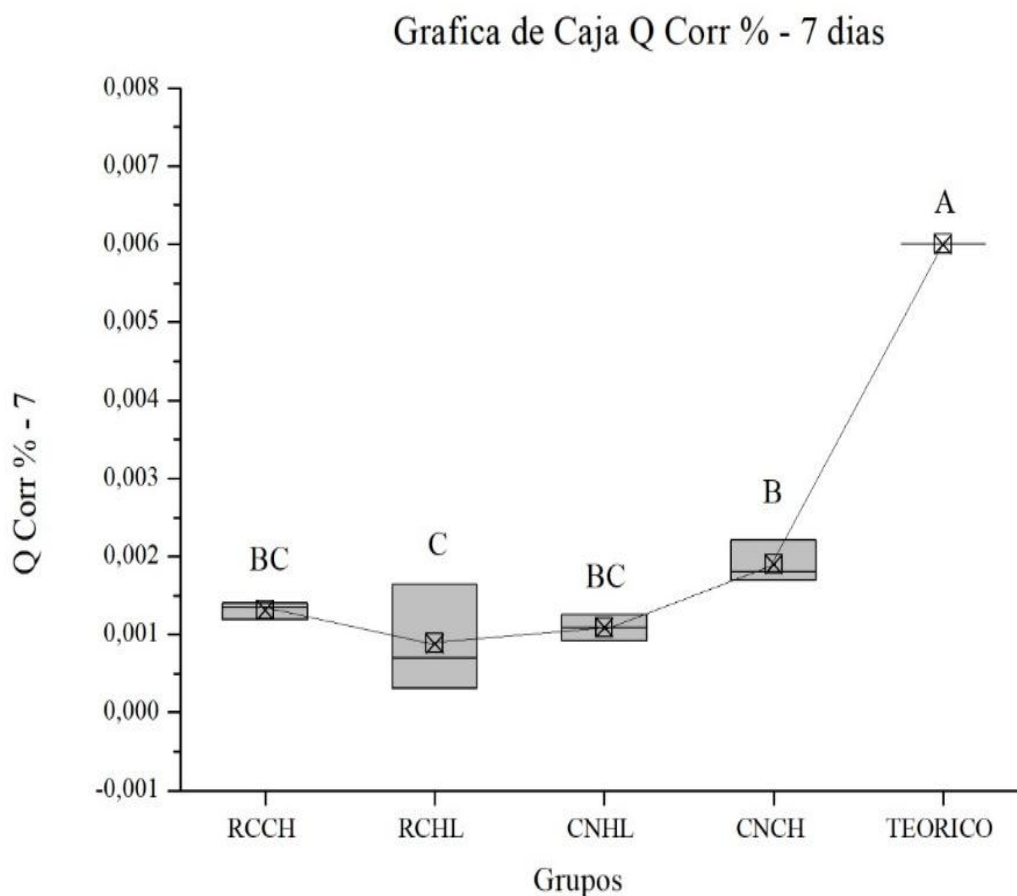


Figura N° 4.- Grafica de caja. Q corr % a los 7 días

En las tres muestras se aplicó el análisis de varianza utilizando el intervalo de confianza simultáneo de Tukey del 95%; en la muestra de los 7 días dio resultados evidentes que se refleja en la figura N 4; dos grupos comparten la misma letra indicando que estadísticamente son iguales afirmando así la hipótesis alternativa de Anova que establece que al menos una media de la población analizada es diferente, lo que indica que el grado de corrosión es diferente entre el grupo CN-CH y RC-HL, presentando un grado mayor de corrosión el grupo B o CN-CH, esta diferencia de corrosión se vuelve indiscutible en las siguientes dos muestras.

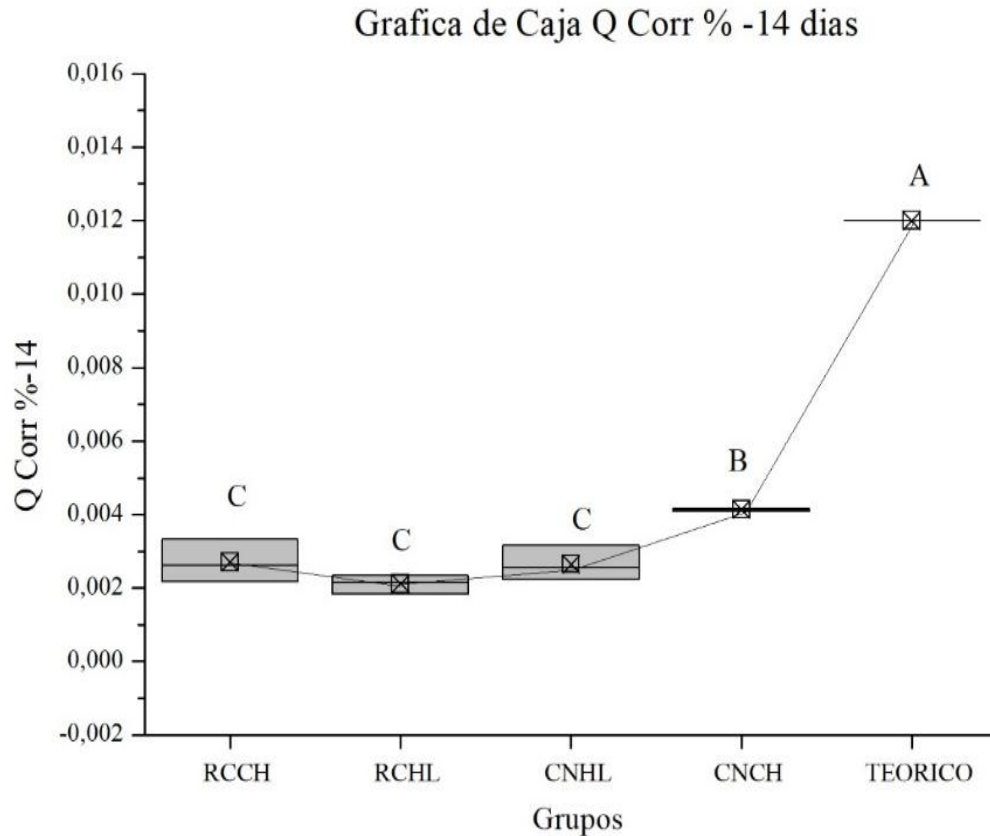


Figura N° 5.- Grafica de caja. Q corr % a los 14 días

En la figura N 5 representa el análisis de varianza de los cubos ensayados a los 14 días, se evidencio una igualdad en los 3 primeros grupos compartiendo una misma letra, indicando de esta manera que son significativamente iguales, tomando así la hipótesis alternativa de Anova, y confirmando parcialmente la hipótesis planteada, los cubos fabricados con el cemento Chimborazo y los agregados pétreos de la mina de Cerro Negro presenta mayor corrosión, esto se debe que el cemento Chimborazo presenta un porcentaje mayor de sodio que el cemento Holcim GU.

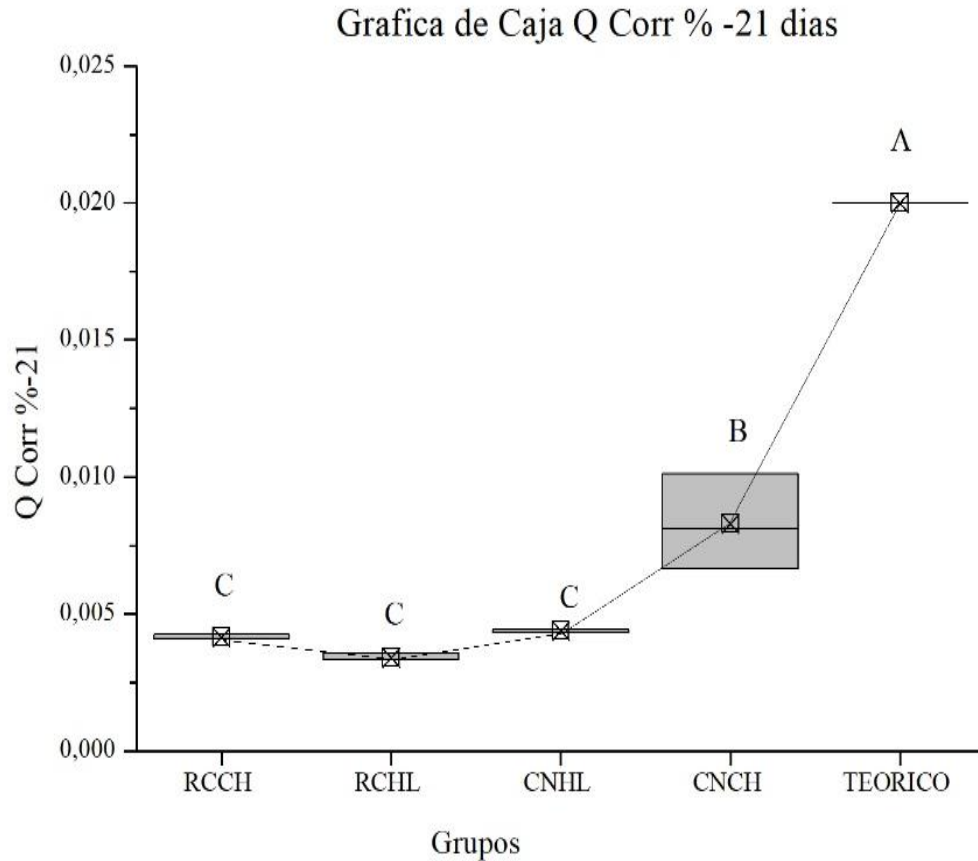


Figura N° 6.- Grafica de caja. Q corr % a los 21 días

La figura N°6 se repite los resultados obtenidos en la figura N°5, la similitud de los 3 primeros grupos y la destacada diferencia del grupo CN-CH, con la diferencia del incremento del porcentaje de corrosión del acero lo que facilito identificar el hidróxido férrico, de color rojizo esto fue producido por la presencia de humedad que conlleva el ensayo; se puede observar las fotografías en el Anexo 7

La destacada diferencia del grupo CN-CH es producida por las sales de sodio presente en el cemento Chimborazo y en los agregados de la mina de Cerro Negro.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De los resultados obtenidos se puede establecer las siguientes conclusiones:

- El ensayo de corrosión acelerada aplicada al acero del hormigón armado, evidencio que la corrosión del acero se produce en un grado superior dependiendo del material utilizado, en este caso los bloques de hormigón armado que fueron fabricados con los agregados de la mina de Cerro Negro y con el cemento Chimborazo IP se corroyeron en un mayor porcentaje, esto debido a las sales como el Sodio y el Carbonato que están presentes en la composición química de los agregados y el cemento.
- Los resultados que brindo el ensayo de difracción de Rayos X realizado a los agregados pétreos en especial los de la mina de Cerro Negro revelo que tienen rocas potencialmente nocivas al hormigón pues son potencialmente reactivos a provocar las reacciones álcalis agregado, como es la roca andesina.
- El ensayo químico elemental revelo que el cemento Chimborazo IP tiene un porcentaje equivalente de sodio superior al máximo permitido (0.6%), propuesto por Jesús Osorio, lo que aumenta la posibilidad en un 45% que se produzca la carbonatación en el hormigón.
- Los agregados pétreos de la mina de Cerro Negro y el cemento Chimborazo IP tienen los compuestos químicos potencialmente reactivos para formar la reacción álcali-carbonato.

Recomendaciones

Al Conocer que el macadam “agregado artificial” de la mina de Cerro Negro es potencialmente corrosivo para el acero estructural se recomienda extender este estudio a todas las minas existentes en la provincia de Chimborazo.

7 BIBLIOGRAFÍA



- ACI 211.1-91. (2002). Práctica Estándar para Seleccionar el Proporcionamiento de Concreto de Peso Normal, Pesado y Masivo. In *American Concrete Institute*.
- Bertolini, L., Elsener, B., Pietro, P., & Redaelli, E. (2013). *Corrosion of Steel in Concrete: Prevention, Diagnosis, Repair*. (V. Wiley, Ed.) (Segunda). Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Calvopina, O., & Cubina, P. (2018). *Porosidad, resistencia a compresión y flexión en hormigones preparados con agregados locales; estudio comparativo mina Cerro Negro y Río Chambo*. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Chaparro, W., & Gordillo, M. (2013). Evaluación de la corrosión del acero embebido en concreto AAS , expuesto a carbonatación mediante un experimento factorial con medidas repetidas, 9(17), 237–260.
- Correa, E. A., Montoya, R. M., Peñaranda, S. L., Echeverría, F., & Castaño, J. G. (2008). Deterioro atmosférico del concreto en ambientes urbanos colombianos de diferente agresividad, 1–10.
- Escobar, A. (2012). *Efecto del uso de ceniza volante en el proceso de Agrietamiento del concreto por corrosión del acero de refuerzo*. Universidad Autónoma de Nuevo León. <https://doi.org/10.4103/0974-9233.65486>
- Fernández, E. (2008). *Corrosión de armaduras en estructuras de hormigon: estudio experimental de la variación de la ductilidad en armaduras corroídas aplicando el criterio de acero equivalente*.
- García, I., Silvia, D., Felipe, A., Mejía de Gutiérrez, J. G., & Ruby Torres, J. (2013). Evaluación de la corrosión de un acero embebido en morteros adicionados con catalizador de craqueo catalítico usado (FCC). *Evaluation of Steel Corrosion in Cement Mortars Containing Catalytic Cracking Catalyst Residue (FCC)*, 31(1), 22–38.
- Gordon, P., Beaudoin, James, J., Ramachandran, & Vangi, S. (2000). Techniques for Corrosion Investigation in Reinforced Concrete.
- NTE INEN 696. (2011). Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso. In *Intituto Ecuatoriano de Normalizacion* (pp. 1–12). Quito.
- NTE INEN 856. (2010). Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino. In *Intituto Ecuatoriano de Normalizacion* (pp. 1–15). <https://doi.org/10.17226/18948>
- NTE INEN 857. (2010). Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso. In *Intituto Ecuatoriano de Normalizacion* (pp. 1–14).
- NTE INEN 858. (2010). Áridos Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos. In *Intituto Ecuatoriano de Normalizacion* (pp. 1–11). Quito.
- NTE INEN 861. (2011). Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas mayores a 19 mm mediante el uso de la máquina de los ángeles. In *Intituto Ecuatoriano de Normalizacion* (pp. 1–8).
- NTE INEN 862. (2011). Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad. In *Intituto Ecuatoriano de Normalizacion* (pp. 1–8). Quito.
- NTE INEN 872. (2011). Áridos para hormigón. Requisitos. In *Intituto Ecuatoriano de Normalizacion* (pp. 1–19). Quito.
- Ortiz, B., Luna, B., Perez, T., & Camacho, R. (2016). Redalyc. Análisis estadístico de los registros de ruido electroquímico obtenidos del proceso de corrosión del acero de refuerzo embebido

- en concreto. *Revista Mexicana de Ingenieria Quimica*, 16, 14.
- Ortiz, J. (2005). *Estudio experimental sobre la influencia de la temperatura ambiental en la resistencia del hormigón preparado*. Universidad Politecnica de Catalunya.
- Osorio, J. (2013). ARGOS. Retrieved from <https://bit.ly/2Dv8ZWg>
- Pasquel, E. (2011). Reaccion alcali agregados el VIH del concreto.
- Sanjuan, M., & Castro, P. (2001). *Accion de los agentes quimicos y fisicos sobre el concreto*. (H. Esqueda & R. Huerta, Eds.) (Primera ed). Mexico: Copyright © Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.
- Segarra, J. (2005). *Envejecimiento de presas por reacciones expansivas en el hormigón*. Universidad Politécnica de Cataluña. Retrieved from <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3315>
- Solis, R. (2018). Carbonatacion natural del concreto a cuatro años. *Universidad Autonoma de Yucatan*, 1(Abril), 2.
- Soriano, J. (1998). Reaccion Alkali Agregado Metodo Acelerado. *Escuela Sueperior Politecnica Del Litoral*, 21.

8 ANEXOS

Anexo 1: Análisis Granulométrico

Tabla N° 15.- Granulometría- Mina Cerro Negro, Muestra, Agregado fino

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
Muestra 1: Mina Cerro Negro		Fecha de Ensayo: 1/05/2018				
Norma: NTE INEN 696		Realizado por: Jordy Velásquez				
Masa Analizada : 2000 g		Director del Proyecto: Ing. Jorge Núñez				
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO						
TAMICES	Masa Retenida (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa	Límites Específicos Serie Finos	
3/8"	12	0,60	0,60	99,85	100	100
N° 4	38	1,90	2,50	97,35	95	100
N° 8	342	17,10	19,60	80,25	80	100
N° 16	358	17,90	37,50	62,35	50	85
N° 30	305	15,25	52,75	47,10	25	60
N° 50	357	17,85	70,60	29,25	10	30
N° 100	312	15,60	86,20	13,65	2	10
BANDEJA	273	13,65	99,85	0,00	0	0
Total	1997					
M.F	2,70					

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J.

Curva Granulométrica del agregado fino

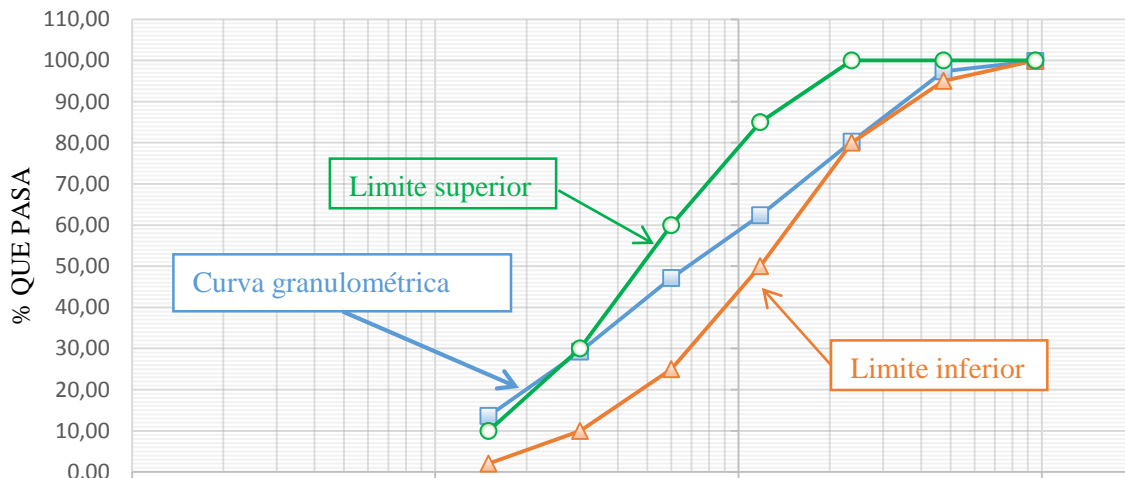




Figura N° 7: Granulometría- Mina Cerro Negro, Muestra1, Agregado fino

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J

Tabla N° 16.- Granulometría- Mina Cerro Negro, Muestra2, Agregado fino

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
Muestra 2: Mina Cerro Negro	Fecha de Ensayo: 1/05/2018					
Norma: NTE INEN 696	Realizado por: Jordy Velásquez					
Masa Analizada : 2000 g	Director del Proyecto: Ing. Jorge Nuñez					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO						
TAMICES	Masa Retenida (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa	Límites Específicos Serie Finos	
3/8"	24	1,20	1,20	99,90	100	100
N° 4	49	2,45	3,65	96,25	95	100
N° 8	357	17,85	21,50	78,40	80	100
N° 16	360	18,00	39,50	60,40	50	85
N° 30	332	16,60	56,10	43,80	25	60
N° 50	305	15,25	71,35	28,55	10	30
N° 100	310	15,50	86,85	13,05	2	10
BANDEJA	261	13,05	99,90	0,00	0	0
Total	1998					
M.F	2,80					

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J

Curva Granulométrica del agregado fino

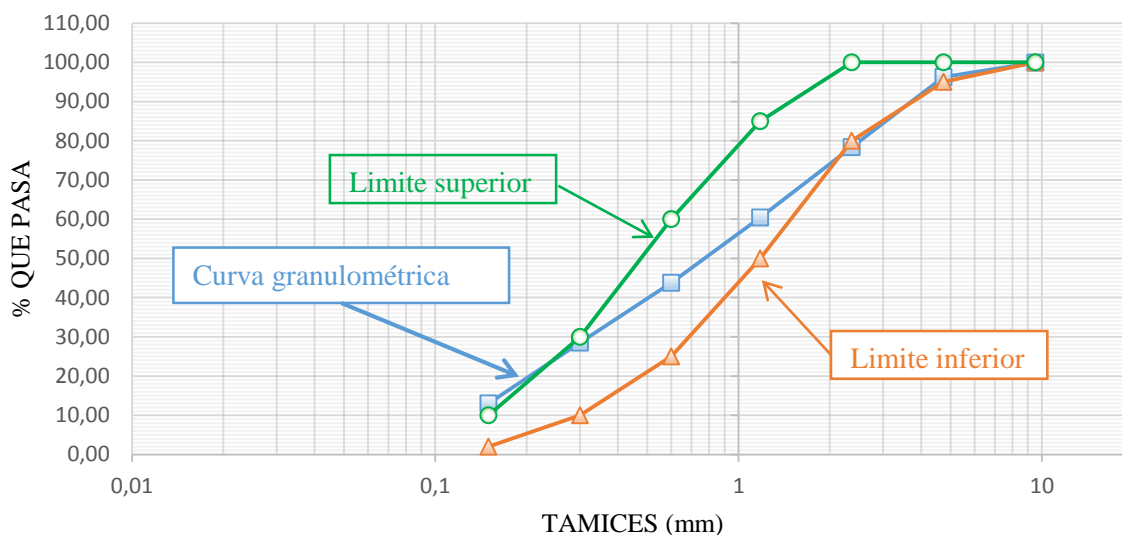




Figura N° 8.- Granulometría- Mina Cerro Negro, Muestra2, Agregado fino

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J

Tabla N° 17.- Granulometría- Mina Cerro Negro, Muestra 3, Agregado fino

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
Muestra 3: Mina Cerro Negro		Fecha de Ensayo: 1/05/2018				
Norma: NTE INEN 696		Realizado por: Jordy Velásquez				
Masa Analizada : 2000 g		Director del Proyecto: Ing. Jorge Nuñez				
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO						
TAMICES	Masa Retenida (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa	Límites Específicos Serie Finos	
3/8"	26	1,30	1,30	99,80	100	100
N° 4	47	2,35	3,65	96,15	95	100
N° 8	370	18,50	22,15	77,65	80	100
N° 16	366	18,30	40,45	59,35	50	85
N° 30	328	16,40	56,85	42,95	25	60
N° 50	291	14,55	71,40	28,40	10	30
N° 100	301	15,05	86,45	13,35	2	10
BANDEJA	267	13,35	99,80	0,00	0	0
Total	1996					
M.F	2,82					

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J

Curva Granulométrica del agregado fino

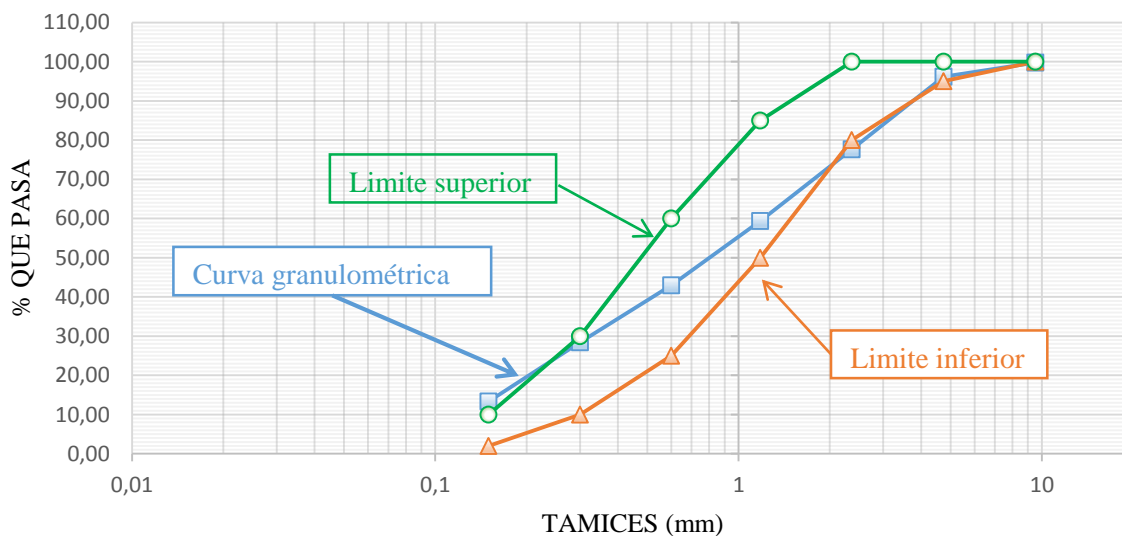




Figura N° 9 .- Granulometría- Mina Cerro Negro, Muestra 3, Agregado fino

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J

Tabla N° 18.- Granulometría- Mina Rio Chambo, Muestra 1, Agregado fino

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
Muestra 1: Mina Rio Chambo		Fecha de Ensayo: 1/05/2018				
Norma: NTE INEN 696		Realizado por: Jordy Velásquez				
Masa Analizada : 2000 g		Director del Proyecto: Ing. Jorge Nuñez				
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO						
TAMICES	Masa Retenida (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa	Límites Específicos Serie Finos	
3/8"	27	1,35	1,35	99,85	100	100
N° 4	100	5,00	6,35	93,50	95	100
N° 8	248	12,40	18,75	81,10	80	100
N° 16	408	20,40	39,15	60,70	50	85
N° 30	415	20,75	59,90	39,95	25	60
N° 50	426	21,30	81,20	18,65	10	30
N° 100	248	12,40	93,60	6,25	2	10
BANDEJA	125	6,25	99,85	0,00	0	0
Total	1997					
M.F	3,00					

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J

Curva Granulométrica del agregado fino

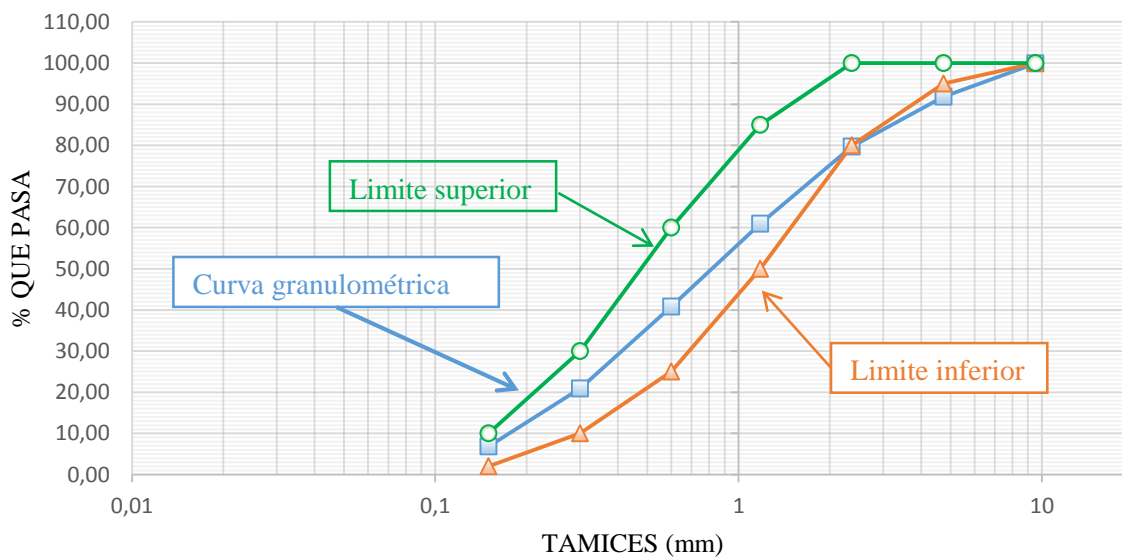




Figura N° 10.- Granulometría- Mina Rio Chambo, Muestra 1, Agregado fino

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J

Tabla N° 19.- Granulometría- Mina Rio Chambo, Muestra 2, Agregado fino

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
Muestra 2: Mina Rio Chambo	Fecha de Ensayo: 1/05/2018					
Norma: NTE INEN 696	Realizado por: Jordy Velásquez					
Masa Analizada : 2000 g	Director del Proyecto: Ing. Jorge Núñez					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO						
TAMICES	Masa Retenida (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa	Límites Específicos Serie Finos	
3/8"	34	1,70	1,70	99,95	100	100
N° 4	128	6,40	8,10	91,85	95	100
N° 8	243	12,15	20,25	79,70	80	100
N° 16	375	18,75	39,00	60,95	50	85
N°30	402	20,10	59,10	40,85	25	60
N° 50	398	19,90	79,00	20,95	10	30
N° 100	282	14,10	93,10	6,85	2	10
BANDEJA	137	6,85	99,95	0,00	0	0
Total	1999					
M.F	3,00					

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J

Curva Granulométrica del agregado fino

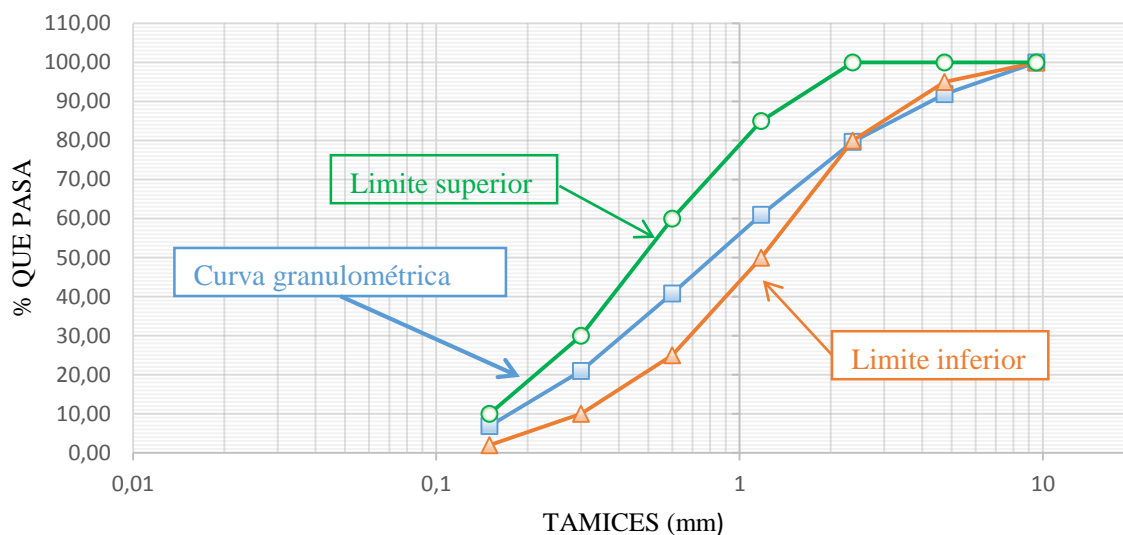




Figura N° 11.- Granulometría- Mina Rio Chambo, Muestra 2, Agregado fino

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J

Tabla N° 20.- Granulometría- Mina Rio Chambo, Muestra 3, Agregado fino

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
Muestra 3: Mina Rio Chambo		Fecha de Ensayo: 1/05/2018				
Norma: NTE INEN 696		Realizado por: Jordy Velásquez				
Masa Analizada : 2000 g		Director del Proyecto: Ing. Jorge Núñez				
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO						
TAMICES	Masa Retenida (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa	Límites Específicos Serie Finos	
3/8"	40	2,00	2,00	99,85	100	100
N° 4	93	4,65	6,65	93,20	95	100
N° 8	235	11,75	18,40	81,45	80	100
N° 16	366	18,30	36,70	63,15	50	85
N° 30	399	19,95	56,65	43,20	25	60
N° 50	428	21,40	78,05	21,80	10	30
N° 100	289	14,45	92,50	7,35	2	10
BANDEJA	147	7,35	99,85	0,00	0	0
Total	1997					
M.F	2,91					

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J

Curva Granulométrica del agregado fino

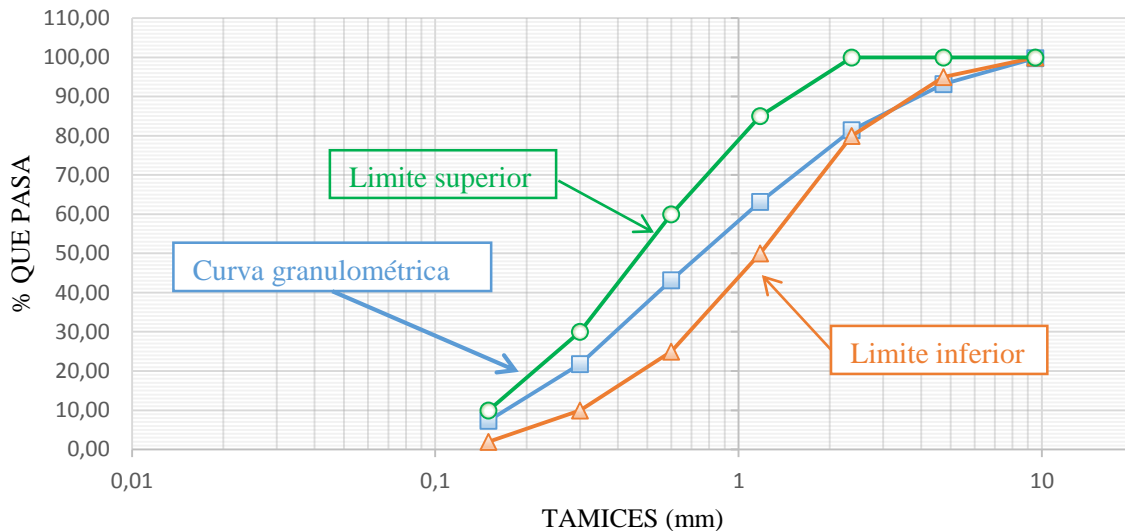




Figura N° 12.- Granulometría- Mina Rio Chambo, Muestra 3, Agregado fino

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J

Tabla N° 21.- Granulometría- Mina Cerro Negro, Muestra 1, Agregado grueso

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
Muestra 1: Mina Cerro Negro		Fecha de Ensayo: 1/05/2018				
Norma: NTE INEN 696		Realizado por: Jordy Velásquez				
Masa Analizada : 5000 g		Director del Proyecto: Ing. Jorge Nuñez				
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO						
TAMICES	Masa Retenida (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa	Límites Específicos Serie Finos	
1 1/2"	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
1"	79,0	1,58	1,58	98,42	100	100
3/4"	594	11,88	13,46	86,54	90	100
1/2"	3447	68,94	82,40	17,60	40	85
3/8"	653	13,06	95,46	4,54	0	60
N°4	219	4,38	99,84	0,16	0	15
N°8	7,00	0,14	99,98	0,02	0	5
BANDEJA	1,00	0,02	100,00	0,00	0	0
Total	5000					
T.M Nominal	3/4"					

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J

Curva Granulométrica del agregado grueso

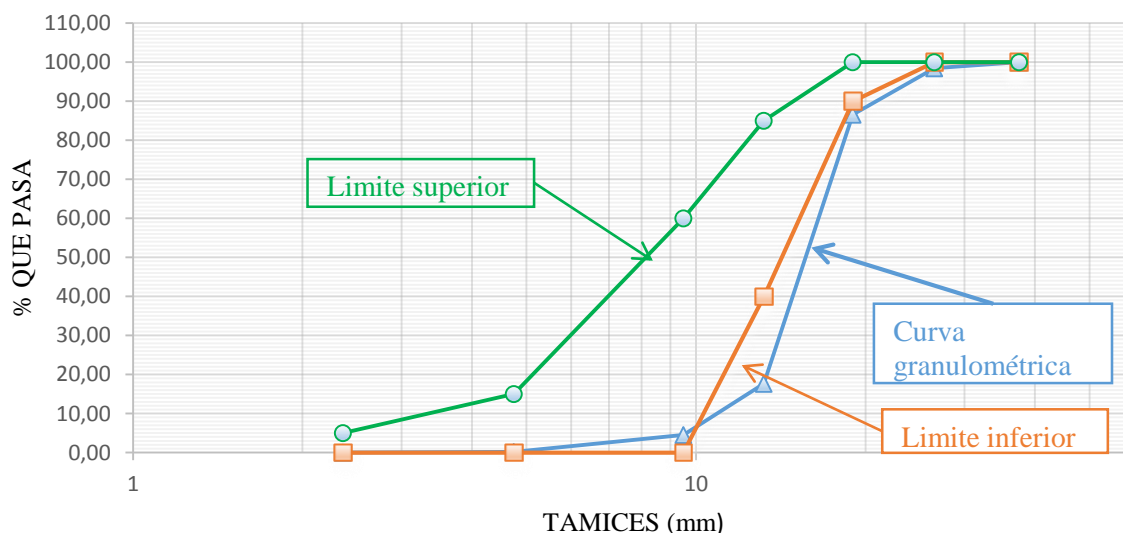


Figura N° 13.- Granulometría- Mina Cerro Negro, Muestra 1, Agregado grueso

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J

Tabla N° 22.- Granulometría- Mina Cerro Negro, Muestra 2, Agregado grueso



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



Muestra 2: Mina Cerro Negro

Fecha de Ensayo: 1/05/2018

Norma: NTE INEN 696

Realizado por: Jordy Velásquez

Masa Analizada : 5000 g

Director del Proyecto: Ing. Jorge Nuñez

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO

TAMICES	Masa Retenida (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa	Límites Específicos Serie Finos	
1 1/2"	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
1"	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
3/4"	908	18,16	18,16	81,84	90	100
1/2"	3109	62,18	80,34	19,66	40	85
3/8"	746,0	14,92	95,26	4,74	0	60
N°4	213,0	4,26	99,52	0,48	0	15
N°8	20,00	0,40	99,92	0,08	0	5
BANDEJA	4,00	0,08	100,00	0,00	0	0
Total	5000					
T.M Nominal	3/4"					

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J

Curva Granulométrica del agregado grueso

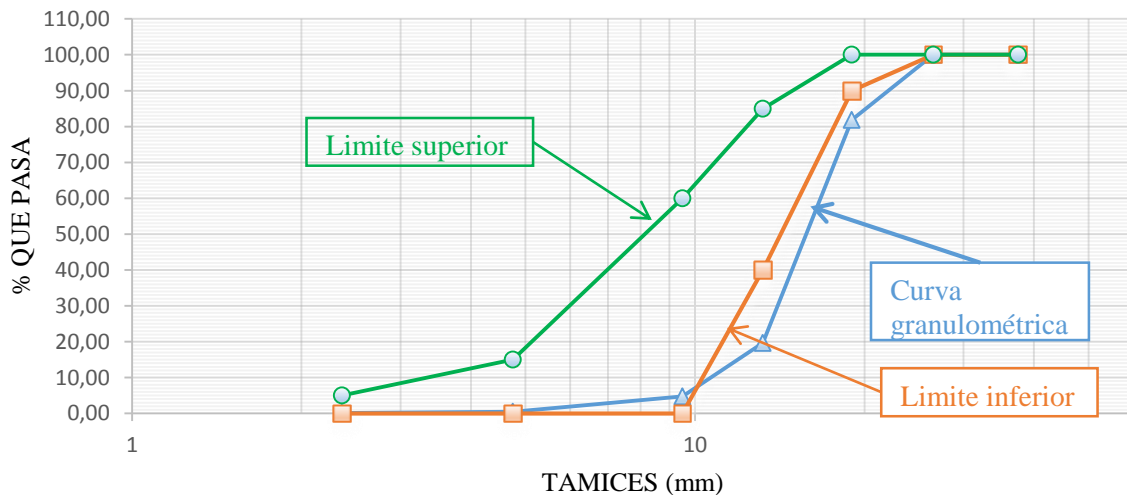




Figura N° 14.- Granulometría- Mina Cerro Negro, Muestra 2, Agregado grueso

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J

Tabla N° 23.- Granulometría- Mina Cerro Negro, Muestra 3, Agregado grueso

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
Muestra 3: Mina Cerro Negro		Fecha de Ensayo: 1/05/2018				
Norma: NTE INEN 696		Realizado por: Jordy Velásquez				
Masa Analizada : 5000 g		Director del Proyecto: Ing. Jorge Nuñez				
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO						
TAMICES	Masa Retenida (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa	Límites Específicos Serie Finos	
1 1/2"	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
1"	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
3/4"	955	19,10	19,10	80,90	90	100
1/2"	3415	68,30	87,40	12,60	40	85
3/8"	489	9,78	97,18	2,82	0	60
N°4	131	2,62	99,80	0,20	0	15
N°8	9,00	0,18	99,98	0,02	0	5
BANDEJA	100	0,02	100,00	0,00	0	0
Total	5000					
T.M Nominal	3/4"					

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J

Curva Granulométrica del agregado grueso

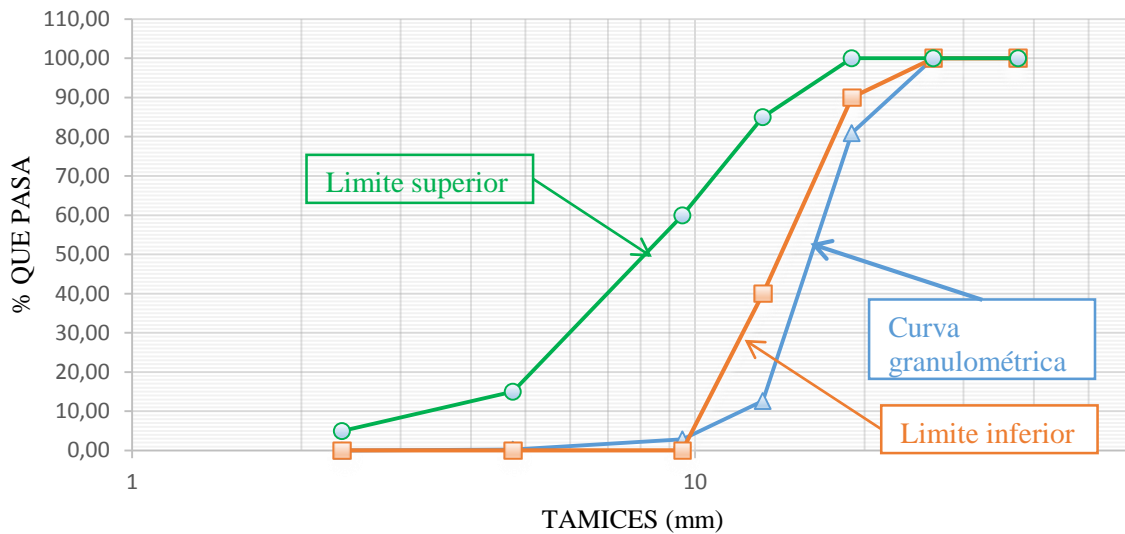


Figura N° 15.- Granulometría- Mina Cerro Negro, Muestra 3, Agregado grueso

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J

Tabla N° 24 .- Granulometría- Mina Rio Chambo, Muestra 1, Agregado grueso



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



Muestra 1: Mina Rio Chambo

Fecha de Ensayo: 1/05/2018

Norma: NTE INEN 696

Realizado por: Jordy Velásquez

Masa Analizada : 5000 g

Director del Proyecto: Ing. Jorge Nuñez

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO

TAMICES	Masa Retenida (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa	Límites Específicos Serie Finos	
1 1/2"	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
1"	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
3/4"	87,0	1,74	1,74	98,26	90	100
1/2"	3985	79,70	81,44	18,56	40	85
3/8"	697	13,94	95,38	4,62	0	60
N°4	208	4,16	99,54	0,46	0	15
N°8	15,0	0,30	99,84	0,16	0	5
BANDEJA	8,00	0,16	100,00	0,00	0	0
Total	5000					
T.M Nominal	3/4"					

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J

Curva Granulométrica del agregado grueso

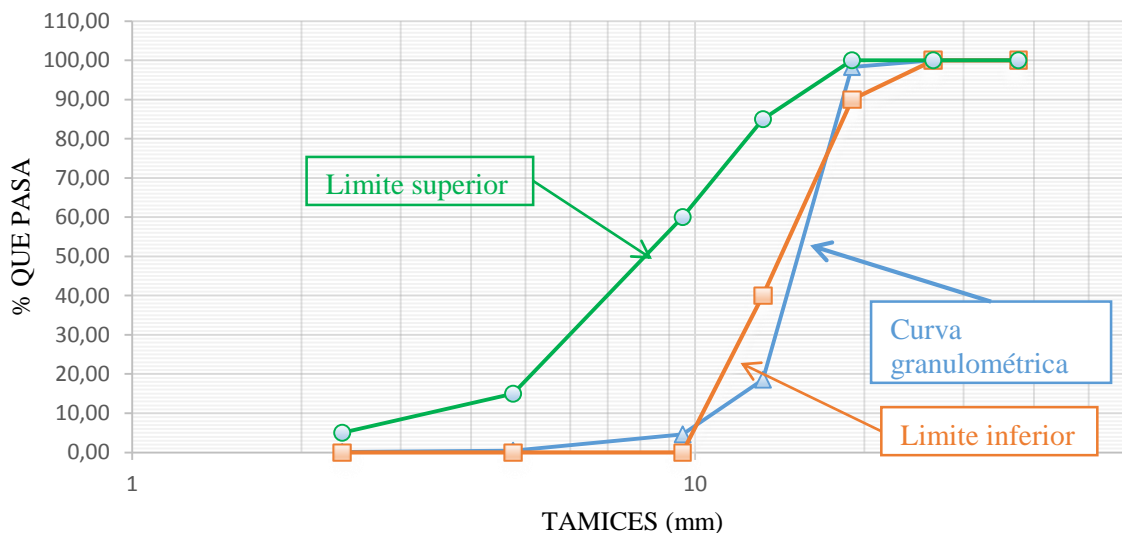


Figura N° 16.- Granulometría- Mina Rio Chambo, Muestra 1, Agregado grueso

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J

Tabla N° 25.- Granulometría- Mina Rio Chambo, Muestra 2, Agregado grueso



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



Muestra 2: Mina Rio Chambo

Fecha de Ensayo: 1/05/2018

Norma: NTE INEN 696

Realizado por: Jordy Velásquez

Masa Analizada : 5000 g

Director del Proyecto: Ing. Jorge Nuñez

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO

TAMICES	Masa Retenida (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa	Límites Específicos Serie Finos	
1 1/2"	0	0,00	0,00	100,00	100	100
1"	0	0,00	0,00	100,00	100	100
3/4"	86	1,72	1,72	98,28	90	100
1/2"	3925	78,50	80,22	19,78	40	85
3/8"	754	15,08	95,30	4,70	0	60
N°4	205	4,10	99,40	0,60	0	15
N°8	27	0,54	99,94	0,06	0	5
BANDEJA	3	0,06	100,00	0,00	0	0
Total	5000					
T.M Nominal	3/4"					

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J

Curva Granulométrica del agregado grueso

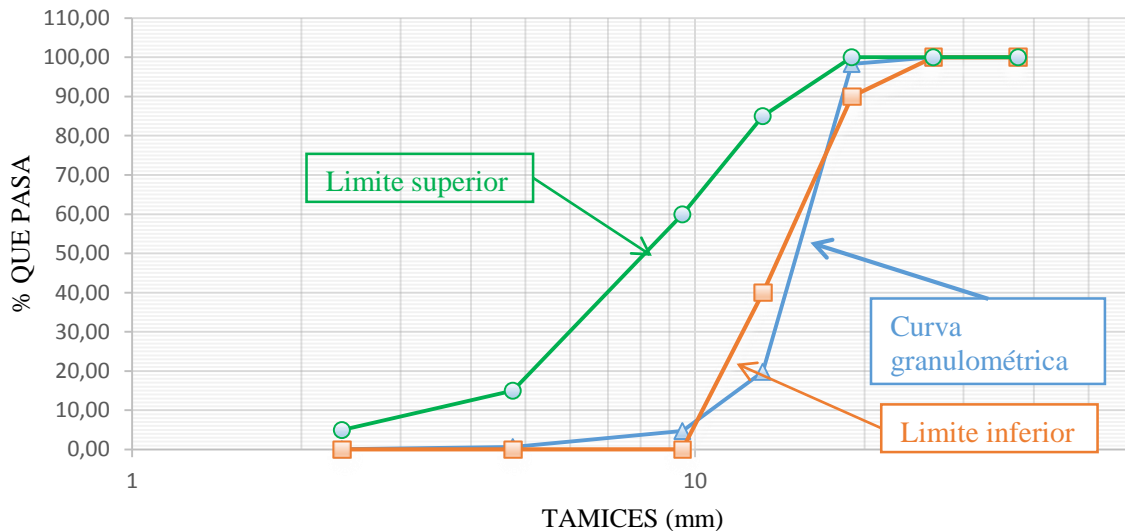


Figura N° 17.- Granulometría- Mina Rio Chambo, Muestra 2, Agregado grueso

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J

Tabla N° 26.- Granulometría- Mina Rio Chambo, Muestra 3, Agregado grueso



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



Muestra 3: Mina Rio Chambo

Fecha de Ensayo: 1/05/2018

Norma: NTE INEN 696

Realizado por: Jordy Velásquez

Masa Analizada : 5000 g

Director del Proyecto: Ing. Jorge Nuñez

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO

TAMICES	Masa Retenida (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa	Límites Específicos Serie Finos
1 1/2"	0	0,00	0,00	99,98	100
1"	0	0,00	0,00	99,98	100
3/4"	71	1,42	1,42	98,56	90
1/2"	3932	78,64	80,06	19,92	40
3/8"	722	14,44	94,50	5,48	0
N°4	241	4,82	99,32	0,66	0
N°8	21	0,42	99,74	0,24	0
BANDEJA	12	0,24	99,98	0,00	0
Total	4999				
T.M Nominal	3/4"				

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J

Curva Granulométrica del agregado grueso

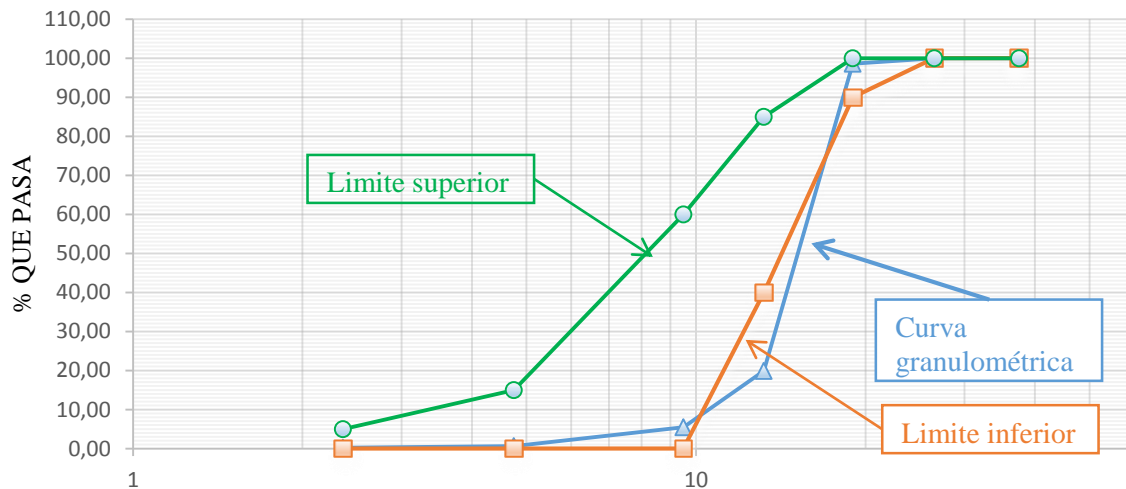


Figura N° 18.- Granulometría- Mina Rio Chambo, Muestra 3, Agregado grueso

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J

Anexo 2: Contenido de Humedad en los agregados finos y gruesos

Tabla N° 27.- Contenido de Humedad del agregado fino, Cerro Negro



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 	
Muestra : Mina Cerro Negro	Fecha de Ensayo: 14/06/2018
Norma: NTE INEN 862	Realizado por: Jordy Velásquez
Masa Analizada : 2547 g	Director del Proyecto: Ing. Jorge Nuñez
CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO FINO	
Muestra	Peso en gramos (g)
Peso de la bandeja	1305
Peso de la bandeja + agregado	3852
Peso de la bandeja + agregado seco	3697
"W" Masa Inicial de la muestra	2547
"D" Masa Inicial de la muestra seca	2392
Porcentaje de Humedad	6,48%
Elaborado por: Velásquez S. Jordy J	

Tabla N° 28.- Contenido de Humedad del agregado fino, Rio Chambo



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 	
Muestra : Mina Rio Chambo	Fecha de Ensayo: 14/06/2018
Norma: NTE INEN 862	Realizado por: Jordy Velásquez
Masa Analizada : 2618 g	Director del Proyecto: Ing. Jorge Nuñez
CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO FINO	
Muestra	Peso en gramos (g)
Peso de la bandeja	1313
Peso de la bandeja + agregado	3931
Peso de la bandeja + agregado seco	3810
"W" Masa Inicial de la muestra	2618
"D" Masa Inicial de la muestra seca	2497
Porcentaje de Humedad	4,85%
Elaborado por: Velásquez S. Jordy J	

Tabla N° 29.- Contenido de Humedad del agregado grueso, Cerro Negro




 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 	
Muestra : Mina Cerro Negro	Fecha de Ensayo: 14/06/2018
Norma: NTE INEN 862	Realizado por: Jordy Velásquez
Masa Analizada : 5428 g	Director del Proyecto: Ing. Jorge Nuñez
CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO GRUESO	
Muestra	Peso en gramos (g)
Peso de la bandeja	2014
Peso de la bandeja + agregado	7442
Peso de la bandeja + agregado seco	7389
"W" Masa Inicial de la muestra	5428
"D" Masa Inicial de la muestra seca	5375
Porcentaje de Humedad	0,99%
Elaborado por: Velásquez S. Jordy J	

Tabla N° 30.- Contenido de Humedad del agregado grueso, Rio Chambo

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 	
Muestra : Mina Rio Chambo	Fecha de Ensayo: 14/06/2018
Norma: NTE INEN 862	Realizado por: Jordy Velásquez
Masa Analizada : 8130 g	Director del Proyecto: Ing. Jorge Nuñez
CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO GRUESO	
Muestra	Peso en gramos (g)
Peso de la bandeja	2002
Peso de la bandeja + agregado	10132
Peso de la bandeja + agregado seco	10072
"W" Masa Inicial de la muestra	8130
"D" Masa Inicial de la muestra seca	8070
Porcentaje de Humedad	0,74%
Elaborado por: Velásquez S. Jordy J	

Anexo 3: Porcentaje de absorción y densidad de los agregados

Tabla N° 31.- Peso específico y absorción del agregado fino. Cerro Negro

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
Muestra : Mina Cerro Negro			Fecha de Ensayo: 15/06/2018		
Norma: NTE INEN 856			Realizado por: Jordy Velásquez		
Masa Analizada : 500 g			Director del Proyecto: Ing. Jorge Nuñez		
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO					
		Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Unidad
A	Masa seca al horno	473	476	477	g
B	Masa del picnómetro vacío	417	417	417	g
C	Masa del picnómetro + árido en estado SSS	917	917	917	g
D	Masa del picnómetro +árido en SSS+ agua	1540	1542	1543	g
E	Masa del picnómetro calibrado	1237	1237	1237	g
F	Masa del árido en el estado SSS	500	500	500	g
G	Volumen desalojado	197	195	194	cm3
I(SH)	Densidad relativa	2,401	2,441	2,459	g/cm3
J(SSS)	Densidad relativa	2,538	2,564	2,577	g/cm3
K	Densidad relativa aparente	2,782	2,784	2,789	g/cm3
P	Absorción	5,708%	5,042%	4,822%	%

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J

Tabla N° 32.- Peso específico y absorción del agregado grueso. Cerro Negro

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
Muestra : Mina Cerro Negro			Fecha de Ensayo: 15/06/2018		
Norma: NTE INEN 857			Realizado por: Jordy Velásquez		
Masa Analizada : 3000 g			Director del Proyecto: Ing. Jorge Nuñez		
PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO					
		Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Unidad
A	Masa seca al horno	2935	2934	2932	g
B	Masa del recipiente	543	544	1319	g
C	Masa del recipiente + árido en estado SSS	3543	3544	4319	g
D	Masa de la canastilla sumergida en agua	1396	1396	1396	g
E	Masa de la canastilla + árido sumergido	3263	3256	3259	g
F	Masa del árido en el estado SSS	3000	3000	3000	g
G	Masa del árido en agua	1867	1860	1863	g
H	Volumen desalojado	1133	1140	1137	cm3
I(SH)	Densidad relativa	2,590	2,574	2,579	g/cm3
J(SSS)	Densidad relativa	2,648	2,632	2,639	g/cm3
K	Densidad relativa aparente	1,629	1,635	1,633	g/cm3
P	Absorción	2,215%	2,249%	2,319%	%

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J

Tabla N° 33.- Peso específico y absorción del agregado fino. Rio Chambo

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO			
		FACULTAD DE INGENIERÍA			
		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
Muestra :	Mina Rio Chambo	Fecha de Ensayo: 15/06/2018			
Norma:	NTE INEN 856	Realizado por: Jordy Velásquez			
Masa Analizada :	500 g	Director del Proyecto: Ing. Jorge Nuñez			
PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO					
		Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Unidad
A	Masa seca al horno	484	481	481	g
B	Masa del picnómetro vacío	417	417	417	g
C	Masa del picnómetro + árido en estado SSS	917	917	917	g
D	Masa del picnómetro +árido en SSS+ agua	1555	1535	1549	g
E	Masa del picnómetro calibrado	1237	1237	1237	g
F	Masa del árido en el estado SSS	500	500	500	g
G	Volumen desalojado	182	202	188	cm3
I(SH)	Densidad relativa	2,659	2,381	2,559	g/cm3
J(SSS)	Densidad relativa	2,747	2,475	2,660	g/cm3
K	Densidad relativa aparente	2,916	2,628	2,846	g/cm3
P	Absorción	3,306%	3,950%	3,950%	%

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J



Tabla N° 34.- Peso específico y absorción del agregado grueso. Rio Chambo

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO			
		FACULTAD DE INGENIERÍA			
		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
Muestra :	Mina Rio chambo	Fecha de Ensayo: 15/06/2018			
Norma:	NTE INEN 857	Realizado por: Jordy Velásquez			
Masa Analizada :	3000 g	Director del Proyecto: Ing. Jorge Nuñez			
PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO					
		Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Unidad
A	Masa seca al horno	2969	2959	2961	g
B	Masa del recipiente	1320	2004	1308	g
C	Masa del recipiente + árido en estado SSS	4320	5004	4308	g
D	Masa de la canastilla sumergida en agua	1396	1396	1396	g
E	Masa de la canastilla + árido sumergido	3263	3296	3298	g
F	Masa del árido en el estado SSS	3000	3000	3000	g
G	Masa del árido en agua	1867	1900	1902	g
H	Volumen desalojado	1133	1100	1098	cm3
I(SH)	Densidad relativa	2,620	2,690	2,697	g/cm3
J(SSS)	Densidad relativa	2,648	2,727	2,732	g/cm3
K	Densidad relativa aparente	1,617	1,592	1,589	g/cm3
P	Absorción	1,044%	1,386%	1,317%	%

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J


Anexo 4: Masa unitaria compactada del agregado grueso

Tabla N° 35.- Masa unitaria compacta MUC. Cerro Negro

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
Muestra : Mina Cerro Negro		Fecha de Ensayo: 19/06/2018	
Norma: NTE INEN 858		Realizado por: Jordy Velásquez	
Masa Analizada : 9000 g		Director del Proyecto: Ing. Jorge Nuñez	
MASA UNITARIA COMPACTA			
Símbolo	Descripción	Valores	Unidad
	Recipiente	3129,785	g
A	masa recipiente + placa	4944,153	g
B	masa recipiente + agua + placa	7937,860	g
T	temperatura agua	19,000	°C
D agua	densidad agua	0,999	g/cm ³
C=A-B	volumen recipiente	2993,707	cm ³
D	M1=ARIDO +RECIPIENTE + PLACA	9253,277	g
E	M1=ARIDO +RECIPIENTE + PLACA	9207,918	g
F	M1=ARIDO +RECIPIENTE + PLACA	9343,995	g
G=(D+E+F)/3	promedio árido + recipiente +placa	9268,397	g
H=G-A	masa árido compacto	4324,244	g
I=H/C	MUC	1,444	g/cm ³
	MUC	1444,444	kg/m ³

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J

Tabla N° 36.- Masa unitaria compacta MUC. Rio Chambo

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
Muestra : Mina Rio Chambo		Fecha de Ensayo: 19/06/2018	
Norma: NTE INEN 858		Realizado por: Jordy Velásquez	
Masa Analizada : 9000 g		Director del Proyecto: Ing. Jorge Nuñez	
MASA UNITARIA COMPACTA			
Símbolo	Descripción	Valores	Unidad
	Recipiente	3129,785	g
A	masa recipiente + placa	4944,153	g
B	masa recipiente +a gua + placa	7937,860	g
T	temperatura agua	19,000	°C
D agua	densidad agua	0,999	g/cm ³
C=A-B	volumen recipiente	2993,707	cm ³
D	M1=ARIDO +RECIPIENTE + PLACA	9570,791	g
E	M1=ARIDO +RECIPIENTE + PLACA	9661,510	g
F	M1=ARIDO +RECIPIENTE + PLACA	9525,432	g
G=(D+E+F)/3	promedio árido + recipiente + placa	9585,911	g
H=G-A	masa árido compacto	4641,758	g
I=H/C	MUC	1,551	g/cm ³
	MUC	1550,505	kg/m ³

Elaborado por: Velásquez S. Jordy J

Anexo 5: Corrosión teórica y valores reales del ensayo de corrosión acelerada

Tabla N° 37.- Corrosión teórica de la varilla," Rio Chambo - cemento Chimborazo"



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
Muestra1 : Utilizando agregados de la mina Rio Chambo			Realizado por: Jordy Velásquez			
Numero de Varillas : 9			Director del Proyecto: Ing. Jorge Nuñez			
CORROSION TEORICA DE LA VARILLA," RIO CHAMBO - CEMENTO CHIMBORAZO"						
Muestra	Peso Inicial "Wo" (g)	Peso Final Teórico "Wst" (g)	Perdida Teórica "Wtst" (g)	Corrosión Teórica "Q corr" (%)	Horas Teóricas con electricidad	Corriente Aplicada (mA)
RC-CH 1	129,4800	128,7031	0,7769	0,6000%	168	855
RC-CH 2	130,9100	130,1245	0,7855	0,6000%	168	865
RC-CH 3	129,8700	129,0908	0,7792	0,6000%	168	858
RC-CH 4	130,3800	128,8154	1,5646	1,2000%	336	1722
RC-CH 5	131,0000	129,4280	1,5720	1,2000%	336	1731
RC-CH 6	130,6100	129,0427	1,5673	1,2000%	336	1726
RC-CH 7	129,2100	126,6258	2,5842	2,0000%	504	2845
RC-CH 8	132,8200	130,1636	2,6564	2,0000%	504	2925
RC-CH 9	129,9500	127,3510	2,5990	2,0000%	504	2861
Elaborado por: Velásquez S. Jordy J						

Tabla N° 38.- Corrosión teórica de la varilla," Rio Chambo - cemento Holcim"



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
Muestra2 : Utilizando agregados de la mina Rio Chambo			Realizado por: Jordy Velásquez			
Numero de Varillas : 9			Director del Proyecto: Ing. Jorge Nuñez			
CORROSION TEORICA DE LA VARILLA. " RIO CHAMBO - CEMENTO HOLCIM"						
Muestra	Peso Inicial "Wo" (g)	Peso Final Teórico "Wst" (g)	Perdida Teórica "Wtst" (g)	Corrosión Teórica "Q corr" (%)	Horas Teóricas con electricidad	Corriente Aplicada (mA)
RC-HL 10	131,2200	128,5956	2,6244	0,6000%	168	867
RC-HL11	127,1500	124,6070	2,5430	0,6000%	168	840
RC-HL12	131,1300	128,5074	2,6226	0,6000%	168	866
RC-HL13	131,2500	129,6750	1,5750	1,2000%	336	1734
RC-HL14	131,1700	129,5960	1,5740	1,2000%	336	1733
RC-HL15	130,2900	128,7265	1,5635	1,2000%	336	1721
RC-HL16	130,5600	129,7766	0,7834	2,0000%	504	2875
RC-HL17	131,3300	130,5420	0,7880	2,0000%	504	2892
RC-HL18	132,3400	131,5460	0,7940	2,0000%	504	2914
Elaborado por: Velásquez S. Jordy J						

Tabla N° 39.- Corrosión teórica de la varilla," Cerro Negro - cemento Holcim"



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
Muestra1 : Utilizando agregados de la mina Cerro Negro			Realizado por: Jordy Velásquez			
Numero de Varillas : 9			Director del Proyecto: Ing. Jorge Nuñez			
CORROSION TEORICA DE LA VARILLA. " CERRO NEGRO - CEMENTO HOLCIM"						
Muestra	Peso Inicial "Wo" (g)	Peso Final Teórico "Wst" (g)	Perdida Teórica "Wtst" (g)	Corrosión Teórica "Q corr" (%)	Horas Teóricas con electricidad	Corriente Aplicada (mA)
CN-HL 19	130,9600	130,1742	0,7858	0,6000%	168	865
CN-HL 20	131,3900	130,6017	0,7883	0,6000%	168	868
CN-HL 21	132,2000	131,4068	0,7932	0,6000%	168	873
CN-HL 22	123,9400	122,4527	1,4873	1,2000%	336	1637
CN-HL 23	131,6500	130,0702	1,5798	1,2000%	336	1739
CN-HL 24	131,5700	129,9912	1,5788	1,2000%	336	1738
CN-HL 25	129,2300	126,6454	2,5846	2,0000%	504	2845
CN-HL 26	132,5100	129,8598	2,6502	2,0000%	504	2918
CN-HL 27	129,8200	127,2236	2,5964	2,0000%	504	2858
Elaborado por: Velásquez S. Jordy J						

Tabla N° 40.- Corrosión teórica de la varilla," Cerro Negro – cemento Chimborazo"



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
Muestra2 : Utilizando agregados de la mina Cerro Negro			Realizado por: Jordy Velásquez			
Numero de Varillas : 9			Director del Proyecto: Ing. Jorge Nuñez			
CORROSION TEORICA DE LA VARILLA. " CERRO NEGRO - CEMENTO CHIMBORAZO"						
Muestra	Peso Inicial "Wo" (g)	Peso Final Teórico "Wst" (g)	Perdida Teórica "Wtst" (g)	Corrosión Teórica "Q corr" (%)	Horas Teóricas con electricidad	Corriente Aplicada (mA)
CN-CH 28	131,4700	130,6812	0,7888	0,6000%	168	868
CN-CH 29	130,9200	130,1345	0,7855	0,6000%	168	865
CN-CH 30	133,1200	132,3213	0,7987	0,6000%	168	879
CN-CH 31	131,4900	129,9121	1,5779	1,2000%	336	1737
CN-CH 32	133,1200	131,5226	1,5974	1,2000%	336	1759
CN-CH 33	132,3200	130,7322	1,5878	1,2000%	336	1748
CN-CH 34	131,2100	128,5858	2,6242	2,0000%	504	2889
CN-CH 35	129,5500	126,9590	2,5910	2,0000%	504	2853
CN-CH 36	131,6000	128,9680	2,6320	2,0000%	504	2898
Elaborado por: Velásquez S. Jordy J						

Tabla N° 41.- Corrosión real de la varilla. " Rio Chambo - cemento Chimborazo"



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
Muestra1 : Utilizando agregados de la mina Rio Chambo			Realizado por: Jordy Velásquez			
Numero de Varillas : 9			Director del Proyecto: Ing. Jorge Nuñez			
CORROSION REAL DE LA VARILLA. " RIO CHAMBO - CEMENTO CHIMBORAZO"						
Muestra	Peso Inicial "Wo" (g)	Peso Final "Ws" (g)	Perdida "Wts" (g)	Corrosión "Q corr" (%)	Horas con electricidad	Corriente Aplicada (mA)
RC-CH 1	129,4200	129,2456	0,1744	0,1348%	161	855
RC-CH 2	130,8800	130,6969	0,1831	0,1399%	152	865
RC-CH 3	129,8700	129,7152	0,1548	0,1192%	130	858
RC-CH 4	130,3800	130,0393	0,3407	0,2613%	300	1722
RC-CH 5	131,0000	130,7170	0,2830	0,2160%	315	1731
RC-CH 6	130,6100	130,1760	0,4340	0,3323%	302	1726
RC-CH 7	129,2100	128,6815	0,5285	0,4090%	488	2845
RC-CH 8	132,8200	132,2565	0,5635	0,4243%	547	2925
RC-CH 9	129,9500	129,4189	0,5311	0,4087%	491	2861
Elaborado por: Velásquez S. Jordy J						

Tabla N° 42.- Corrosión real de la varilla. " Rio Chambo - cemento Chimborazo"


 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
Muestra2 : Utilizando agregados de la mina Rio Chambo			Realizado por: Jordy Velásquez			
Numero de Varillas : 9			Director del Proyecto: Ing. Jorge Nuñez			
CORROSION REAL DE LA VARILLA. " RIO CHAMBO - CEMENTO HOLCIM"						
Muestra	Peso Inicial "Wo" (g)	Peso Final "Ws" (g)	Perdida "Wtst" (g)	Corrosión "Q corr" (%)	Horas con electricidad	Corriente Aplicada (mA)
RC-HL 10	131,2200	131,1290	0,0910	0,0693%	206	867
RC-HL11	131,3300	131,2890	0,0410	0,0312%	186	840
RC-HL12	131,1300	130,9145	0,2155	0,1643%	219	866
RC-HL13	131,1500	130,9087	0,2413	0,1840%	400	1734
RC-HL14	131,1700	130,8877	0,2823	0,2152%	365	1733
RC-HL15	130,2900	129,9856	0,3044	0,2336%	382	1721
RC-HL16	130,4200	129,9873	0,4327	0,3318%	609	2875
RC-HL17	127,1200	126,6673	0,4527	0,3561%	692	2892
RC-HL18	132,2100	131,7696	0,4404	0,3331%	603	2914
Elaborado por: Velásquez S. Jordy J						

Tabla N°43.- Corrosión real de la varilla. " Cerro Negro - cemento Holcim"




 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
Muestra1 : Utilizando agregados de la mina Cerro Negro		Realizado por: Jordy Velásquez				
Numero de Varillas : 9		Director del Proyecto: Ing. Jorge Nuñez				
CORROSION REAL DE LA VARILLA. " CERRO NEGRO - CEMENTO HOLCIM"						
Muestra	Peso Inicial "Wo" (g)	Peso Final "Wst" (g)	Perdida "Wtst" (g)	Corrosión "Q corr" (%)	Horas con electricidad	Corriente Aplicada (mA)
CN-HL 19	130,9100	130,7896	0,1204	0,0920%	170	865
CN-HL 20	131,3900	131,2251	0,1649	0,1255%	154	868
CN-HL 21	132,2000	132,0567	0,1433	0,1084%	155	873
CN-HL 22	123,9400	123,6635	0,2765	0,2231%	364	1637
CN-HL 23	131,6500	131,3154	0,3346	0,2542%	302	1739
CN-HL 24	129,2100	128,8018	0,4082	0,3159%	328	1738
CN-HL 25	131,6500	131,0692	0,5808	0,4412%	466	2845
CN-HL 26	132,6300	132,0450	0,5850	0,4411%	458	2918
CN-HL 27	129,9100	129,3481	0,5619	0,4325%	531	2858
Elaborado por: Velásquez S. Jordy J						


Tabla N° 44.- Corrosión real de la varilla. " Cerro Negro - cemento Holcim"

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
Muestra2 : Utilizando agregados de la mina Cerro Negro		Realizado por: Jordy Velásquez				
Numero de Varillas : 9		Director del Proyecto: Ing. Jorge Nuñez				
CORROSION REAL DE LA VARILLA. " CERRO NEGRO - CEMENTO CHIMBORAZO"						
Muestra	Peso Inicial "Wo" (g)	Peso Final Teorico "Wst" (g)	Perdida Teorica "Wtst" (g)	Corrosion Teorica "Q corr" (%)	Horas con electricidad	Corriente Aplicada (mA)
CN-CH 28	131,5100	131,2729	0,2371	0,1803%	185	868
CN-CH 29	130,9600	130,7382	0,2218	0,1694%	210	865
CN-CH 30	133,1900	132,8960	0,2940	0,2207%	185	879
CN-CH 31	131,4900	130,9530	0,5370	0,4084%	300	1737
CN-CH 32	133,3200	132,7686	0,5514	0,4136%	311	1759
CN-CH 33	131,6500	131,1002	0,5498	0,4176%	405	1748
CN-CH 34	129,2100	128,3510	0,8590	0,6648%	592	2889
CN-CH 35	128,3500	127,0520	1,2980	1,0113%	670	2853
CN-CH 36	132,3200	131,2470	1,0730	0,8109%	622	2898
Elaborado por: Velásquez S. Jordy J						

Tabla N° 46.-Análisis de Varianza unidireccional ANOVA-Tukey. Medición a los 14 días



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



Objetivo :Análisis de varias Anova - Tukey **Realizado por:** Jordy Velásquez
Numero de Varillas : 12 **Director del Proyecto:** Ing. Jorge Nuñez

ANÁLISIS DE VARIAS UNIDIRECCIONAL ANOVA POR EL MÉTODO DE TUKEY

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Muestra	4	0.0002057	0.0000514	406.91	0.000
Error	10	0.0000013	0.0000001		
Total	14	0.0002069			

S = 0.0003555 R-cuad. = 99.39% R-cuad.(ajustado) = 99.15%



Nivel	N	Media	Desv.Est.	
RC-CH	3	0.0026690	0.000586	ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada -----+-----+-----+-----+ (-*-) (*-) (-*) (-*) (-*-) -----+-----+-----+-----+ 0.0030 0.0060 0.0090 0.0120
RC-HL	3	0.0021090	0.000251	
CN-HL	3	0.0026440	0.000473	
CN-CH	3	0.0041320	0.000046	
TEORICO	3	0.0120000	0.0000000	

Desv.Est. agrupada = 0.000355
Agrupar información utilizando el método de Tukey

Muestra	N	Media	Agrupación
TEORICO	3	0.0120000	A
CN-CH	3	0.0041320	B
RC-CH	3	0.0026990	C
CN-HL	3	0.0026440	C
RC-HL	3	0.0021090	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Tabla N° 47.- Análisis de Varianza unidireccional ANOVA-Tukey. Medición a los 21 días

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO			
		FACULTAD DE INGENIERÍA			
		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
Objetivo :	Análisis de varias Anova - Tukey		Realizado por: Jordy Velásquez		
Numero de Varillas :	12		Director del Proyecto: Ing. Jorge Nuñez		
ANÁLISIS DE VARIAS UNIDIRECCIONAL ANOVA POR EL MÉTODO DE TUKEY					
Fuente	GL	SC	MC	F	P
Muestra	4	0.0005796	0.0001449	237.14	0.000
Error	10	0.0000061	0.0000006		
Total	14	0.0005857			
S = 0.0007817 R-cuad. = 98.96% R-cuad.(ajustado) = 98.54%					
				ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada	
Nivel	N	Media	Desv.Est.	-----+-----+-----+-----+	
RC-CH	3	0.0041400	0.0000890	(-*-)	
RC-HL	3	0.0034030	0.0001370	(-*-)	
CN-HL	3	0.0043830	0.0000500	(-*-)	
CN-CH	3	0.0082900	0.0017400	(-*-)	
TEORICO	3	0.0200000	0.0000000	(-*-)	
				-----+-----+-----+-----+	
				0.0050	0.0100 0.0150 0.0200
Desv.Est. agrupada = 0.000782					
Agrupar información utilizando el método de Tukey					
Muestra	N	Media	Agrupación		
TEORICO	3	0.0200000	A		
CN-CH	3	0.0082900	B		
RC-CH	3	0.0043830	C		
CN-HL	3	0.0041400	C		
RC-HL	3	0.0034030	C		

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 7: Fotografías de las varillas ensayadas

Tabla N°48.- Fotografías de las varillas después de ser ensayadas RC-CH 1 al RC-CH 6




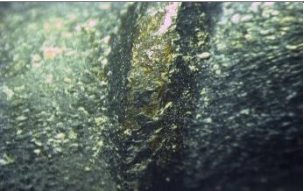








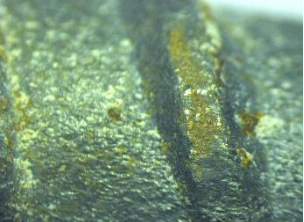
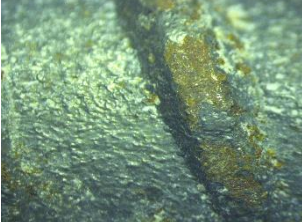
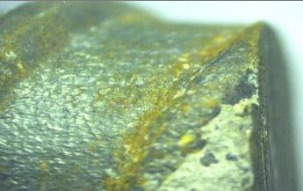
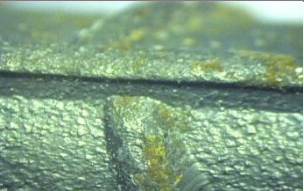




 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
Objetivo : Fotografías de las muestras ensayadas		Realizado por: Jordy Velásquez	
Numero de Varillas : 6		Director del Proyecto: Ing. Jorge Nuñez	
FOTOGRAFÍAS DE LAS VARILLAS CON PRESENCIA DE CORROSIÓN, DESPUÉS DEL ENSAYO			
Muestra	Fotografía 1	Fotografía 2	Fotografía 3
RC-CH 1			
RC-CH 2			
RC-CH 3			
RC-CH 4			
RC-CH 5			
RC-CH 6			

Tabla N°49.- Fotografías de las varillas después de ser ensayadas RC-CH 7 al RC-HL 12



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



Objetivo : Fotografías de las muestras ensayadas

Realizado por: Jordy Velásquez

Numero de Varillas : 6

Director del Proyecto: Ing. Jorge Nuñez

FOTOGRAFÍAS DE LAS VARILLAS CON PRESENCIA DE CORROSIÓN, DESPUÉS DEL ENSAYO

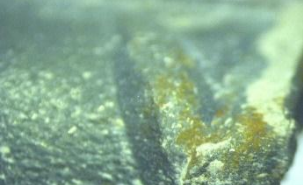


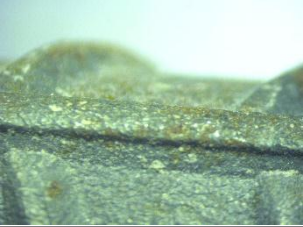

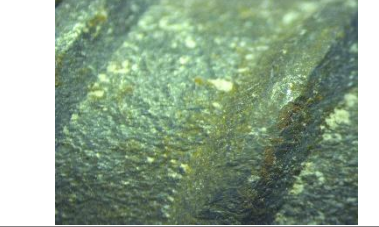
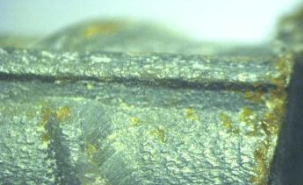







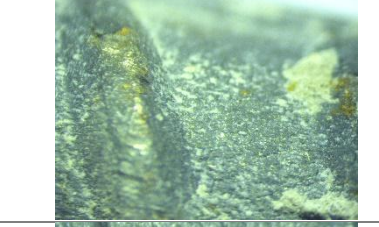

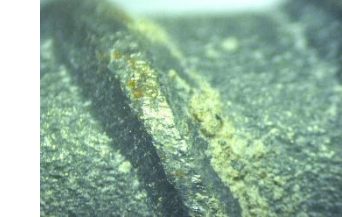

Muestra	Fotografía 1	Fotografía 2	Fotografía 3
RC-CH 7			
RC-CH 8			
RC-CH 9			
RC-HL 10			
RC-HL 11			
RC-HL 12			

Tabla N°50.- Fotografías de las varillas después de ser ensayadas RC-HL 13 al RC-HL 18



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



Objetivo : Fotografías de las muestras ensayadas

Realizado por: Jordy Velásquez

Numero de Varillas : 6

Director del Proyecto: Ing. Jorge Nuñez

FOTOGRAFÍAS DE LAS VARILLAS CON PRESENCIA DE CORROSIÓN, DESPUÉS DEL ENSAYO

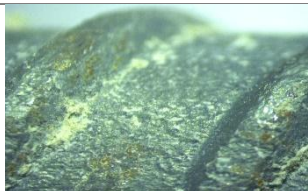

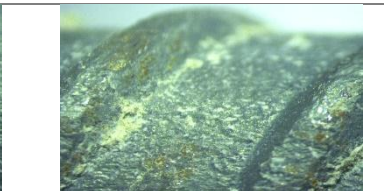
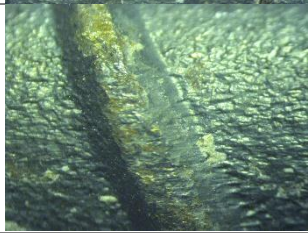
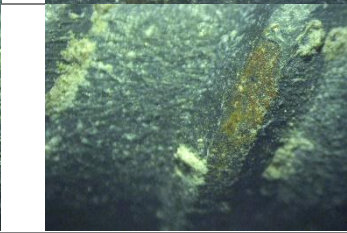
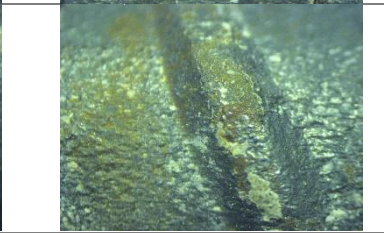
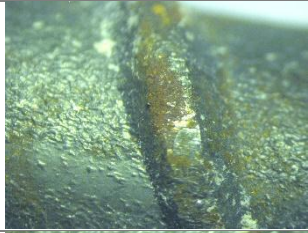
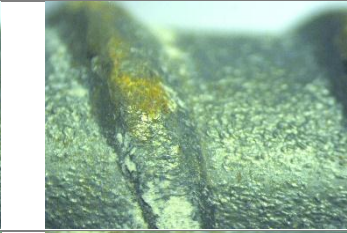
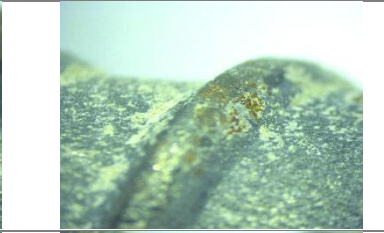

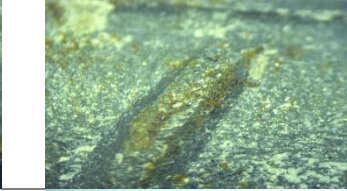

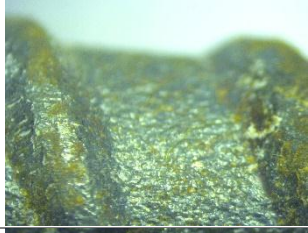
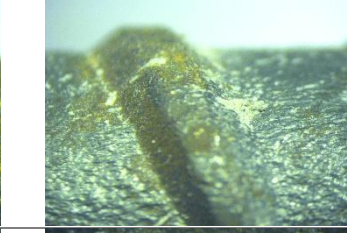
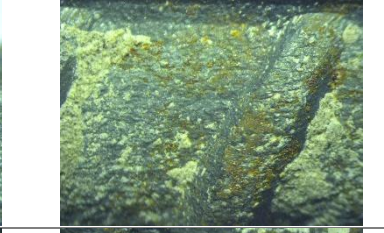
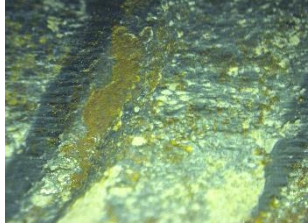

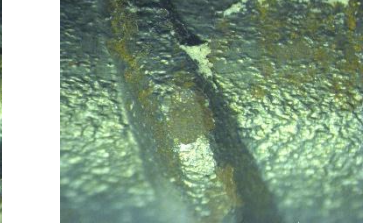
Muestra	Fotografía 1	Fotografía 2	Fotografía 3
RC-HL 13			
RC-HL 14			
RC-HL 15			
RC-HL 16			
RC-HL 17			
RC-HL 18			

Tabla N°51.- Fotografías de las varillas después de ser ensayadas CN-HL 19 al CN-HL 24



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



Objetivo : Fotografías de las muestras ensayadas

Realizado por: Jordy Velásquez

Numero de Varillas : 6

Director del Proyecto: Ing. Jorge Nuñez

FOTOGRAFÍAS DE LAS VARILLAS CON PRESENCIA DE CORROSIÓN, DESPUÉS DEL ENSAYO







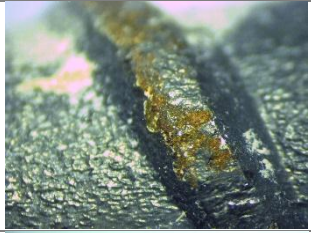

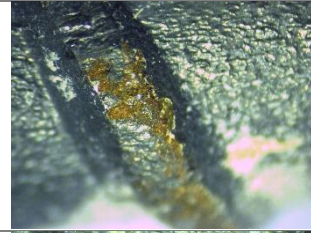
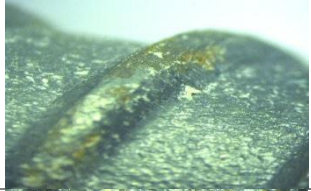
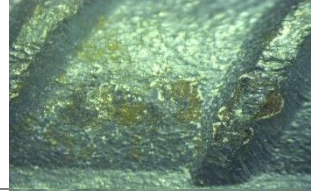


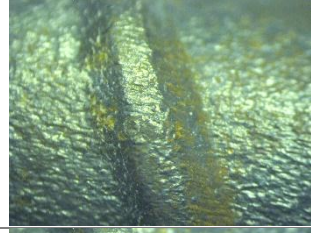
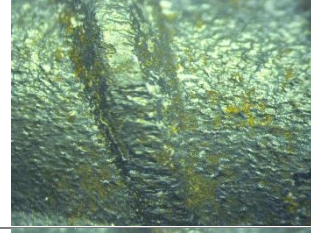
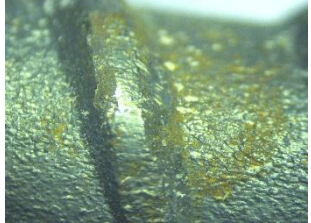


Muestra	Fotografía 1	Fotografía 2	Fotografía 3
CN-HL 19			
CN-HL 20			
CN-HL 21			
CN-HL 22			
CN-HL 23			
CN-HL 24			

Tabla N°52.- Fotografías de las varillas después de ser ensayadas CN-HL 25 al CN-CH 30



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



Objetivo : Fotografías de las muestras ensayadas

Realizado por: Jordy Velásquez

Numero de Varillas : 6

Director del Proyecto: Ing. Jorge Nuñez

FOTOGRAFÍAS DE LAS VARILLAS CON PRESENCIA DE CORROSIÓN, DESPUÉS DEL ENSAYO

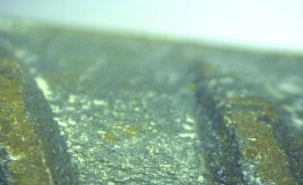




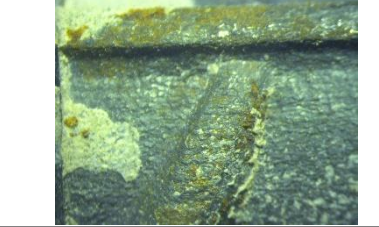

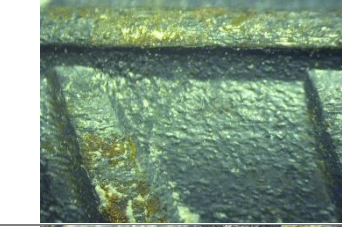
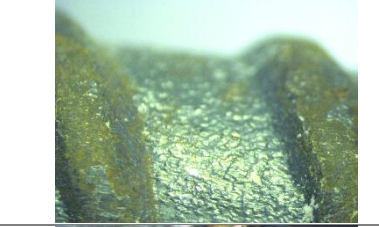

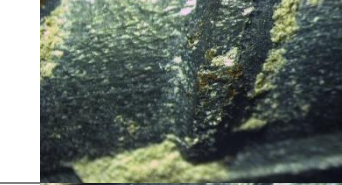







Muestra	Fotografía 1	Fotografía 2	Fotografía 3
CN-HL 25			
CN-HL 26			
CN-HL 27			
CN-CH 28			
CN-CH 29			
CN-CH 30			

Tabla N°53.- Fotografías de las varillas después de ser ensayadas CN-CH 31 al CN-CH 36



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL






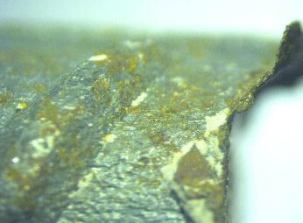







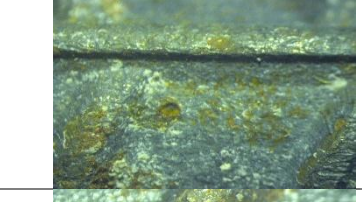



Objetivo : Fotografías de las muestras ensayadas

Realizado por: Jordy Velásquez

Numero de Varillas : 6

Director del Proyecto: Ing. Jorge Nuñez

FOTOGRAFÍAS DE LAS VARILLAS CON PRESENCIA DE CORROSIÓN, DESPUÉS DEL ENSAYO

Muestra	Fotografía 1	Fotografía 2	Fotografía 3
CN-CH 31			
CN-CH 32			
CN-CH 33			
CN-CH 34			
CN-CH 35			
CN-CH 36	