

**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:

**POROSIDAD, RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y FLEXIÓN EN HORMIGONES  
PREPARADOS CON AGREGADOS LOCALES; ESTUDIO COMPARATIVO MINA  
CERRO NEGRO Y RÍO CHAMBO.**

**Autores:**

Omar Guillermo Calvopiña Estrella  
Pablo Fernando Cubiña Cubiña

**Tutor:**

Ing. Jorge Núñez, MsC.

**Riobamba – Ecuador**

2018

## REVISIÓN

Los miembros del tribunal de graduación del proyecto de investigación de título: “POROSIDAD, RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y FLEXIÓN EN HORMIGONES PREPARADOS CON AGREGADOS LOCALES; ESTUDIO COMPARATIVO MINA CERRO NEGRO Y RÍO CHAMBO” presentado por **Omar Guillermo Calvopiña Estrella, Pablo Fernando Cubiña Cubiña** 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 la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo. Para la constancia de lo expuesto firman:

MSc. Jorge E. Núñez  
**Tutor del Proyecto**



Firma

PhD. Oscar A. Cevallos  
**Miembro del Tribunal**



Firma

PhD. Víctor J. García  
**Miembro del Tribunal**



Firma

## **CERTIFICACIÓN DEL TUTOR**

Yo, **Ing. Jorge Núñez**, en calidad de Tutor de Tesis, cuyo tema es: “POROSIDAD, RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y FLEXIÓN EN HORMIGONES PREPARADOS CON AGREGADOS LOCALES; ESTUDIO COMPARATIVO MINA CERRO NEGRO Y RÍO CHAMBO”, CERTIFICO; que el informe final del trabajo investigativo, ha sido revisado y corregido, razón por la cual autorizo a los Señores **Omar Guillermo Calvopiña Estrella, Pablo Fernando Cubiña Cubiña**, para que se presenten ante el tribunal de defensa respectivo para que se lleve a cabo la sustentación de su Tesis.

Atentamente,



Ing. Jorge Núñez, MSc.  
**TUTOR DE TESIS**

## AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad del contenido de este proyecto de Graduación, corresponde exclusivamente a: Omar Guillermo Calvopiña Estrella, Pablo Fernando Cubiña Cubiña e Ing. Jorge Núñez; y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.



Sr. Omar Guillermo Calvopiña Estrella

C.I. 060412705-0



Sr. Pablo Fernando Cubiña Cubiña

C.I. 060412627-6

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi madre Ana Cubiña quien día a día con su amor, paciencia y esfuerzo me ha permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por enseñarme a no temer a las adversidades, a luchar y trabajar con dedicación.

También quiero agradecer a mi tío Ángel Cubiña que con su ejemplo fue un guía para seguir adelante en mi formación profesional, a mi padre Baltazar Azogues por su gran apoyo y consejos fundamentales para superarme cada día más.

Agradezco a mi tutor de tesis Ing. Jorge Núñez y a los docentes Ing. Víctor García & Ing. Óscar Cevallos, quien con su experiencia y conocimiento me orientaron en el desarrollo de la investigación.

Agradezco a todos mis familiares y amigos por sus buenos consejos y apoyo brindado, a la Universidad Nacional de Chimborazo, a la escuela de Ingeniería Civil y a todos los docentes por impartir sus conocimientos y sabiduría para desarrollarme como persona y profesional.

*Pablo Fernando Cubiña Cubiña*

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres Enrique y Lucía por haberme forjado como la persona que soy hoy en día; muchos de mis logros se los debo a ustedes, que con paciencia y amor me motivaron constantemente para seguir adelante. A Dios por darme la vida y sabiduría para cumplir mis anhelos, a mis hermanos, familia y amigos que de alguna u otra forma siempre han estado presentes con su apoyo y preocupación. A mis docentes tutores que con su conocimiento y experiencia me señalaron la ética y principios de la Ingeniería Civil.

*Omar Guillermo Calvopiña Estrella*

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi Madre quien con mucho esfuerzo y dedicación me dio la oportunidad de hoy consagrarme como profesional, quien me enseñó que incluso la tarea más grande se puede lograr si se hace un paso a la vez.

A la Facultad de Ingeniería, a la escuela de Ingeniería Civil, a todos los docentes quienes me ayudaron en mi formación profesional; también lo dedico a mi familia y amigos, por estar siempre apoyándome en las diferentes etapas de mi proceso académico.

*Pablo Fernando Cubiña Cubiña*

## **DEDICATORIA**

Este logro lo dedico a mi familia, amigos y en especial a mi hijo Gael, y mi novia Gaby que me ha hecho un mejor hombre, con quien comparto los mismos intereses y metas el cual ha sido el empuje y apoyo incondicional en mí proceso académico. A la escuela de Ingeniería Civil por abrirme las puertas, y a todos los docentes quienes fraguaron mi formación como profesional y ético durante todos estos años.

*Omar Guillermo Calvopiña Estrella*



## CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN .....	xiii
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. OBJETIVOS .....	2
2.1. Objetivo General.....	2
2.2. Objetivos Específicos .....	2
3. MARCO TEÓRICO.....	3
4. METODOLOGÍA .....	8
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	13
5.1. Ensayo Granulométrico.....	13
5.2. Ensayo contenido de humedad.....	14
5.3. Ensayo de absorción y densidad.....	15
5.4. Ensayo masa unitaria compactada (MUC).....	16
5.5. Resistencia a la abrasión .....	16
5.6. Dosificación .....	17
5.7. Elaboración de probetas .....	18
5.8. Resistencia a compresión .....	18
5.9. Resistencia a flexión.....	22
5.10. Porosidad .....	24
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	26
6.1. Conclusiones .....	26
6.2. Recomendaciones .....	26
7. BIBLIOGRAFÍA .....	27
8. ANEXOS .....	31
Anexo 1. Análisis granulométrico de agregado fino. ....	31
Anexo 2. Análisis Granulométrico de agregado grueso. ....	38
Anexo 3. Contenido de humedad de agregado fino.....	45
Anexo 4. Contenido de humedad de agregado grueso.....	46

Anexo 5. Análisis de porcentaje de absorción y densidad de agregado fino. ....	47
Anexo 6. Análisis de porcentaje de absorción y densidad de agregado grueso. ....	48
Anexo 7. Masa unitaria compacta de agregado grueso. ....	49
Anexo 8. Resistencia a la abrasión. ....	50
Anexo 9. Dosificación para resistencia de 240 kg/cm <sup>2</sup> , método ACI 211.1-91. ....	51
Anexo 10. Resistencia a compresión. ....	55
Anexo 11. Resistencia a flexión. ....	59
Anexo 12. Análisis porcentaje de porosidad. ....	63
Anexo 13. Análisis estadístico (ANOVA) de resistencias a compresión, resistencias a flexión y porcentaje de porosidad. ....	65

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Límites de Resistencias en hormigones preparados con cemento Tipo I .....	3
<b>Tabla 2.</b> Granulometría de agregado fino de Cerro Negro y Río Chambo. ....	13
<b>Tabla 3.</b> Granulometría de agregado grueso de Cerro Negro y Río Chambo. ....	14
<b>Tabla 4.</b> Contenido de humedad en agregado fino y grueso. ....	14
<b>Tabla 5.</b> Porcentaje de absorción y densidad del agregado fino. ....	15
<b>Tabla 6.</b> Porcentaje de absorción y densidad del agregado grueso. ....	15
<b>Tabla 7.</b> Masa unitaria compacta del agregado grueso (kg/cm <sup>2</sup> ). ....	16
<b>Tabla 8.</b> Resistencia a la abrasión para agregados gruesos. ....	17
<b>Tabla 9.</b> Dosificación por saco de cemento (50kg), para resistencia de f'c 240 kg/cm <sup>2</sup> . ....	17
<b>Tabla 10.</b> Número de probetas elaboradas por tipo de ensayo a edades de 7 y 14 días. ....	18
<b>Tabla 11.</b> Resistencias a compresión a los 7 y 14 días de probetas elaboradas con cemento IP. ....	19
<b>Tabla 12.</b> Resistencias a compresión a los 7 y 14 días de probetas elaboradas con cemento GU. ....	19
<b>Tabla 13.</b> Resistencia a flexión a los 7 y 14 días de probetas elaboradas con cemento IP. ....	22
<b>Tabla 14.</b> Resistencia a flexión a los 7 y 14 días de probetas elaboradas con cemento GU. ....	22
<b>Tabla 15.</b> Porcentaje de porosidad en probetas ensayadas a los 14 días. ....	24
<b>Tabla 16.</b> Análisis Granulométrico agregado fino, mina Cerro Negro. ....	31
<b>Tabla 17.</b> Análisis Granulométrico de agregado fino, mina Río Chambo. ....	34
<b>Tabla 18.</b> Análisis Granulométrico agregado grueso, mina Río Chambo. ....	38

<b>Tabla 19.</b> Análisis Granulométrico agregado grueso, mina Río Chambo. ....	41
<b>Tabla 20.</b> Análisis Contenido de humedad de agregado fino, mina Cerro Negro. ....	45
<b>Tabla 21.</b> Análisis Contenido de humedad de agregado fino, mina Río Chambo. ....	45
<b>Tabla 22.</b> Análisis Contenido de humedad de agregado grueso, mina Cerro Negro. ....	46
<b>Tabla 23.</b> Análisis Contenido de humedad de agregado grueso, mina Río Chambo. ....	46
<b>Tabla 24.</b> Porcentaje de absorción y densidad de agregado fino, mina Cerro Negro. ....	47
<b>Tabla 25.</b> Porcentaje de absorción y densidad de agregado fino, mina Río Chambo. ....	47
<b>Tabla 26.</b> Porcentaje de absorción y densidad de agregado grueso, mina Cerro Negro. ....	48
<b>Tabla 27.</b> Porcentaje de absorción y densidad de agregado grueso, mina Río Chambo. ....	48
<b>Tabla 28.</b> Análisis de masa unitaria compacta agregado grueso, mina Cerro Negro. ....	49
<b>Tabla 29.</b> Análisis de masa unitaria compacta agregado grueso, mina Río Chambo. ....	49
<b>Tabla 30.</b> Análisis de resistencia a la abrasión agregado grueso, mina Cerro Negro. ....	50
<b>Tabla 31.</b> Análisis de resistencia a la abrasión agregado grueso, mina Río Chambo. ....	50
<b>Tabla 32.</b> Dosificación con agregados de Cerro Negro y cemento tipo IP. ....	51
<b>Tabla 33.</b> Dosificación con agregados de Río Chambo y cemento tipo IP. ....	52
<b>Tabla 34.</b> Dosificación con agregados de Cerro Negro y cemento tipo GU. ....	53
<b>Tabla 35.</b> Dosificación con agregados de Río Chambo y cemento tipo GU. ....	54
<b>Tabla 36.</b> Ensayo de cilindros elaborados con agregado de Cerro Negro y cemento IP. ....	55
<b>Tabla 37.</b> Ensayo de cilindros elaborados con agregado de Río Chambo y cemento IP. ....	56
<b>Tabla 38.</b> Ensayo de cilindros elaborados con agregado de Cerro Negro y cemento GU. ....	57
<b>Tabla 39.</b> Ensayo de cilindros elaborados con agregado de Río Chambo y cemento GU. ....	58
<b>Tabla 40.</b> Ensayo de vigas elaboradas con agregado de Cerro Negro y cemento IP. ....	59
<b>Tabla 41.</b> Ensayo de vigas elaboradas con agregado de Río Chambo y cemento IP. ....	60
<b>Tabla 42.</b> Ensayo de vigas elaboradas con agregado de Cerro Negro y cemento GU. ....	61
<b>Tabla 43.</b> Ensayo de vigas elaboradas con agregado de Río Chambo y cemento GU. ....	62
<b>Tabla 44.</b> Porosidad en hormigón elaborado con agregado Cerro Negro y cemento IP. ....	63
<b>Tabla 45.</b> Porosidad en hormigón elaborado con agregado Río Chambo y cemento IP. ....	63
<b>Tabla 46.</b> Porosidad en hormigón elaborado con agregado Cerro Negro y cemento GU. ....	63
<b>Tabla 47.</b> Porosidad en hormigón elaborado con agregado Río Chambo y cemento GU. ....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ilustración gráfica de la metodología planteada.....	8
<b>Figura 2.</b> Curva Granulométrica de agregado fino. ....	14
<b>Figura 3.</b> Validación de resistencias a compresión de probetas elaboradas con cemento IP. ....	19
<b>Figura 4.</b> Validación de resistencias a compresión de probetas elaboradas con cemento GU. ...	20
<b>Figura 5.</b> Análisis de varianza (ANOVA), “resistencias a compresión a los 7 días”.....	21
<b>Figura 6.</b> Análisis de varianza (ANOVA), “resistencia a compresión a los 14 días”.....	21
<b>Figura 7.</b> Análisis de varianza (ANOVA), “resistencia a flexión a los 7 días”.....	23
<b>Figura 8.</b> Análisis de varianza (ANOVA), “resistencia a flexión a los 14 días”.....	23
<b>Figura 9.</b> Análisis de varianza (ANOVA), “porcentaje de porosidad a los 14 días”.....	25
<b>Figura 10.</b> Curva Granulométrica muestra 1 agregado fino Cerro Negro. ....	32
<b>Figura 11.</b> Curva Granulométrica muestra 2 agregado fino Cerro Negro. ....	33
<b>Figura 12.</b> Curva Granulométrica muestra 3 agregado fino Cerro Negro. ....	33
<b>Figura 13.</b> Curva Granulométrica muestra 4 agregado fino Cerro Negro. ....	33
<b>Figura 14.</b> Curva Granulométrica muestra 5 agregado fino Cerro Negro. ....	34
<b>Figura 15.</b> Curva Granulométrica muestra 1 agregado fino Río Chambo. ....	36
<b>Figura 16.</b> Curva Granulométrica muestra 2 agregado fino Río Chambo. ....	36
<b>Figura 17.</b> Curva Granulométrica muestra 3 agregado fino Río Chambo. ....	36
<b>Figura 18.</b> Curva Granulométrica muestra 4 agregado fino Río Chambo. ....	37
<b>Figura 19.</b> Curva Granulométrica muestra 5 Río Chambo. ....	37
<b>Figura 20.</b> Curva Granulométrica muestra 1 agregado grueso Cerro Negro. ....	39
<b>Figura 21.</b> Curva Granulométrica muestra 2 agregado grueso Cerro Negro. ....	40
<b>Figura 22.</b> Curva Granulométrica muestra 3 agregado grueso Cerro Negro. ....	40
<b>Figura 23.</b> Curva Granulométrica muestra 4 agregado grueso Cerro Negro. ....	40
<b>Figura 24.</b> Curva Granulométrica muestra 5 agregado grueso Cerro Negro. ....	41
<b>Figura 25.</b> Curva Granulométrica muestra 1 agregado grueso Río Chambo. ....	43
<b>Figura 26.</b> Curva Granulométrica muestra 2 agregado grueso Río Chambo. ....	43
<b>Figura 27.</b> Curva Granulométrica muestra 3 agregado grueso Río Chambo. ....	43
<b>Figura 28.</b> Curva Granulométrica muestra 4 agregado grueso Río Chambo. ....	44
<b>Figura 29.</b> Curva Granulométrica muestra 5 agregado grueso Río Chambo. ....	44

## RESUMEN

Varios estudios muestran que la resistencia del hormigón se ve afectada por las propiedades físicas y mecánicas de los agregados, aumento de la proporción agua/cemento (A/C), y, la porosidad.

En la presente investigación se tiene como objetivo principal medir la porosidad y determinar su relación con la resistencia a compresión y flexión de probetas ensayadas a edades de 7 y 14 días.

Para cumplir con este objetivo se elaboró probetas cilíndricas cuyas dimensiones son de 15x 30 cm., y vigas de 15x 15x55cm. La mezcla de hormigón se llevó a cabo empleando cementos de uso general Tipo I y agregados de las minas Cerro Negro y Río Chambo, y, la dosificación se diseñó para una resistencia de 240 kg/cm<sup>2</sup>.

Los resultados muestran que los hormigones elaborados con agregados de Cerro Negro tienen mayor porcentaje de poros en comparación a los hormigones elaborados con agregados de Río Chambo.

Los resultados de los ensayos a compresión y flexión muestran una variación entre las resistencias de hormigones elaborados con agregados de Cerro Negro, siendo estas menores que las resistencias alcanzadas por hormigones elaborados con agregados de Río Chambo.

Como resultado del proceso de análisis se determinó que los hormigones elaborados con agregados de Cerro Negro presentan un mayor porcentaje de poros por lo que su resistencia a compresión y flexión es baja, estos parámetros evidencian que la relación entre porosidad y resistencia es inversamente proporcional.

**Palabras Clave:** porosidad, hormigón, resistencia, compresión, flexión.

## ABSTRACT

Several studies show that the strength of concrete is affected by the physical and mechanical properties of aggregates, increased water/cement ratio (A / C), and porosity.

The main objective of this research is to measure the porosity and determine its relationship with the resistance to compression and bending of test pieces tested at ages of 7 and 14 days.

To achieve this objective, cylindrical specimens were produced, with dimensions of 15x 30 cm and beams of 15x 15x55cm. The concrete mix was carried out using cement of general use Type I and aggregates from the Cerro Negro and Río Chambo mines, and, the dosage was designed for a strength of 240 kg / cm<sup>2</sup>.

The results show that the concretes made with aggregates from Cerro Negro have a higher percentage of pores compared to the concretes made with aggregates from Río Chambo.

The results of the compression and flexion tests show a variation between the concrete resistances made with Cerro Negro aggregates, which are lower than the resistances reached by concretes made with Río Chambo aggregates.

As a result of the analysis process it was determined that the concretes made with aggregates from Cerro Negro have a higher percentage of pores, so their resistance to compression and bending is low, these parameters show that the relationship between porosity and resistance is inversely proportional.

**Keywords:** porosity, concrete, strength, compression, bending.



SIGNATURE

Reviewed by: Maldonado, Ana  
Language Center Teacher



## 1. INTRODUCCIÓN

Dentro del ámbito de la construcción en obras de concreto se pretende tener un hormigón de alto rendimiento y duradero, en términos de durabilidad aún se necesitan investigaciones para modificar las propiedades de la microestructura del hormigón, es decir, reducir la cantidad de poros existentes en la composición de las partículas que constituyen al hormigón (El Mir & Nehme, 2015). Sin embargo, estudios confirman que la porosidad influye directamente en la resistencia debido a la relación agua/cemento (A/C), lo que indica que a mayor relación A/C disminuye la resistencia del hormigón (Lee, Yun-Yong, Jin-Wook, & Seung-Jun, 2014).

En una investigación reciente, las propiedades de los materiales en estudio fueron determinados para realizar morteros de alta fluidez y gran estabilidad (Jaramillo et al., 2016), pero básicamente no se conoce como se comportan en un hormigón simple, en qué medida se puede determinar la cantidad de poros y su relación con la resistencia en ensayos de compresión y flexión.

En la presente investigación se pretende realizar un estudio comparativo para hormigones preparados con agregados de las minas Cerro Negro (CN) y Río Chambo (RCH) con una dosificación de  $240 \text{ kg/cm}^2$ , las probetas elaboradas serán ensayadas a edades de 7 y 14 días determinando así la porosidad y la relación que ésta tiene sobre la resistencia a compresión y flexión.

Dicho esto, se formula la siguiente pregunta de investigación. ¿Cuál es el porcentaje de porosidad de un hormigón simple elaborado con agregados artificiales y naturales, y, cuál es su relación con la resistencia a compresión y flexión?

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo General**

Medir la porosidad y determinar el efecto que tiene en la resistencia del hormigón, empleando materiales de las minas Cerro Negro y Río Chambo para su comparación.

### **2.2. Objetivos Específicos**

Evaluar la resistencia a compresión y flexión de las probetas a edades de 7 y 14 días.

Determinar el porcentaje de poros en hormigones elaborados con agregados de Cerro Negro y Río Chambo.



### 3. MARCO TEÓRICO

En el campo de la Ingeniería Civil, la construcción de estructuras en hormigón es de gran importancia debido a la demanda que esta presenta, por lo que la tecnología en los últimos años se ha desarrollado vertiginosamente para brindar durabilidad y resistencia, es por eso que el diseño apropiado de la mezcla de hormigón es fundamental para garantizar la calidad de los materiales y de la durabilidad de la estructura (Shi et al., 2018).

El hormigón es uno de los materiales más importantes utilizados en la construcción debido a las propiedades físicas y mecánicas adquiridas durante su proceso de fraguado durante los primeros 28 días después de su elaboración. Dos de las propiedades más importantes son:

La resistencia a compresión, que es una manera eficaz para determinar la calidad del hormigón, el cual considera el tamaño del agregado, la relación agua cemento (A/C), temperaturas, porosidad del hormigón y porosidad propia de los agregados, dichos factores forman la microestructura del hormigón (Quintero, Herrera, Corzo, & García, 2011).

Un factor importante que incide en la resistencia a compresión y flexión es la condición de curado de los especímenes que determinan el desarrollo de sus propiedades mecánicas para lo cual se ha establecido límites superior e inferior para resistencias a compresión con cementos de uso general (Tipo I) que se indican en la Tabla 1 (Dávila Pablo & Fabián Santiváñez, 2013).

*Tabla 1. Límites de Resistencias en hormigones preparados con cemento Tipo I*

<b>Edad</b>	<b>Lím. Inferior (% f'c)</b>	<b>Lím. Superior (% f'c)</b>	<b>Promedio Límites (% f'c)</b>
1	10	40	25
3	30	60	45
7	55	85	70
14	75	105	90
28	95	125	110

**Fuente:** Adaptado de Dávila Pablo & Fabián Santiváñez (2013)

La resistencia a flexión depende en gran parte del tamaño máximo, granulometría, forma y textura de los agregados. Rivera L (2013) menciona que la resistencia a flexión o módulo de rotura presenta una correlación que varía entre un 10% y 20 % de la resistencia a compresión. Para esta investigación se denomina agregado artificial al material que proviene de una transformación del agregado natural obtenido de un proceso de trituración mecánica, mientras que se denomina agregado natural al material que se forma por procesos geológicos.

La resistencia del hormigón depende directamente de la porosidad que se genera principalmente por la influencia de la relación A/C y por las propiedades físicas de los áridos (Benouis & Grini, 2011), por lo tanto, a mayor cantidad de vacíos la resistencia del hormigón disminuye, esto se ve reflejado en hormigones elaborados con agregados artificiales. Además, se conoce que la mayor parte de edificaciones de la ciudad de Riobamba fueron construidas con mezclas de hormigón elaboradas con agregados artificiales comúnmente conocidos como macadam y ripio triturado (Guato Andaluz, 2014), esto genera incertidumbre en relación a la resistencia y durabilidad de dichas edificaciones.

La presente investigación pretende medir la porosidad y su relación con la resistencia en ensayos a compresión y flexión para hormigones elaborados con agregados artificiales y agregados naturales de las minas Cerro Negro y Río Chambo respectivamente.

Según López Orozco (2004) el hormigón normalmente se compone de cuatro componentes básicos: agregado fino, agregado grueso, cemento y agua. Cuando el hormigón es colado y empieza a fraguar, los agregados gruesos tienden a asentarse al fondo mientras que los agregados finos flotan hacia la superficie horizontal, el agua es el componente más liviano de los cuatro por lo que sufre el fenómeno de evaporación en todas las direcciones ocupando espacio y dejando

millones de huecos entrecruzados al igual que sucede cuando el aire se escapa, éstos espacios huecos se entrelazan creando así lo que se llama porosidad.

A menudo en obra el agua es añadida a la mezcla de hormigón para obtener mayor trabajabilidad, pero a mayor cantidad de agua es evidente la segregación de agregados, reducción de durabilidad y el bajo rendimiento en cuanto a resistencia, esto ocurre debido a que el agua consumida por la reacción de hidratación del cemento genera mayor cantidad de poros y consecuentemente la resistencia disminuye. (Lee, Yun-Yong, Jin-Wook, & Seung-Jun, 2014).

También se han realizado análisis con la saturación de poros a muestras de hormigón sometidas a ciclos de humectación y secado, considerando la humedad relativa y la exposición previa de la muestra a humedad señalan que por lo general un hormigón es un material poroso del cual se tiene una estimación sobre el tamaño de poros que van desde valores de décimas de nanómetros hasta decenas de micrómetros (Li D. , Li, Wang, & Xi, 2017).

Sabiendo que la porosidad es un agente que afecta directamente a la resistencia del hormigón, la industria de la construcción exige un hormigón durable y que cumpla con las normas establecidas para su elaboración, por lo cual se han desarrollado varias investigaciones para obtener hormigones de alta resistencia con la inclusión de aditivos que permitan mejorar sus propiedades físicas y mecánicas. En un reciente estudio realizaron probetas de hormigón variando las proporciones de aditivos, estas se sometieron a ensayos no destructivos de porosimetría con la intrusión de mercurio y resonancia magnética nuclear, de estos ensayos lograron determinar que la adición de aditivos a las mezclas de hormigón consigue disminuir la porosidad de una manera efectiva, sin embargo las proporciones de poros varía considerablemente en una misma mezcla ensayada por los dos métodos mencionados (Zhang et al., 2018).

Wu & Johannesson (2014) buscaban determinar el volumen y distribución de tamaño de poro mediante la inclusión de calorimetría por baja temperatura pero encontraron que la saturación capilar no puede saturar por completo una muestra de hormigón debido a que esta temperatura se deprime en comparación a la temperatura deseada cuando los poros están totalmente saturados, esto se debe a que no se puede saturar los poros creados por aire arrastrado.

También se han realizado ensayos ultrasónicos que determinaron la distribución del tamaño del poro en muestras de concreto endurecido comparándolo con el método de la norma ASTM C457 que mostraron una correlación favorable en cuanto a distribución normal logarítmica de poros de tamaño grande y una distribución normal para poros pequeños, estos resultados son una herramienta que permite evaluar su durabilidad (Guo, Dai, Sun, & Sun, 2016).

Benouis & Grini (2011) estimaron la porosidad del concreto por medio de ultrasonidos, midiendo la velocidad ultrasónica en dirección longitudinal teniendo porosidades de acuerdo a variaciones de la relación A/C para 7 mezclas diferentes que proporcionaron porosidades que varían entre 7% y 16%, donde se verificó que al aumentar la relación A/C aumenta la porosidad, de modo que apreciaron una porosidad de precisión aceptable a partir de la velocidad ultrasónica para hormigones ordinarios o fluidos con una relación  $A/C \geq 0.5$ .

Investigaciones muestran que la cantidad y la estructura de los poros tiene una influencia representativa en la resistencia a la tracción y compresión del hormigón, es así que Li D., Li, Lv, Zhang, & Yin (2018), presentan un estudio en relación a las resistencias efectivas donde deducen que el efecto de la porosidad sobre la resistencia a la compresión efectiva excede el de la resistencia a la tracción efectiva. La razón de este fenómeno se da porque la tensión alrededor del poro aumenta rápidamente cuando se aplica la carga de compresión, pero esta resistencia efectiva con la misma porosidad puede mejorarse al disminuir el tamaño de poro.

Por otro lado, un factor importante a considerar son los agregados debido a sus propiedades granulométricas y porosidad propia que afectan a la microestructura del hormigón. La arena de río (AR) se comporta de mejor manera en una mezcla de hormigón debido a que sus partículas son redondeadas e irregulares, permitiendo mejor adherencia con la pasta de cemento y el agregado grueso disminuyendo la cantidad de poros. Mientras que la arena artificial (AA) es un material triturado propenso a sufrir desgaste y se desintegra con facilidad alterando su módulo de finura, este efecto se puede comprobar cuando se tritura y frota el material con las manos, por lo que descartaron el uso de AA para morteros ya que los resultados obtenidos de granulometría no eran reproducibles, a pesar que se obtuvieron módulos de finura de 2,60 y 2,48 pero al tamizarlo por segunda vez su módulo de finura se reducía considerablemente. (Jaramillo et al., 2016).

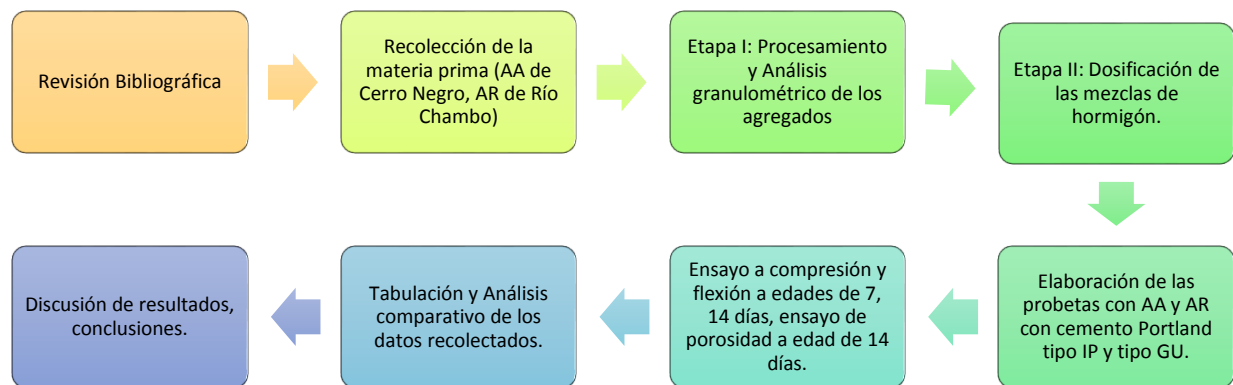
Como materia prima de esta investigación se plantea el uso de agregados finos y gruesos de las minas de Cerro Negro y Río Chambo para la elaboración de hormigones con dosificaciones para una resistencia de  $240 \text{ kg/cm}^2$ . Además, se emplea el uso de cemento Portland tipo IP (Chimborazo) y GU (Holcim) debido al uso frecuente en elaboración de hormigón simple.

Entre los dos cementos existe una diferencia en cuanto a sus propiedades y fabricación, con el cemento IP se tiene resistencias tempranas que superan un 30% a los valores de resistencia a compresión diseñados (Cemento Chimborazo, 2018), en tanto que el cemento GU tiene fraguado tardío que cumple las resistencias a edades de 3, 7 y 28 días, pero después de este tiempo su resistencia se va incrementando gradualmente hasta superar en un 40% la resistencia a compresión diseñada (Orbe Pinchao & Zúñiga Morales, 2013).

**Hipótesis:** En la presente investigación se plantea que este problema se verá reflejado en los hormigones preparados con agregados de Cerro Negro, puesto que este tipo de agregados generan mayor cantidad de poros y en consecuencia la resistencia del hormigón será baja.

## 4. METODOLOGÍA

El desarrollo experimental de este proyecto investigativo se realizó en dos etapas: la primera consiste en el análisis granulométrico y determinación de las propiedades físicas de los agregados mientras que la segunda corresponde a la dosificación, elaboración y ensayo de probetas a compresión y flexión. En la Figura 1 se muestra el proceso sistemático para el desarrollo de las actividades realizadas en la investigación.



**Figura 1.** Ilustración gráfica de la metodología planteada.

**Fuente:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

La revisión bibliográfica parte con la búsqueda de artículos científicos los cuales acrediten la existencia del problema sobre la porosidad en el hormigón, esto usando diferentes bases de datos como Science Direct, Scielo, Proquest, 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.

La materia prima se adquirió de los principales proveedores de estos agregados tanto como de la mina Cerro Negro en la empresa Covipal ubicada en la Av. Córdova Km 2 ½ vía a Porlón y los agregados de la mina de Río Chambo se tiene como proveedor a la empresa Hormigones Moreno ubicada en la Av. Edelberto Bonilla Oleas y Av. Antonio Santillán esquina.

La primera etapa inicia con la selección del método para dosificación de mezclas de hormigón, la norma ACI 211.1-91 requiere elaborar ensayos de granulometría, contenido de humedad, porcentaje de absorción, densidad y masa unitaria compacta (agregado grueso).

Según la norma NTE INEN 696 (INEN 2011), se determina la distribución granulométrica de las partículas de los agregados fino y grueso por tamizado. En este ensayo se establece la graduación de los materiales con el propósito de utilizarlos como agregados para hormigón considerando el tamaño de sus partículas y el módulo de finura para el caso del agregado fino.

En el análisis granulométrico del agregado fino se coloca la muestra en el horno de secado a una temperatura de 110° C por 24 horas, posteriormente se pesa una muestra de 2000 g que se coloca en una serie de tamices ordenados de forma descendente desde 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100, luego estos se ubican en la tamizadora eléctrica durante 5 minutos, a continuación se pesa la cantidad de material retenido en cada uno de los tamices. Para el caso del agregado grueso se procede de la misma manera con la diferencia que la muestra de ensayo es de 5000 g y la serie de tamices van ordenados de forma descendente desde 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4 y N°8, luego se ubican en la tamizadora eléctrica durante 5 minutos, posteriormente se pesa la cantidad de material retenido en cada uno de los tamices y en la bandeja.

El análisis de contenido de humedad de los agregados fino y grueso se lo realiza por medio de la norma NTE INEN 0862 (INEN, 2011), donde; se pesan muestras iniciales en condiciones normales o estado natural, el peso de la muestra debe ser superior a 500 g para el agregado fino y mayor a 3000 g para el agregado grueso, las muestras son colocadas en bandejas y éstas a su vez se las ubican en el horno de secado a una temperatura constante de 110° C por 24 horas hasta tener una masa constante, posteriormente se pesan las muestras en estado seco.

Para el análisis del porcentaje de absorción y densidad se empleó la norma NTE INEN 0856 (INEN, 2010) para agregado fino y NTE INEN 0857 (INEN, 2010) para agregado grueso. Se prepara muestras de agregado grueso y fino en estado natural, éstas son colocadas en el horno de secado a temperatura constante de 110° C por 24 horas hasta obtener masa constante, se registran los pesos de las muestras, posteriormente son sumergidos en agua a temperatura de 21° C por un lapso de 24 h, luego se procede a eliminar la humedad superficial de las muestras hasta obtener un estado saturado superficialmente seco (SSS) y se registran los pesos de las muestras.

Para el análisis de densidad del agregado fino se calibra el picnómetro con agua a una temperatura de 21° C, se vierte la muestra en estado SSS dentro del picnómetro y se gira constantemente hasta eliminar el contenido de aire atrapado, se pesa el picnómetro junto con el agregado y el agua hasta la marca de calibración. En el caso del agregado grueso se coloca la muestra en una canasta metálica que está suspendida a una balanza de precisión, se sumerge la canasta con el agregado y se registra el peso del material sumergido.

El análisis de masa unitaria compacta se desarrolló de acuerdo a la norma NTE INEN 0858 (INEN, 2010). Se calibra el molde con la placa de vidrio y se determina el peso del mismo, posteriormente se coloca el agregado grueso en el molde en capas a los tercios de su altura, cada capa es compactada con 25 golpes de la varilla compactadora, una vez lleno el molde se enraza y se registra el peso del molde más agregado.

Adicionalmente se realizó el análisis de resistencia a la abrasión del agregado grueso de acuerdo a la norma NTE INEN 0860 (INEN, 2011), se preparan muestras de 5000 g, mediante un proceso de lavado se retira las partículas finas, a continuación se coloca en el horno de secado a temperatura constante de 110° C por 24 h, la muestra seca se vierte dentro de la máquina de los ángulos junto con 12 esferas, se gira la máquina 500 revoluciones a una velocidad de 30



revoluciones por minuto, posteriormente se tamiza la muestra y se pesa todo el material retenido por el tamíz #12. Los datos obtenidos de los ensayos realizados en la primera etapa se tabulan y analizan para determinar cada una de las características físicas y mecánicas de los agregados.

El desarrollo de la segunda etapa empieza por el diseño de la dosificación para una resistencia de  $240 \text{ kg/cm}^2$  considerando las propiedades de los agregados en estudio requeridas por la norma ACI211.1-91, en primera instancia se seleccionó un revenimiento entre 7.5 a 10 cm considerado para el uso en columnas o cimientos, de acuerdo al tamaño máximo del agregado grueso se determinó el contenido de agua para la mezcla, posteriormente se calculó la relación A/C teniendo en cuenta la resistencia requerida dando un factor de 0.52 y a partir del mismo se determinó la cantidad de cemento necesaria. Se procede con la determinación de la cantidad de agregado grueso y fino para obtener la dosificación en estado seco, posteriormente se realiza las respectivas correcciones por humedad y absorción de los agregados dando así las proporciones de cada uno de los componentes para la mezcla de hormigón.

Una vez establecida la dosificación se procedió a la elaboración de probetas o especímenes cilíndricos de 150 x 300 mm para ensayos a compresión, vigas de 150x150x550 mm para ensayos a flexión y cilindros de 150x300 mm de los cuales se extraen cubos de 75x75 mm para determinar cantidad de vacíos o porosidad en hormigones endurecidos según la norma ASTM C642-13.

Los ensayos a compresión se los realizaron de acuerdo a lo especificado en la norma INEN 1573 (INEN, 2010), se ensayaron 3 especímenes por cada mezcla de hormigón a edades de 7 y 14 días con una velocidad de carga constante de 0.25 MPa/s hasta alcanzar la carga última de rotura.

Para los ensayos a flexión se tomaron 3 especímenes por cada mezcla de hormigón, de acuerdo a la norma NTE INEN 2554 (INEN, 2011), se coloca el espécimen húmedo dentro de un

sistema de apoyos que aplican carga en los tercios de la luz libre a una velocidad de carga constante igual a 0.82 MPa/min, hasta alcanzar la carga máxima de rotura.

El ensayo para determinar la porosidad se realizó de acuerdo a la norma ASTM C642-13, en primer lugar, de cada cilindro elaborado para este ensayo se extrajo 3 cubos de 75x75 mm, estos especímenes se colocaron en el horno de secado a una temperatura de 110° C por 24 horas hasta obtener una masa constante que debe ser mayor o igual a 800 g, posteriormente cada espécimen se sumerge en agua a 21° C por un lapso de 48 horas y se toma el peso en estado SSS, a continuación el espécimen es colocado en un recipiente con agua potable y se hierve por un periodo de 5 horas, luego sin extraerlo del agua se lo deja enfriar por pérdida natural de calor durante 14 horas y se registra su masa en estado SSS, por último el espécimen se suspende dentro del agua anclado a una balanza y se registra la masa sumergida aparente.

Una vez culminados los distintos ensayos de la segunda tapa se realizó la tabulación de los datos obtenidos. Para efecto de comparación y validación entre resultados de resistencias y porosidad del hormigón se estableció un análisis estadístico ANOVA en el cual se planteó una hipótesis nula la cual infiere que la media de resistencia es la misma en diferentes grupos y una hipótesis alternativa en la que al menos dos medias de resistencia difieren de forma significativa, este análisis de una sola vía (one way) trabaja con un nivel de significancia del 5% y 95% de confiabilidad, el análisis se complementa con una prueba de TUKEY que analiza las medias de grupos de una variable continua con su desviación estándar (S) (Minitab Inc., 2010).

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo al procedimiento establecido en la en la Etapa I de la metodología, se parte con los resultados de las propiedades físicas y mecánicas obtenidas de los agregados grueso y fino de las minas Cerro Negro y Río Chambo.

### 5.1. Ensayo Granulométrico

De acuerdo a la norma INEN 696 (NTE INEN, 2011) en la Tabla 2 muestra los resultados del ensayo granulométrico y el módulo de finura para los agregados de Cerro Negro y Río Chambo.

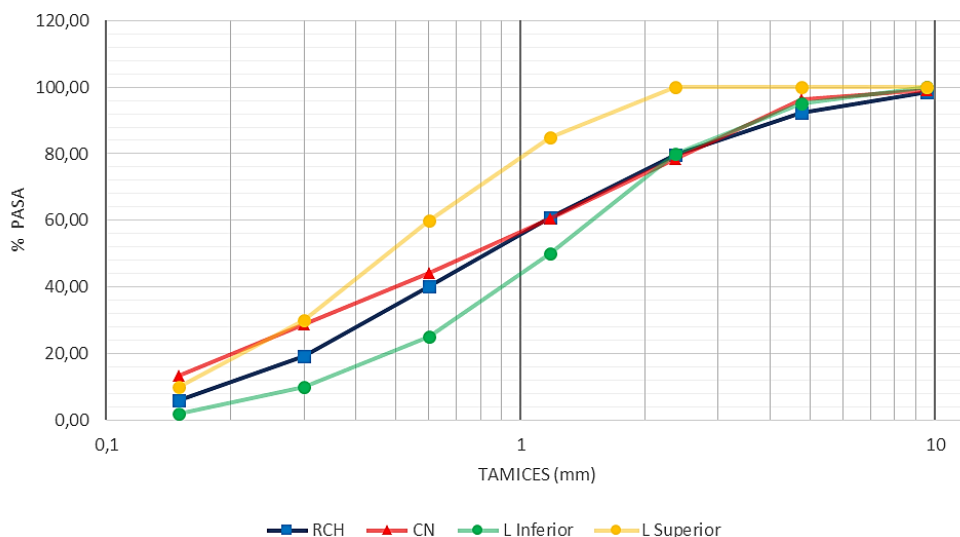
**Tabla 2.** Granulometría de agregado fino de Cerro Negro y Río Chambo.

<b>TAMICES</b>	<b>Cerro Negro % pasa</b>	<b>Desviación Estándar</b>	<b>Río Chambo % pasa</b>	<b>Desviación Estándar</b>
3/8"	99.09	0.28	98.60	0.41
# 4	96.31	0.47	92.18	0.68
# 8	78.59	0.91	79.75	0.66
# 16	60.42	1.00	60.81	1.00
# 30	44.28	1.41	40.27	1.41
# 50	28.74	0.63	19.08	1.96
# 100	13.34	0.59	5.98	0.92
Módulo de Finura	2.76	0.048	2.97	0.051

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

Los módulos de finura (MF) obtenidos están dentro del rango de 2.3 a 3.1 según la norma ASTM-C33-03 (ASTM, 2003). Jaramillo et al., (2016) determinaron un MF entre 2.60 y 2.48 con agregado fino de Cerro Negro siendo estos más altos que el agregado fino de Río Chambo. Partiendo de este comentario nuestros resultados de MF para agregado fino de Cerro Negro (2.76) se encuentran por encima del rango obtenido por estos investigadores, sin embargo este valor es inferior al MF de Río Chambo y además, está dentro de la clasificación de arenas medias esto puede deberse a que el material adquirido proviene de un estrato profundo, firme y grisáceo diferente al que se conoce comunmente con una tonalidad rojiza.

La Figura 2 indica la comparación de las curvas granulométricas de los agregados de Cerro Negro (CN) y Río Chambo (RCH) con los límites Superior e Inferior.



**Figura 2.** Curva Granulométrica de agregado fino.  
**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

En la Tabla 3 se muestra los resultados del análisis granulométrico para el agregado grueso en el cual se verifica que su tamaño máximo nominal corresponde a una grava de 3/4”.

**Tabla 3.** Granulometría de agregado grueso de Cerro Negro y Río Chambo.

TAMICES	Cerro Negro % pasa	Desviación Estándar	Río Chambo % pasa	Desviación Estándar
1 1/2”	100.00	0.00	100.00	0.00
1”	99.68	0.63	100.00	0.00
3/4”	81.21	3.71	98.34	0.27
1/2”	15.43	3.22	22.19	3.45
3/8”	3.72	1.32	6.27	1.67
# 4	0.52	0.48	0.70	0.30
# 8	0.27	0.48	0.12	0.08
Tamaño máximo Nominal	3/4”		3/4”	

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

## 5.2. Ensayo contenido de humedad

De acuerdo a la norma NTE INEN 0862 (INEN, 2011) los resultados del análisis de contenido de humedad en los agregados fino y grueso se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Contenido de humedad en agregado fino y grueso.

	Cerro Negro	Río Chambo
Agregado Fino	6.48	4.85
Agregado Grueso	0.99	0.74

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

Los porcentajes de humedad de los agregados fino y grueso de Cerro Negro son altos en comparación a los agregados de Río Chambo, debido a esto se podría decir que la mezcla de hormigón requerirá menor cantidad de agua.

### 5.3. Ensayo de absorción y densidad

#### Agregado fino

Los resultados obtenidos de acuerdo a la norma NTE INEN 0856 (INEN, 2010) señalan que el porcentaje de absorción del agregado de Cerro Negro es superior al de el agregado de Río Chambo superando en un 75% de su valor como se muestra en la Tabla 5.

**Tabla 5.** *Porcentaje de absorción y densidad del agregado fino.*

<b>Muestras</b>	<b>Absorción (%)</b>	<b>Desviación Estándar</b>	<b>Densidad SH (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Desviación Estándar</b>
Cerro Negro	5.19	0.004	2.43	0.024
Río Chambo	3.74	0.003	2.53	0.115

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

La densidad seca al horno (SH) del agregado de Río Chambo presenta una mayor masa de partículas que el agregado de Cerro Negro el mismo que al tener menor densidad infiere que posee mayor cantidad poros verificando lo dicho por Jaramillo et al., (2016).

#### Agregado grueso

De acuerdo a la norma NTE INEN 0857 (INEN, 2010) los resultados obtenidos del porcentaje de absorción y densidad del agregado grueso, muestran que el agregado de Cerro Negro tiene 55% mas de absorción que el agregado de Río Chambo como se indica en la Tabla 6.

**Tabla 6.** *Porcentaje de absorción y densidad del agregado grueso.*

<b>Muestras</b>	<b>Absorción (%)</b>	<b>Desviación Estándar</b>	<b>Densidad SH (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Desviación Estándar</b>
CN	2.21	0.0004	2.58	0.0070
RCH	1.23	0.0014	2.67	0.0344

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

El agregado grueso de Cerro Negro presenta menor densidad debido a que contiene mayor cantidad de poros en sus partículas, el agregado fino de Cerro Negro muestra similar comportamiento puesto que es un derivado del mismo.

#### 5.4. Ensayo masa unitaria compactada (MUC)

Debido a que el método de diseño de mezclas ACI 211.1-91 requiere sólo el análisis de MUC para el agregado grueso, se determinó por medio de la norma NTE INEN 0858 (INEN, 2010) los siguientes resultados como se indican en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Masa unitaria compacta del agregado grueso (kg/cm<sup>2</sup>).

<b>Cerro Negro</b>	<b>Desviación Estándar</b>	<b>Río Chambo</b>	<b>Desviación Estándar</b>
1444.44	56.57	1550.51	56,57

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

El peso volumétrico del agregado de la mina Río Chambo es mayor debido a que sus partículas tienen una mejor distribución dentro del volumen que ocupan, es decir se generan una menor cantidad de vacíos. Además, el análisis de densidad del agregado grueso RCH posee menos cantidad de poros por lo que su masa por unidad de volumen es mayor que la del agregado de CN.

La densidad del cemento Tipo IP utilizado en esta investigación fue tomado de un estudio anterior en el cual establece una densidad de 2.90 g/cm<sup>3</sup> obtenido del análisis de 5 muestras (Rodríguez Almache & Villalba Rea, 2016), en el caso del cemento Tipo GU fue tomado de una investigación en la cual establecen una densidad de 3.41 g/cm<sup>3</sup> resultado del análisis de 5 muestras de dicho cemento (Vallejo Patarón & Amaguaya Chacha, 2016).

#### 5.5. Resistencia a la abrasión

Para efectos de este ensayo de acuerdo a la norma NTE INEN 0861 (INEN, 2011) se obtuvo los valores del desgaste de los agregados gruesos de las minas Cerro Negro y Río Chambo como se indican en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Resistencia a la abrasión para agregados gruesos.

<b>Cerro Negro (%)</b>	<b>Desviación Estándar</b>	<b>Río Chambo (%)</b>	<b>Desviación Estándar</b>
25.27	0.0029	20.62	0.0014

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

Los valores obtenidos del ensayo de abrasión tanto del agregado de CN (25.27%) como del agregado de RCH (20.62%) se encuentra por debajo del límite (50%) que especifica la norma NTE INEN 0872 (INEN, 2011) por lo cual se acepta como agregado óptimo para la elaboración de hormigones.

### 5.6. Dosificación

Con los datos hallados en la etapa I y considerando el método de análisis para dosificación, se inicia la etapa II de la investigación aplicando la norma ACI 211.1-91 para elaboración de mezclas de hormigón empleando cementos de uso común tipo I, agregados artificiales y naturales. Este análisis arroja resultados de las proporciones obtenidas, con sus respectivas correcciones por humedad y absorción de los agregados como se muestran en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Dosificación por saco de cemento (50kg), para resistencia de  $f'c$  240 kg/cm<sup>2</sup>.

<b>Agregado</b>	<b>Tipo de cemento</b>	<b>Proporción de componentes</b>			
		<b>Cemento</b>	<b>Agregado Fino</b>	<b>Agregado Grueso</b>	<b>Agua (L)</b>
Cerro Negro	IP	1	1.53	2.65	26.49
Río Chambo	IP	1	1.75	2.55	25.51
Cerro Negro	GU	1	1.66	2.65	26.41
Río Chambo	GU	1	1.89	2.55	25.44

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

La norma ACI 211.1-91 establece una relación A/C de 0.52 y un asentamiento entre 75 y 100 mm para un hormigón simple de 240 kg/cm<sup>2</sup>, dado esto las proporciones mostradas en las tablas 8 y 10 con agregado Cerro Negro se observa que la cantidad de agua es mayor puesto que su porcentaje de absorción (Tabla 6) es alto y además su densidad es baja, esto infiere a que tiene una cantidad de poros mayor a la del agregado de Río Chambo. También se observa que las

mezclas elaboradas con cemento tipo GU requieren de mayor cantidad de finos y reduce la cantidad de agua a la mezcla, esto se debe a que las proporciones varían proporcionalmente a la densidad del cemento como se corrobora con las proporciones obtenidas con el cemento tipo IP.

### 5.7. Elaboración de probetas

Con las dosificaciones establecidas se elaboraron las probetas de ensayo teniendo en cuenta que para el caso de las dosificaciones con agregados artificiales se tuvo que realizar una corrección A/C, incluyendo 4 kg de agua con 6.67 kg de cemento para obtener el asentamiento establecido en el método de dosificación por la norma ACI 211.1-91. En la Tabla 10 se muestra la cantidad de probetas elaboradas.

**Tabla 10.** *Número de probetas elaboradas por tipo de ensayo a edades de 7 y 14 días.*

<b>Norma</b>	<b>Ensayo</b>	<b>Forma de probetas</b>	<b>Número, probetas</b>
NTE INEN 1573	Compresión	Cilindros	24
NTE INEN 2554	Flexión	Vigas	24
ASTM C642-13	Porosidad	Cubos	12

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

Al ser un estudio de caso se planteó la elaboración de 3 probetas por edad y tipo de ensayo, excepto el ensayo de porosidad que solo se realizó probetas para edad de 14 días, debido a que el hormigón elaborado con cemento tipo I alcanza la suficiente madurez a esta edad adquiriendo en promedio el 90% de su resistencia diseñada (Dávila Pablo & Fabián Santiviáñez, 2013).

### 5.8. Resistencia a compresión

De acuerdo a la norma NTE INEN 1573 (INEN, 2010) se tiene resultados de la resistencia a compresión de las probetas elaboradas con agregados Cerro Negro y Río Chambo con cemento IP como se muestra en la Tabla 11, donde se indica una variación significativa entre los valores de resistencia siendo más altos las probetas elaboradas con agregados de Río Chambo.



**Tabla 11.** Resistencias a compresión a los 7 y 14 días de probetas elaboradas con cemento IP.

Edad (días)	Cerro Negro (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación Estándar	Río Chambo (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación Estándar
7	152.14	8.74	177.15	6.32
14	192.22	13.38	224.38	12.91

Elaborado por: Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

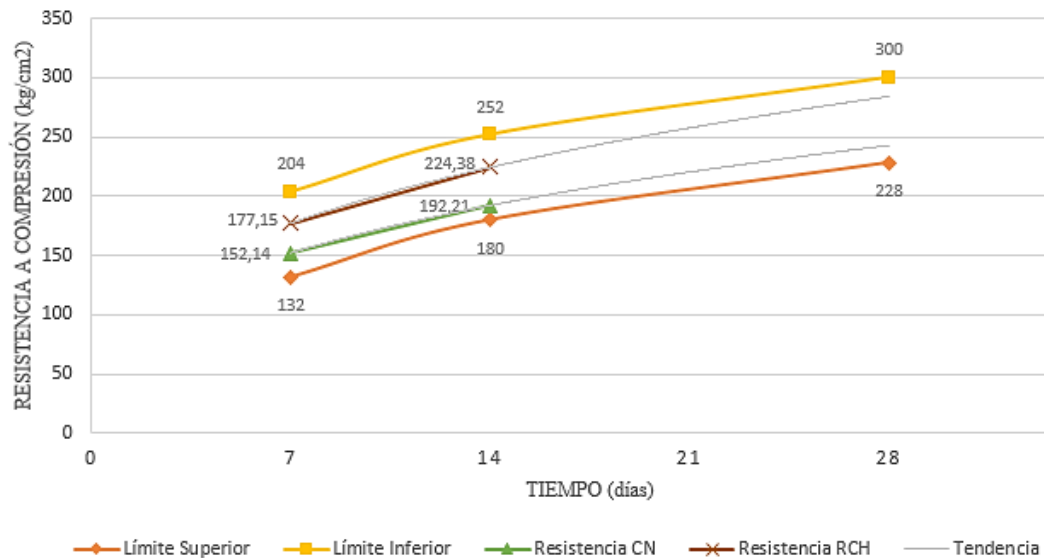
En la Tabla 12 se muestra los resultados de resistencias a compresión para las probetas elaboradas con cemento tipo GU, donde se aprecia una diferencia significativa entre los valores de la resistencia de los especímenes elaborados con agregados de Río Chambo y Cerro Negro.

**Tabla 12.** Resistencias a compresión a los 7 y 14 días de probetas elaboradas con cemento GU.

Edad (días)	Cerro Negro (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación Estándar	Río Chambo (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación Estándar
7	133.31	0.22	203.81	10.00
14	189.18	4.46	261.47	7.19

Elaborado por: Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

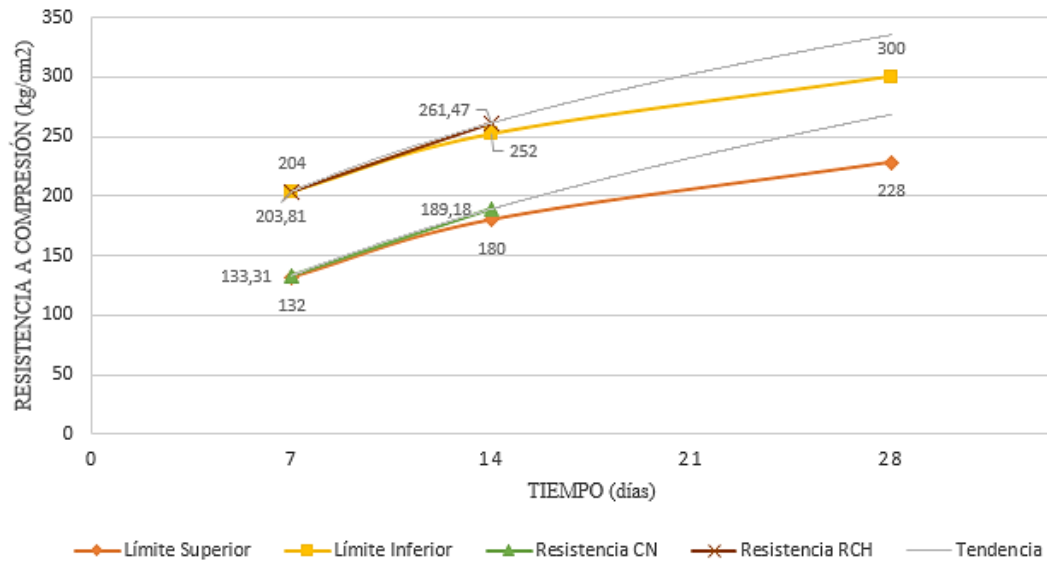
Para la validación de los resultados, en la Figura 3 se muestran las resistencias obtenidas de las probetas elaboradas con cemento tipo IP, donde estas se encuentran cerca de la media entre los límites establecidos por Dávila Pablo & Fabián Santiviáñez (2013).



**Figura 3.** Validación de resistencias a compresión de probetas elaboradas con cemento IP.

Fuente: Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

Las probetas elaboradas con cemento GU que se muestran en la Figura 4, muestra que las resistencias adquiridas con agregados de Cerro Negro se aproximan al límite inferior y las resistencias de Río Chambo se aproximan al límite superior e incluso sobrepasa su límite de resistencia a edad de 14 días.



**Figura 4.** Validación de resistencias a compresión de probetas elaboradas con cemento GU.

**Fuente:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

Para efecto de comparación entre resultados del análisis estadístico (ver Anexo 13) para las cuatro dosificaciones establecidas se utilizó la siguiente nomenclatura:

**CN-IP:** Hormigón elaborado con agregado de Cerro Negro y cemento IP.

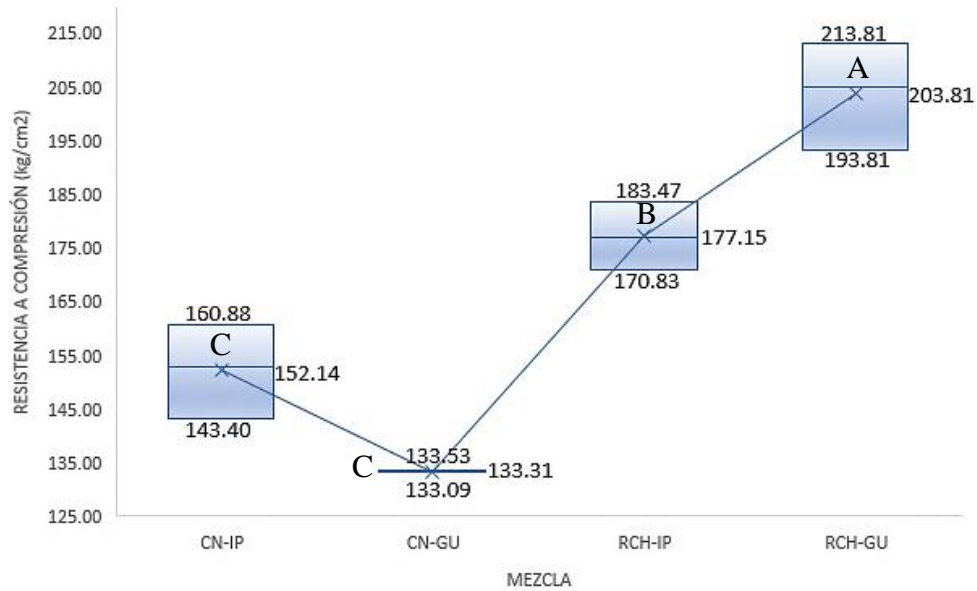
**CN-GU:** Hormigón elaborado con agregado de Cerro Negro y cemento GU.

**RCH-IP:** Hormigón elaborado con agregado de Río Chambo y cemento IP.

**RCH-GU:** Hormigón elaborado con agregado de Río Chambo y cemento GU.

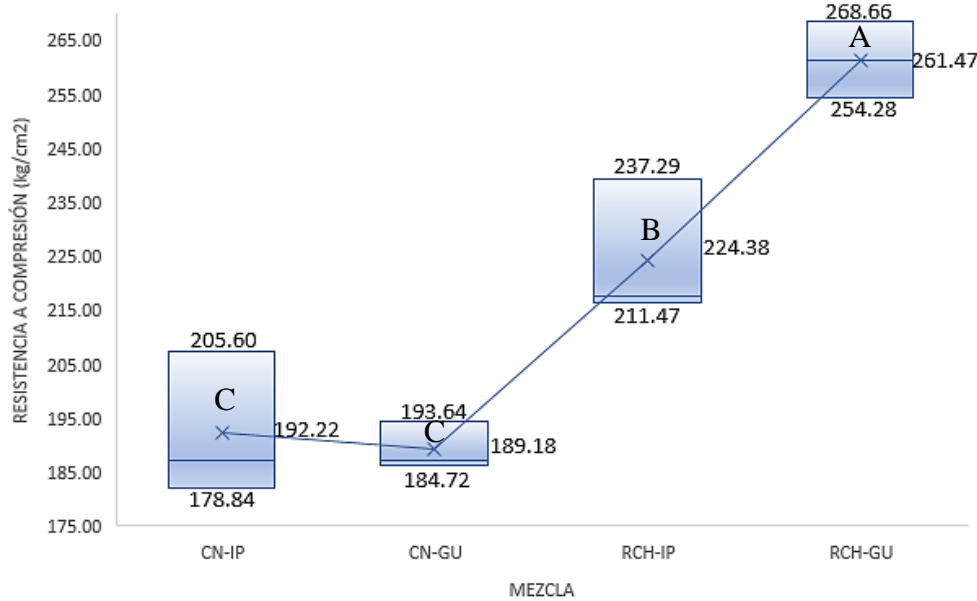
Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para resistencias a los 7 días se muestran en las Figuras 5 y 6, Donde tenemos que la media entre tres grupos difiere de forma significativa tomando la hipótesis alternativa en la que establece que las resistencias a compresión a los 7 y 14 días de RCH-GU, RCH-IP y CN-IP son diferentes, esto confirma que las probetas elaboradas con

agregados de Río Chambo tienen mayor resistencia a compresión que las probetas elaboradas con agregado Cerro Negro.



**Figura 5.** Análisis de varianza (ANOVA), “resistencias a compresión a los 7 días”.  
**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

Por otro lado, en el caso de las medias de resistencia entre los grupos de CN-IP y CN-GU estadísticamente son similares por tanto se acepta la hipótesis nula.



**Figura 6.** Análisis de varianza (ANOVA), “resistencia a compresión a los 14 días”.  
**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

## 5.9. Resistencia a flexión

De acuerdo a la NTE INEN 2554 (INEN, 2011) los resultados obtenidos de la resistencia a flexión de las probetas elaboradas con agregados de Cerro Negro y Río Chambo con cemento IP se muestran en la Tabla 13, conjuntamente se indican los rangos establecidos por Rivera L (2013), estos valores de resistencia a flexión están entre el 10% y 20% de la resistencia a compresión ( $\sigma_c$ ) del mismo lote de probetas elaboradas.

**Tabla 13.** Resistencia a flexión a los 7 y 14 días de probetas elaboradas con cemento IP.

Edad (días)	Cerro Negro	Río Chambo	Cerro Negro		Río Chambo	
	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	10% $\sigma_c$	20% $\sigma_c$	10% $\sigma_c$	20% $\sigma_c$
7	20.27	25.82	15.21	30.43	17.71	35.43
14	24.14	30.96	19.22	38.44	22.44	44.88

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

En la tabla 14 se indican los resultados y validación de las resistencias a flexión de los especímenes elaborados con cemento GU, estos valores de resistencia también se encuentran dentro del rango permitido por lo que son aptos para ser analizados estadísticamente.

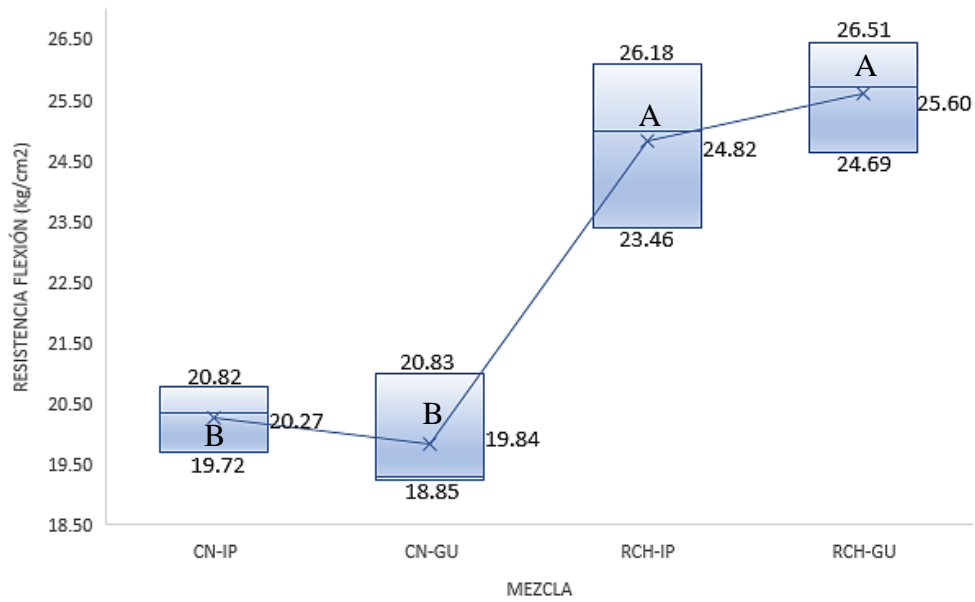
**Tabla 14.** Resistencia a flexión a los 7 y 14 días de probetas elaboradas con cemento GU.

Edad (días)	Cerro Negro	Río Chambo	Cerro Negro		Río Chambo	
	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	10% $\sigma_c$	20% $\sigma_c$	10% $\sigma_c$	20% $\sigma_c$
7	19.84	25.60	13.33	26.66	20.38	40.76
14	23.18	28.84	18.92	37.84	26.15	52.29

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

El ANOVA de las Figuras 7 y 8 muestran los resultados obtenidos para resistencias a flexión a los 7 y 14 días respectivamente.

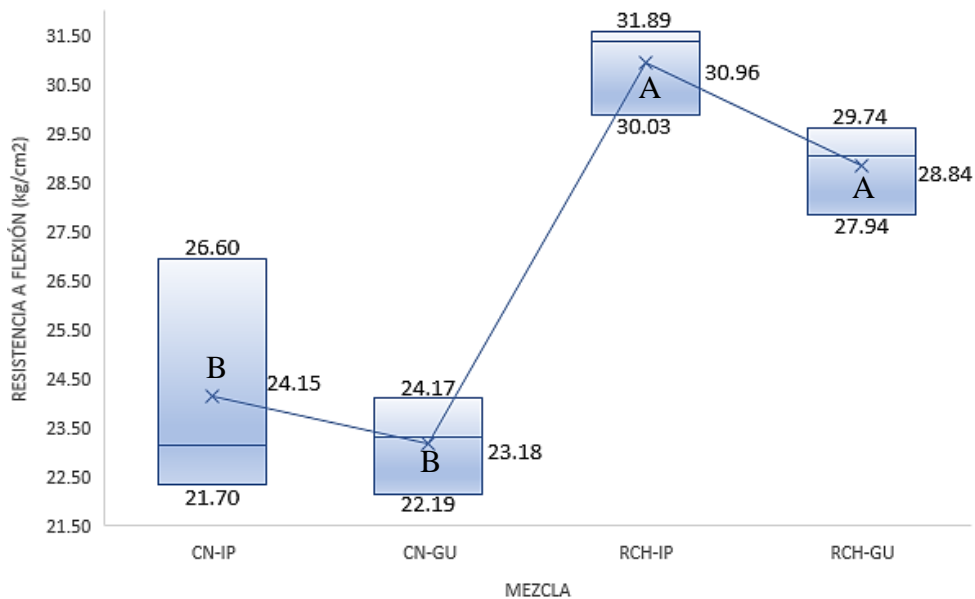
El análisis estadístico arroja que la media entre los grupos RCH-GU y RCH-IP no existe una diferencia significativa por lo cual se tomó la hipótesis nula siendo que estos grupos son similares, esto se evidencia de igual manera en los grupos de CN-GU y CN-IP.



**Figura 7.** Análisis de varianza (ANOVA), “resistencia a flexión a los 7 días”.

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

Sin embargo, se difiere de forma significativa entre los pares de grupos de RCH y CN por lo cual se aprueba la hipótesis alternativa en la que establece que las resistencias a flexión a los 7 y 14 días son diferentes entre hormigones preparados con Cerro negro y Río Chambo.



**Figura 8.** Análisis de varianza (ANOVA), “resistencia a flexión a los 14 días”.

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

## 5.10. Porosidad

De acuerdo a la norma ASTM C642-13 se determinó el porcentaje de porosidad en cubos de hormigón extraídos de cilindros elaborados de un mismo lote de probetas que fueron ensayadas a compresión y flexión. Estos valores se obtuvieron a la edad de 14 días puesto que los especímenes alcanzaron más del 78% de su resistencia de diseño, en la Tabla 15 se expresan los porcentajes de porosidad para especímenes elaborados con cemento IP y GU respectivamente.

**Tabla 15.** *Porcentaje de porosidad en probetas ensayadas a los 14 días.*

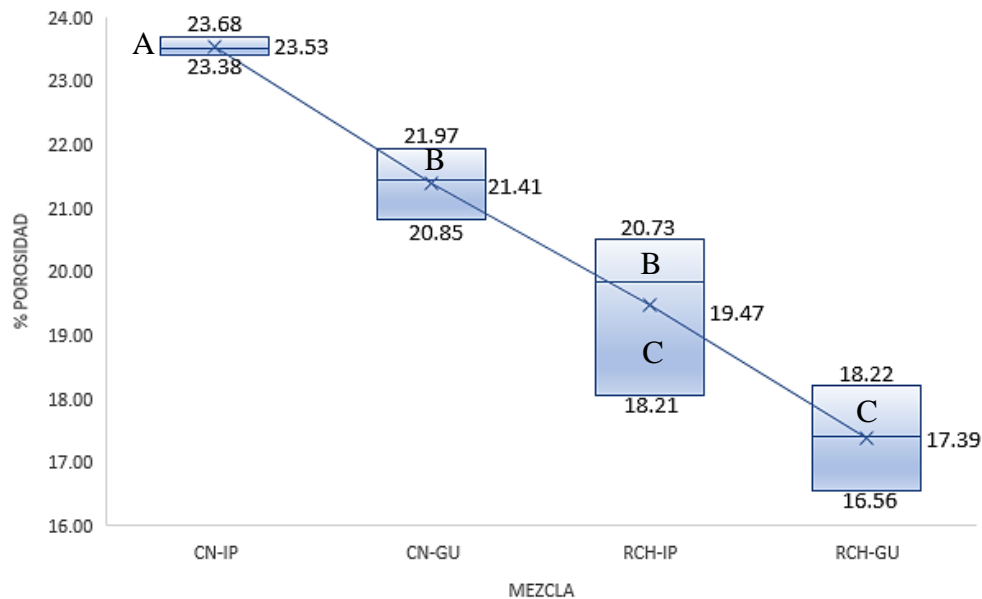
<b>Tipo de Cemento</b>	<b>Cerro Negro % porosidad</b>	<b>Río Chambo % porosidad</b>
IP	23.53	19.47
GU	21.41	17.39

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

Se puede apreciar que el porcentaje de porosidad es menor (21.41% & 17.39%) para los especímenes elaborados con cemento tipo GU, mientras que para especímenes elaborados con cemento tipo IP se tiene mayor porcentaje de porosidad (23.53% & 19.47%) este resultado se puede explicar por la diferencia de densidades entre el cemento IP (2.90) y GU (3.41) siendo que una mayor densidad genera menor cantidad de vacíos dentro de la mezcla. Teniendo así que el uso de cemento tipo GU reduce el porcentaje de poros un 8.99% en hormigones preparados con agregados de Cerro Negro y un 10.66% en hormigones preparados con agregados RCH.

También se puede observar que el porcentaje de porosidad es mayor en ambos casos por la utilización de agregado artificial de Cerro Negro, como ya se había mencionado este tipo de agregado posee menor densidad, mayor capacidad de absorción, además se requirió de una corrección A/C lo que induce a agregar mayor cantidad de agua a la mezcla, esto contrasta con lo dicho por Lee, Yun-Yong, Jin-Wook, & Seung-Jun (2014), donde menciona que esto provoca la segregación de agregados y genera mayor cantidad de poros.

El análisis de varianza (ANOVA) se muestra en la Figura 9, revela que la porosidad del grupo de CN-IP difiere significativamente de los demás grupos.



**Figura 9.** Análisis de varianza (ANOVA), “porcentaje de porosidad a los 14 días”.  
**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

En los grupos de CN-GU y RCH-IP son similares en la media de porosidad, esto ocurre de la misma manera entre los grupos RCH-IP y RCH-GU. Pero se aprecia que la porosidad de CN-GU también difiere significativamente de RCH-GU.

Por lo tanto, tenemos que los hormigones elaborados con agregados de Cerro Negro generan una mayor cantidad de poros por lo que sus resistencias son bajas en comparación a las resistencias obtenidas con los agregados de Río Chambo. Esto se logró demostrar por medio del análisis estadístico (ANOVA) y contrastando con la investigación realizada por Benouis & Grini (2011), en la cual menciona que a mayor porosidad baja la resistencia del hormigón lo cual concuerda con los resultados obtenidos en esta investigación en la que se evidencia que las resistencias entre los grupos de RCH y CN son diferentes independientemente del tipo de cemento empleado, por lo tanto, la relación entre la porosidad, y, la resistencia a compresión y flexión es inversamente proporcional.

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1. Conclusiones**

Las probetas elaboradas con agregados de Cerro Negro muestran mayor porcentaje de porosidad puesto que se requirió realizar una corrección agua/cemento para proporcionar trabajabilidad a la mezcla y cumplir con el asentamiento propuesto, este exceso de agua afecta directamente a la microestructura del hormigón provocando el aumento de poros.

Se determinó que los agregados de Río Chambo muestran mejores resultados en sus propiedades físicas y mecánicas, por lo que, los hormigones elaborados con estos agregados alcanzaron resistencias (compresión y flexión) altas en comparación a los hormigones elaborados con agregados de Cerro Negro.

Los hormigones elaborados con agregados de Cerro Negro muestran altos porcentajes de porosidad por lo que su resistencia baja considerablemente, pudiendo concluir que la cantidad de poros tiene una relación inversamente proporcional a la resistencia del hormigón, por lo tanto, se cumple con la hipótesis planteada comprobando que los agregados de la mina Cerro Negro generan mayor cantidad de poros en el hormigón y en consecuencia su resistencia disminuye.

### **6.2. Recomendaciones**

En esta investigación se demostró que los agregados de Cerro Negro generan mayor porcentaje de poros, como línea de trabajo futuro se plantea ampliar el tamaño de muestra y determinar una relación (factor) de porosidad-resistencia.

Por otro lado, otra posible línea de trabajo es investigar que ocurre con la resistencia al utilizar un aditivo incorporador de aire para incrementar la porosidad en hormigones preparados con agregados de Río Chambo.



## 7. BIBLIOGRAFÍA

- ACI 211.1-91. (2002). *Práctica estándar para seleccionar el proporcionamiento de concreto de peso normal, pesado y masivo*. American Concrete Institute.
- ASTM C131-03. (2003). *Método de prueba estándar para resistencia a degradación de agregado grueso de tamaño pequeño por abrasión e impacto en la máquina de los ángeles*. American Society of Testing Materials.
- ASTM C642-13. (2013). *Método de ensayo. Determinación de la densidad, la absorción de agua y los vacíos en el concreto endurecido*. American Society of Testing Materials.
- ASTM-C33-03. (2003). *Especificación Normalizada de Agregados para Concreto*. American Society of Testing Materials.
- Benouis, A., & Grini, A. (2011). Estimation of concrete's porosity by ultrasounds. *Seventh International Conference on Material Sciences*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875389211006286>
- Cemento Chimborazo. (2018). *Ficha técnica Cemento Chimborazo Superior Puzolánico IP*. Riobamba: UCEM.
- Chen, X., Wu, S., & Zhou, J. (Marzo de 2013). Influence of porosity on compressive and tensile strength of cement mortar. *Construction and Building Materials*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061812009087>
- Dávila Pablo, M. C., & Fabián Santiviáñez, C. J. (2013). *Estudio experimental de la influencia del tiempo de desencofrado en el comportamiento de los elementos estructurales en edificios de ductilidad limitada*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado el Julio de 2018, de <https://core.ac.uk/download/pdf/54226211.pdf>
- El Mir, A., & Nehme, S. (2015). Porosity of self-compacting concrete. *Creative Construction Conference*. Obtenido de [https://ac.els-cdn.com/S1877705815031720/1-s2.0-S1877705815031720-main.pdf?\\_tid=5a833014-5e05-4f63-9eae-bf6f6b1a927b&acdnat=1539118575\\_57538be47025210fe1e4958488a1fbbc](https://ac.els-cdn.com/S1877705815031720/1-s2.0-S1877705815031720-main.pdf?_tid=5a833014-5e05-4f63-9eae-bf6f6b1a927b&acdnat=1539118575_57538be47025210fe1e4958488a1fbbc)
- Guato Andaluz, L. (2014). *Resistencia a la Compresión promedio del Hormigón*. Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo. Obtenido de [https://ac.els-cdn.com/S1877705815031720/1-s2.0-S1877705815031720-main.pdf?\\_tid=5a833014-5e05-4f63-9eae-bf6f6b1a927b&acdnat=1539118575\\_57538be47025210fe1e4958488a1fbbc](https://ac.els-cdn.com/S1877705815031720/1-s2.0-S1877705815031720-main.pdf?_tid=5a833014-5e05-4f63-9eae-bf6f6b1a927b&acdnat=1539118575_57538be47025210fe1e4958488a1fbbc)

- Guo, S., Dai, Q., Sun, X., & Sun, Y. (2016). Ultrasonic scattering measurement of air void size distribution in hardened concrete samples. *Construction and Building Materials*.
- Jaramillo, D., García, V., Núñez, J., Mera, A., Merino, A., & Moyón, C. (2016). *Interacción Cemento-Árido fino en mortero con alta fluidez y gran estabilidad*. Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo.
- Lee, K.-M., Yun-Yong, K., Jin-Wook, B., & Seung-Jun, K. (2014). Effect of W/C Ratio on Durability and Porosity in Cement Mortar with Constant Cement Amount. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2014(273460). Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1155/2014/273460>
- Li, D., Li, L.-y., Wang, X., & Xi, F. (2017). A double-porosity model for water flow in unsaturated concrete. *Applied Mathematical Modelling*.
- Li, D., Li, Z., Lv, C., Zhang, G., & Yin, Y. (2018). A predictive model of the effective tensile and compressive strengths of concrete considering porosity and pore size. *Construction and Building Materials*, 170. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061818305129>
- Lian, C., Zhuge, Y., & Beecham, S. (2011). The relationship between porosity and strength for porous concrete. *Construction and Building Materials*, 25(11). Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061811002431>
- López Orozco, J. O. (2004). *Porosidad del concreto*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Obtenido de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_2394\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2394_C.pdf)
- Minitab Inc. (18 de mayo de 2010). Minitab (Versión 16) [software]. Pensilvania, Estados Unidos.
- NTE INEN 0696:2011. (2011). *Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 0856:2010. (2010). *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 0857:2010. (2010). *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 0858: 2010. (2010). *Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.

- NTE INEN 0860: 2011. (2011). *Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de los ángeles*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 0862:2011. (2011). *Áridos para hormigón. determinación del contenido total de humedad*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 0872:2011. (2011). *Áridos para hormigón. Requisitos*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 1573:2010. (2010). *Hormigón de cemento hidráulico, determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilindricos de hormigón de cemento hidráulico*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 2554:2011. (2011). *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la flexión del hormigón. (Utilizando una viga simple con carga en los tercios)*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Orbe Pinchao, L. V., & Zúñiga Morales, P. S. (2013). *Optimización de la relación Agua/Cemento en el diseño de hormigones estándar establecidos en los códigos ACI - ASTM*. Quito: Escuela Politécnica Nacional. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6470>
- Quintero, L. A., Herrera, J., Corzo, L., & García, J. (2011). Relación entre la Resistencia a la Compresión y la Porosidad del Concreto evaluada a partir de parámetros Ultrasónicos. *Grupo de Investigación en Desarrollo y Tecnología de Nuevos Materiales (GIMAT)*, 24(1). Obtenido de <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaion/article/view/2079/2436>
- Rivera L, G. A. (2013). Concreto Simple. *Tecnología del Concreto*, 256. Obtenido de <https://civilgeeks.com/2013/08/28/libro-de-tecnologia-del-concreto-y-mortero-ing-gerardo-a-rivera-l/>
- Rodríguez Almache, A. E., & Villalba Rea, J. B. (2016). *Análisis a flexión en vigas de concreto armado, compuestas de hormigón modificado con fibrillas recicladas de neumático, y su influencia en la cuantía de acero en un hormigón estructural de  $f_c=210$  Kg/cm<sup>2</sup>*. Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo. Obtenido de <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/1792>
- Shi, C., Jiao, D., Zhang, J., Wang, D., Zhang, Y., Farzadnia, N., & Hu, X. (2018). Desing of high performance concrete with multiple performance requirements for #2 Dongting Lake

- Bridge. *Construction and Building Materials*, 165. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.083>
- Vallejo Patarón, M. A., & Amaguaya Chacha, V. J. (2016). *Selección del material optimo para el diseño de concreto permeable utilizando agregado de dos minas de la provincia de Chimborazo y el cemento portland tipo I, en relación a la obtención de mayor permeabilidad y resistencia*. Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo. Obtenido de <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/1369>
- Wu, M., & Johannesson, B. (2014). Impact of sample saturation on the detected porosity of hardened concrete using low temperature calorimetry. *Thermochimica Acta*, 580. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.tca.2014.02.002>
- Zhang, J., Bian, F., Zhang, Y., Fang, Z., Fu, C., & Guo, J. (2018). Effect of pore structures on gas permeability and chloride diffusivity of concrete. *Construction and Building Materials*, 163. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.111>

## 8. ANEXOS

### Anexo 1. Análisis granulométrico de agregado fino.

**Tabla 16.** Análisis Granulométrico agregado fino, mina Cerro Negro.

MUESTRA 1							
TAMIZ		MASA RETENIDA (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	%PASA	LÍMITES ESPECIFICACIÓN	
mm	pulg					Inferior	Superior
9.53	3/8	12	0.6	1	100	100	100
4.75	#4	38	1.9	3	97	95	100
2.36	#8	342	17.1	20	80	80	100
1.18	#16	358	17.9	38	62	50	85
0.6	#30	305	15.25	53	47	25	60
0.3	#50	357	17.85	71	29	10	30
0.15	#100	312	15.6	86	13	2	10
	BANDEJA	273	13.65	100	0	0	0
	<b>Masa Total</b>	1997					
	<b>M.F</b>	2.70					

MUESTRA 2							
TAMIZ		MASA RETENIDA (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	%PASA	LÍMITES ESPECIFICACIÓN	
mm	pulg					Inferior	Superior
9.53	3/8	24	1.2	1	100	100	100
4.75	#4	49	2.45	4	95	95	100
2.36	#8	357	17.85	22	77	80	100
1.18	#16	360	18	40	59	50	85
0.6	#30	332	16.6	56	43	25	60
0.3	#50	305	15.25	71	27	10	30
0.15	#100	310	15.5	87	12	2	10
	BANDEJA	261	13.05	100	0	0	0
	<b>Masa Total</b>	1998					
	<b>M.F</b>	2.80					

MUESTRA 3							
TAMIZ		MASA RETENIDA (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	%PASA	LÍMITES ESPECIFICACIÓN	
mm	pulg					Inferior	Superior
9.53	3/8	26	1.3	1	100	100	100
4.75	#4	47	2.35	4	95	95	100
2.36	#8	370	18.5	22	77	80	100
1.18	#16	366	18.3	40	58	50	85
0.6	#30	328	16.4	57	42	25	60
0.3	#50	291	14.55	71	27	10	30
0.15	#100	301	15.05	86	12	2	10
	BANDEJA	267	13.35	100	0	0	0
	<b>Masa Total</b>	1996					
	<b>M.F</b>	2.82					

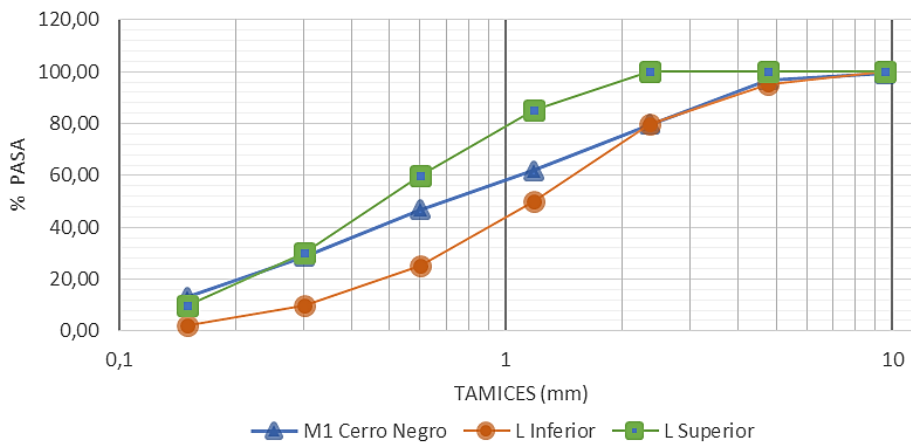
**MUESTRA 4**

TAMIZ		MASA RETENIDA (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	%PASA	LÍMITES ESPECIFICACIÓN	
mm	pulg					Inferior	Superior
9.53	3/8	14	0.7	1	100	100	100
4.75	#4	41	2.05	3	97	95	100
2.36	#8	349	17.45	20	79	80	100
1.18	#16	364	18.2	38	61	50	85
0.6	#30	323	16.15	55	45	25	60
0.3	#50	308	15.4	70	29	10	30
0.15	#100	305	15.25	85	14	2	10
	BANDEJA	294	14.7	100	0	0	0
	<b>Masa Total</b>	1998					
	<b>M.F</b>	2.72					

**MUESTRA 5**

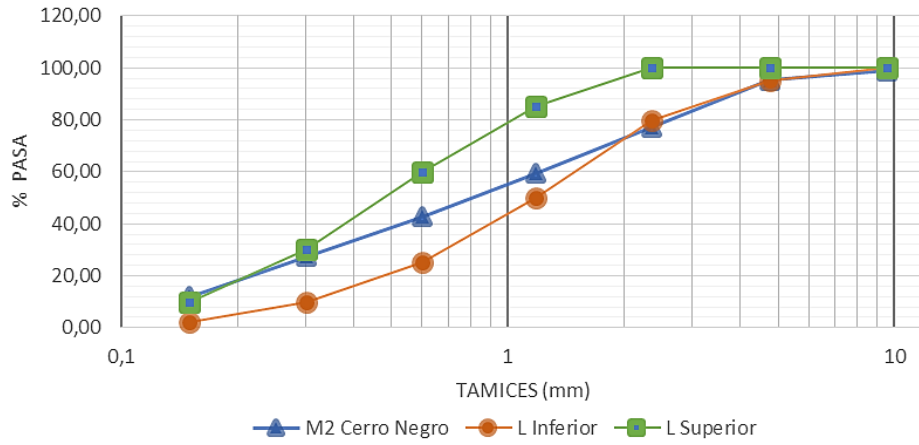
TAMIZ		MASA RETENIDA (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	%PASA	LÍMITES ESPECIFICACIÓN	
mm	pulg					Inferior	Superior
9.53	3/8	15	0.75	1	100	100	100
4.75	#4	43	2.15	3	96	95	100
2.36	#8	354	17.7	21	79	80	100
1.18	#16	369	18.45	39	60	50	85
0.6	#30	326	16.3	55	44	25	60
0.3	#50	293	14.65	70	29	10	30
0.15	#100	312	15.6	86	14	2	10
	BANDEJA	287	14.35	100	0	0	0
	<b>Masa Total</b>	1999					
	<b>M.F</b>	2.74					

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

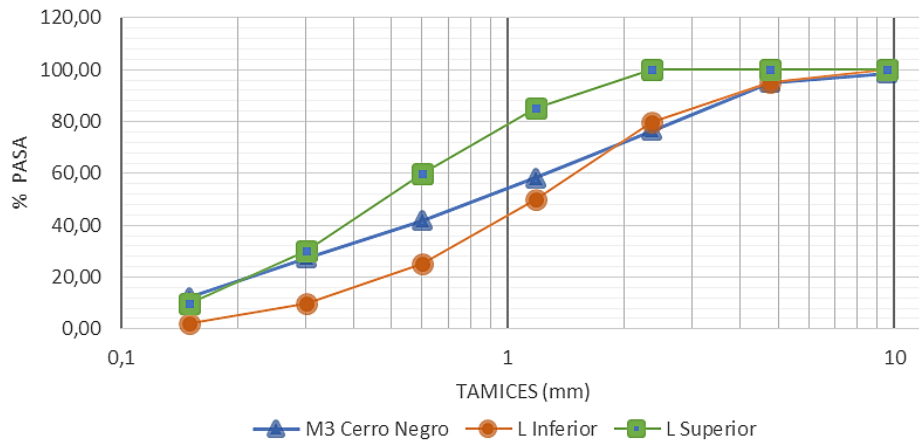


**Figura 10.** Curva Granulométrica muestra 1 agregado fino Cerro Negro.

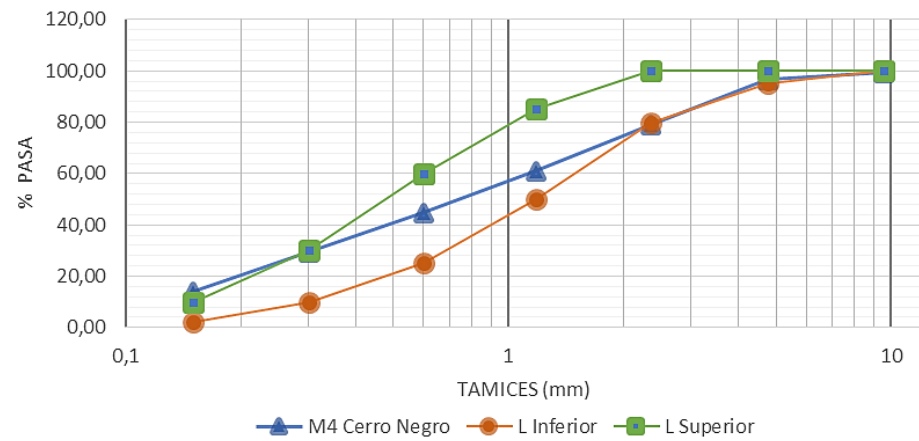
**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.



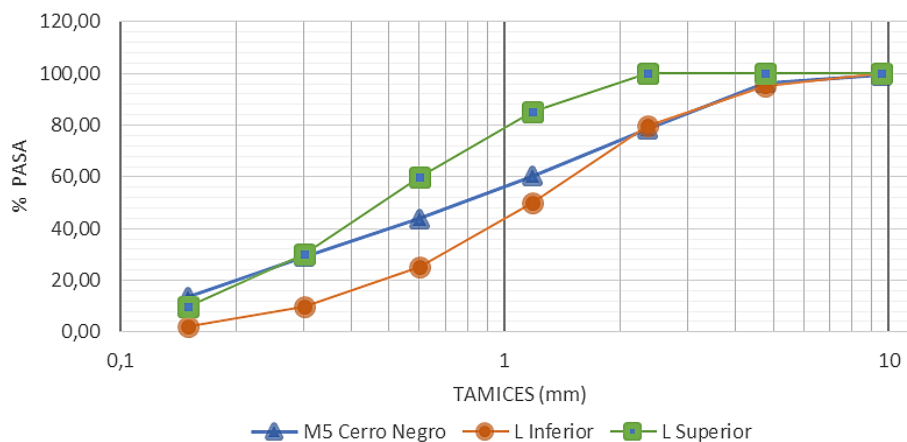
**Figura 11.** Curva Granulométrica muestra 2 agregado fino Cerro Negro.  
**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.



**Figura 12.** Curva Granulométrica muestra 3 agregado fino Cerro Negro.  
**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.



**Figura 13.** Curva Granulométrica muestra 4 agregado fino Cerro Negro.  
**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.



**Figura 14.** Curva Granulométrica muestra 5 agregado fino Cerro Negro.  
 Elaborado por: Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

**Tabla 17.** Análisis Granulométrico de agregado fino, mina Río Chambo.

MUESTRA 1							
TAMIZ		MASA RETENIDA (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	%PASA	LÍMITES ESPECIFICACIÓN	
mm	pulg					Inferior	Superior
9.53	3/8	21	1.05	1	100	100	100
4.75	#4	106	5.3	6	93	95	100
2.36	#8	248	12.4	19	80	80	100
1.18	#16	408	20.4	39	60	50	85
0.6	#30	415	20.75	60	39	25	60
0.3	#50	426	21.3	81	18	10	30
0.15	#100	248	12.4	94	5	2	10
	BANDEJA	125	6.25	100	0	0	0
	<b>Masa Total</b>	1997					
	<b>M.F</b>	3.00					

MUESTRA 2							
TAMIZ		MASA RETENIDA (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	%PASA	LÍMITES ESPECIFICACIÓN	
mm	pulg					Inferior	Superior
9.53	3/8	34	1.7	2	98.30	100	100
4.75	#4	128	6.4	8	90	95	100
2.36	#8	243	12.15	20	78	80	100
1.18	#16	375	18.75	39	59	50	85
0.6	#30	402	20.1	59	39	25	60
0.3	#50	398	19.9	79	19	10	30
0.15	#100	282	14.1	93	5	2	10
	BANDEJA	137	6.85	100	0	0	0
	<b>Masa Total</b>	1999					
	<b>M.F</b>	3.00					



**MUESTRA 3**

TAMIZ		MASA RETENIDA (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	%PASA	LÍMITES ESPECIFICACIÓN	
mm	pulg					Inferior	Superior
9.53	3/8	40	2	2	98.00	100	100
4.75	#4	93	4.65	7	91	95	100
2.36	#8	235	11.75	18	80	80	100
1.18	#16	366	18.3	37	61	50	85
0.6	#30	399	19.95	57	41	25	60
0.3	#50	428	21.4	78	20	10	30
0.15	#100	289	14.45	93	5	2	10
	BANDEJA	147	7.35	100	0	0	0
	<b>Masa Total</b>	1997					
	<b>M.F</b>	2.91					

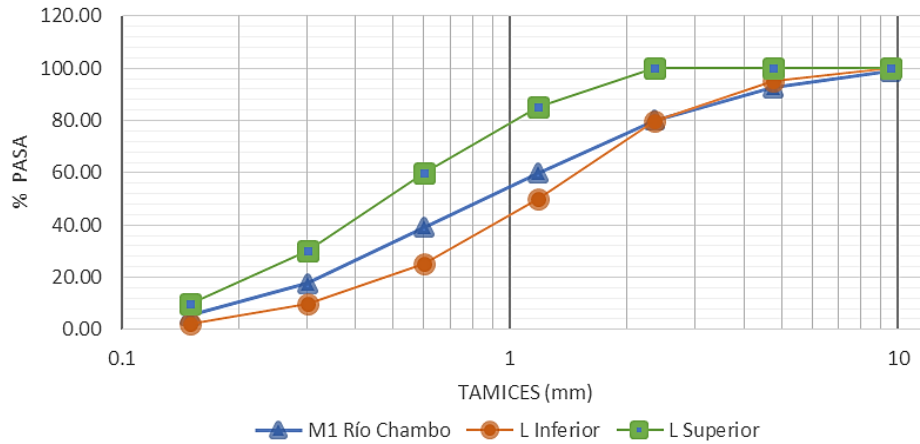
**MUESTRA 4**

TAMIZ		MASA RETENIDA (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	%PASA	LÍMITES ESPECIFICACIÓN	
mm	pulg					Inferior	Superior
9.53	3/8	27	1.35	1	98.65	100	100
4.75	#4	104	5.2	7	92	95	100
2.36	#8	248	12.4	19	80	80	100
1.18	#16	394	19.7	39	60	50	85
0.6	#30	433	21.65	60	38	25	60
0.3	#50	455	22.75	83	16	10	30
0.15	#100	222	11.1	94	5	2	10
	BANDEJA	109	5.45	100	0	0	0
	<b>Masa Total</b>	1992					
	<b>M.F</b>	3.03					

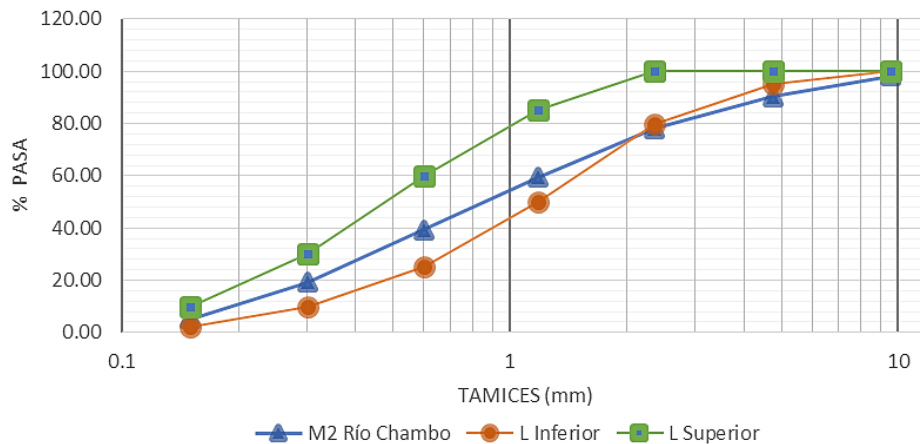
**MUESTRA 5**

TAMIZ		MASA RETENIDA (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	%PASA	LÍMITES ESPECIFICACIÓN	
mm	pulg					Inferior	Superior
9.53	3/8	18	0.9	1	99.10	100	100
4.75	#4	106	5.3	6	93	95	100
2.36	#8	269	13.45	20	79	80	100
1.18	#16	351	17.55	37	62	50	85
0.6	#30	405	20.25	57	42	25	60
0.3	#50	412	20.6	78	21	10	30
0.15	#100	269	13.45	92	8	2	10
	BANDEJA	161	8.05	100	0	0	0
	<b>Masa Total</b>	1991					
	<b>M.F</b>	2.91					

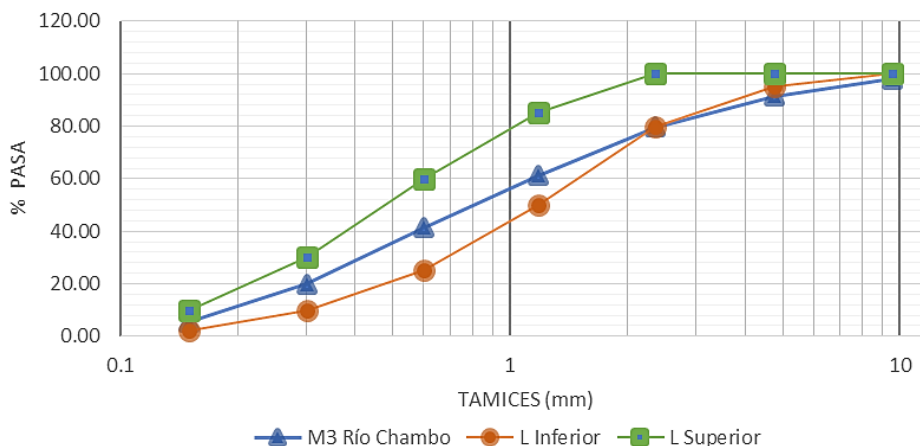
Elaborado por: Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.



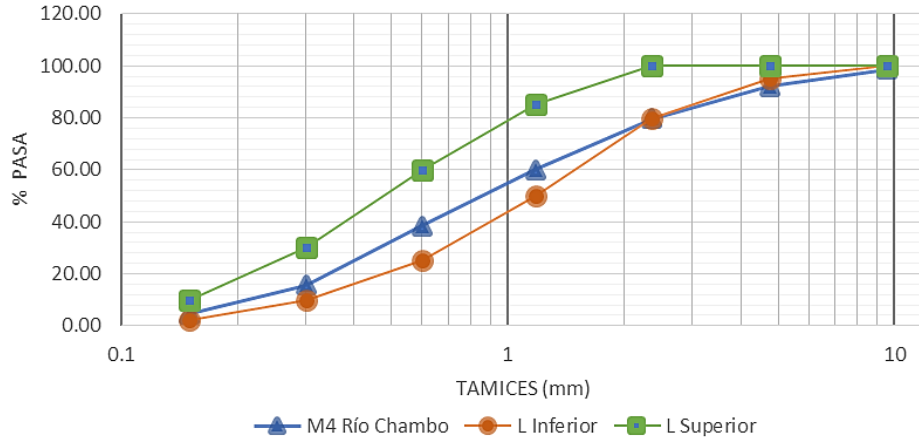
**Figura 15.** Curva Granulométrica muestra 1 agregado fino Río Chambo.  
 Elaborado por: Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.



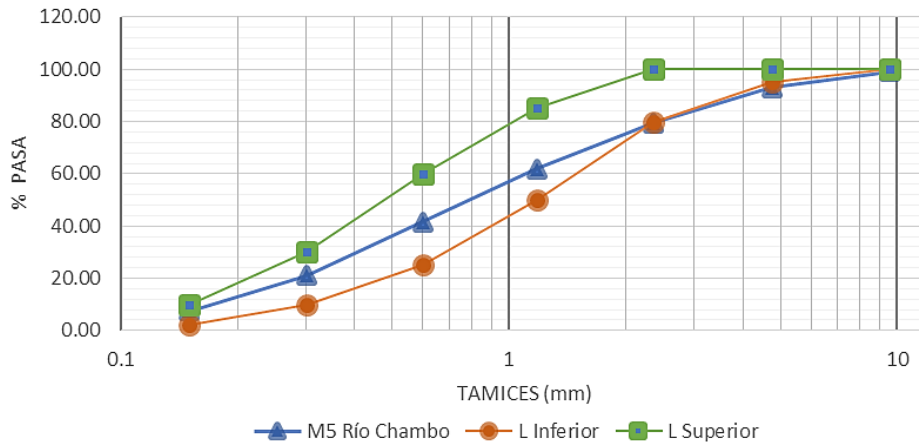
**Figura 16.** Curva Granulométrica muestra 2 agregado fino Río Chambo.  
 Elaborado por: Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.



**Figura 17.** Curva Granulométrica muestra 3 agregado fino Río Chambo.  
 Elaborado por: Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.



**Figura 18.** Curva Granulométrica muestra 4 agregado fino Río Chambo.  
 Elaborado por: Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.



**Figura 19.** Curva Granulométrica muestra 5 Río Chambo.  
 Elaborado por: Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

**Anexo 2.** Análisis Granulométrico de agregado grueso.

**Tabla 18.** Análisis Granulométrico agregado grueso, mina Río Chambo.

MUESTRA 1							
mm	TAMIZ	MASA RETENIDA (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	%PASA	LÍMITES ESPECIFICACIÓN	
	pulg					Inferior	Superior
38.10	1 1/2	0	0.00	0	100	100	100
25.40	1	79	1.58	2	98	100	100
19.05	3/4	532	10.64	12	88	90	100
12.70	1/2	3447	68.94	81	19	40	85
9.53	3/8	653	13.06	94	6	0	60
4.75	#4	216	4.32	99	1	0	15
2.36	#8	11	0.22	99	1	0	5
	BANDEJA	0	0.00	99	1	0	0
	<b>Masa Total</b>	4938					
	<b>TM Nominal</b>	3/4 "					

MUESTRA 2							
mm	TAMIZ	MASA RETENIDA (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	%PASA	LÍMITES ESPECIFICACIÓN	
	pulg					Inferior	Superior
38.10	1 1/2	0	0.00	0	100	100	100
25.40	1	0	0.00	0	100	100	100
19.05	3/4	908	18.16	18	82	90	100
12.70	1/2	3109	62.18	80	20	40	85
9.53	3/8	746	14.92	95	5	0	60
4.75	#4	213	4.26	100	0	0	15
2.36	#8	20	0.40	100	0	0	5
	BANDEJA	0	0.00	100	0	0	0
	<b>Masa Total</b>	4996					
	<b>TM Nominal</b>	3/4 "					

MUESTRA 3							
mm	TAMIZ	MASA RETENIDA (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	%PASA	LÍMITES ESPECIFICACIÓN	
	pulg					Inferior	Superior
38.10	1 1/2	0	0.00	0	100	100	100
25.40	1	0	0.00	0	100	100	100
19.05	3/4	955	19.10	19	81	90	100
12.70	1/2	3415	68.30	87	13	40	85
9.53	3/8	489	9.78	97	3	0	60
4.75	#4	131	2.62	100	0	0	15
2.36	#8	10	0.20	100	0	0	5
	BANDEJA	0	0.00	100	0	0	0
	<b>Masa Total</b>	5000					
	<b>TM Nominal</b>	3/4 "					

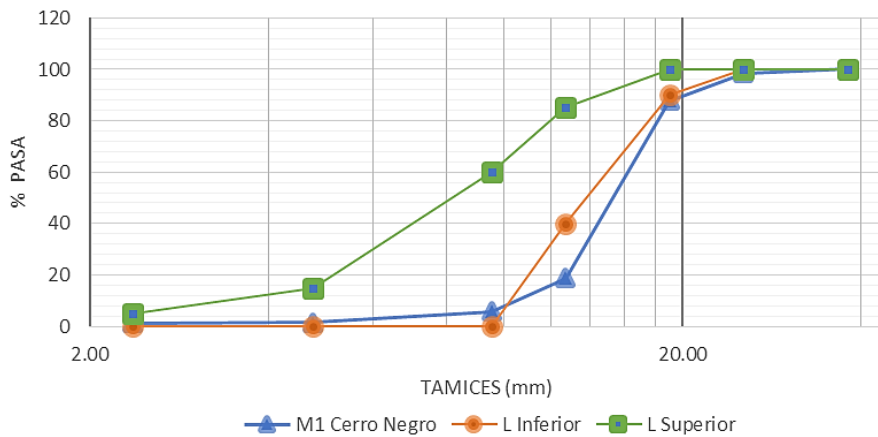
**MUESTRA 4**

TAMIZ		MASA RETENIDA (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	%PASA	LÍMITES ESPECIFICACIÓN	
mm	pulg					Inferior	Superior
38.10	1 1/2	0	0.00	0	100	100	100
25.40	1	0	0.00	0	100	100	100
19.05	3/4	1152	23.04	23	77	90	100
12.70	1/2	3254	65.08	88	12	40	85
9.53	3/8	481	9.62	98	2	0	60
4.75	#4	100	2.00	100	0	0	15
2.36	#8	12	0.24	100	0	0	5
BANDEJA		0	0.00	100	0	0	0
<b>Masa Total</b>		4999					
<b>TM Nominal</b>		3/4 "					

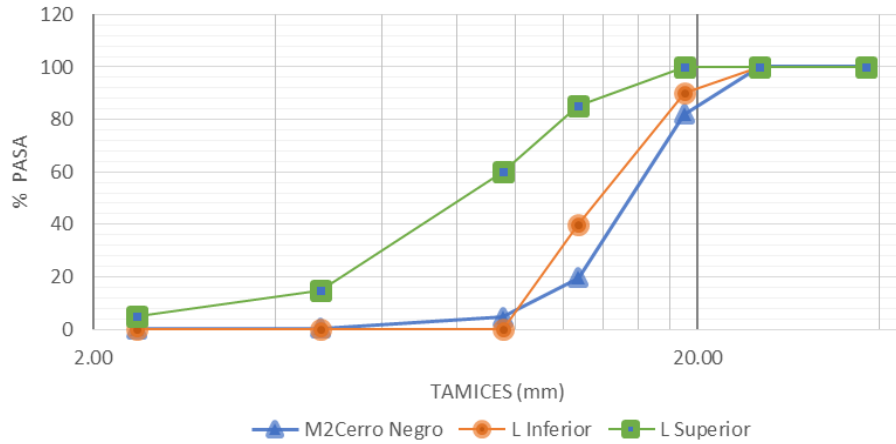
**MUESTRA 5**

TAMIZ		MASA RETENIDA (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	%PASA	LÍMITES ESPECIFICACIÓN	
mm	pulg					Inferior	Superior
38.10	1 1/2	0	0.00	0	100	100	100
25.40	1	0	0.00	0	100	100	100
19.05	3/4	1072	21.44	21	79	90	100
12.70	1/2	3220	64.40	86	14	40	85
9.53	3/8	557	11.14	97	3	0	60
4.75	#4	140	2.80	100	0	0	15
2.36	#8	10	0.20	100	0	0	5
BANDEJA		0	0.00	100	0	0	0
<b>Masa Total</b>		4999					
<b>TM Nominal</b>		3/4 "					

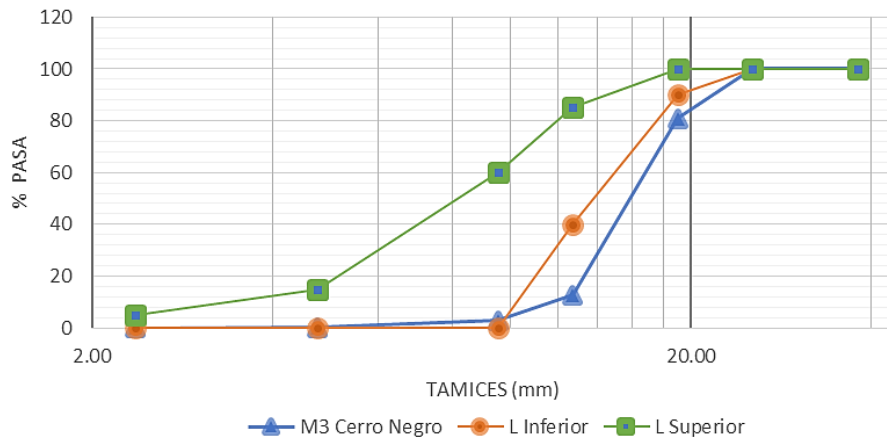
**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.



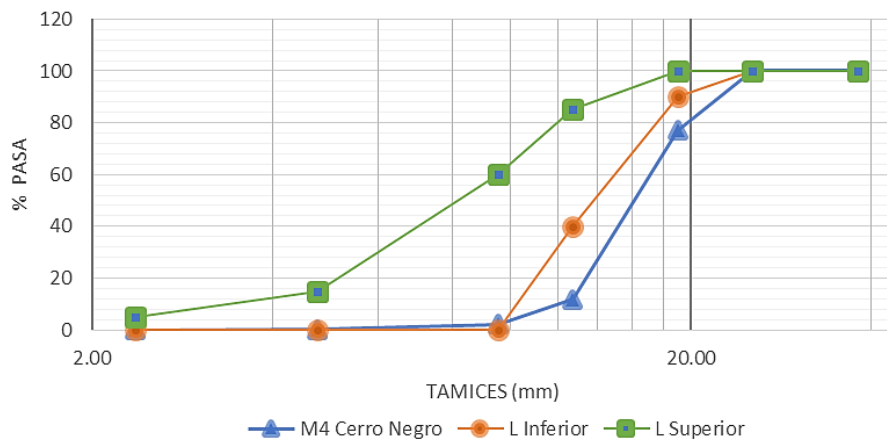
**Figura 20.** Curva Granulométrica muestra 1 agregado grueso Cerro Negro.  
**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.



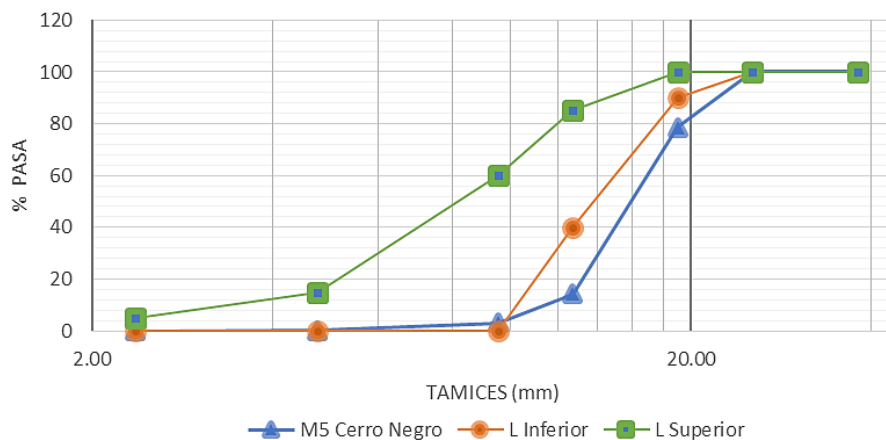
**Figura 21.** Curva Granulométrica muestra 2 agregado grueso Cerro Negro.  
Elaborado por: Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.



**Figura 22.** Curva Granulométrica muestra 3 agregado grueso Cerro Negro.  
Elaborado por: Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.



**Figura 23.** Curva Granulométrica muestra 4 agregado grueso Cerro Negro.  
Elaborado por: Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.



**Figura 24.** Curva Granulométrica muestra 5 agregado grueso Cerro Negro.  
Elaborado por: Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

**Tabla 19.** Análisis Granulométrico agregado grueso, mina Río Chambo.

MUESTRA 1							
TAMIZ		MASA RETENIDA (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	%PASA	LÍMITES ESPECIFICACIÓN	
mm	pulg					Inferior	Superior
38.10	1 1/2	0	0.00	0	100	100	100
25.40	1	0	0.00	0	100	100	100
19.05	3/4	87	1.74	2	98	90	100
12.70	1/2	3985	79.70	81	19	40	85
9.53	3/8	697	13.94	95	5	0	60
4.75	#4	208	4.16	100	0	0	15
2.36	#8	15	0.30	100	0	0	5
BANDEJA		0	0.00	100	0	0	0
<b>Masa Total</b>		4992					
<b>TM Nominal</b>		3/4 "					

MUESTRA 2							
TAMIZ		MASA RETENIDA (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	%PASA	LÍMITES ESPECIFICACIÓN	
mm	pulg					Inferior	Superior
38.10	1 1/2	0	0.00	0	100	100	100
25.40	1	0	0.00	0	100	100	100
19.05	3/4	86	1.72	2	98	90	100
12.70	1/2	3925	78.50	80	20	40	85
9.53	3/8	754	15.08	95	5	0	60
4.75	#4	205	4.10	99	1	0	15
2.36	#8	27	0.54	100	0	0	5
BANDEJA		0	0.00	100	0	0	0
<b>Masa Total</b>		4997					
<b>TM Nominal</b>		3/4 "					

**MUESTRA 3**

TAMIZ		MASA RETENIDA (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	%PASA	LÍMITES ESPECIFICACIÓN	
mm	pulg					Inferior	Superior
38.10	1 1/2	0	0.00	0	100	100	100
25.40	1	0	0.00	0	100	100	100
19.05	3/4	71	1.42	1	99	90	100
12.70	1/2	3932	78.64	80	20	40	85
9.53	3/8	722	14.44	95	6	0	60
4.75	#4	241	4.82	99	1	0	15
2.36	#8	21	0.42	100	0	0	5
	BANDEJA	0	0.00	100	0	0	0
	<b>Masa Total</b>	4987					
	<b>TM Nominal</b>	3/4 "					

**MUESTRA 4**

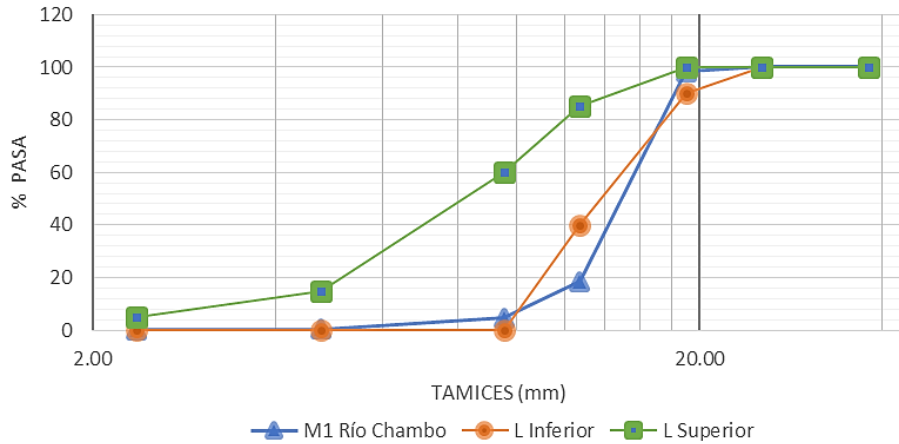
TAMIZ		MASA RETENIDA (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	%PASA	LÍMITES ESPECIFICACIÓN	
mm	pulg					Inferior	Superior
38.10	1 1/2	0	0.00	0	100	100	100
25.40	1	0	0.00	0	100	100	100
19.05	3/4	67	1.34	1	99	90	100
12.70	1/2	3579	71.58	73	27	40	85
9.53	3/8	957	19.14	92	8	0	60
4.75	#4	373	7.46	100	0	0	15
2.36	#8	21	0.42	100	0	0	5
	BANDEJA	0	0.00	100	0	0	0
	<b>Masa Total</b>	4997					
	<b>TM Nominal</b>	3/4 "					

**MUESTRA 5**

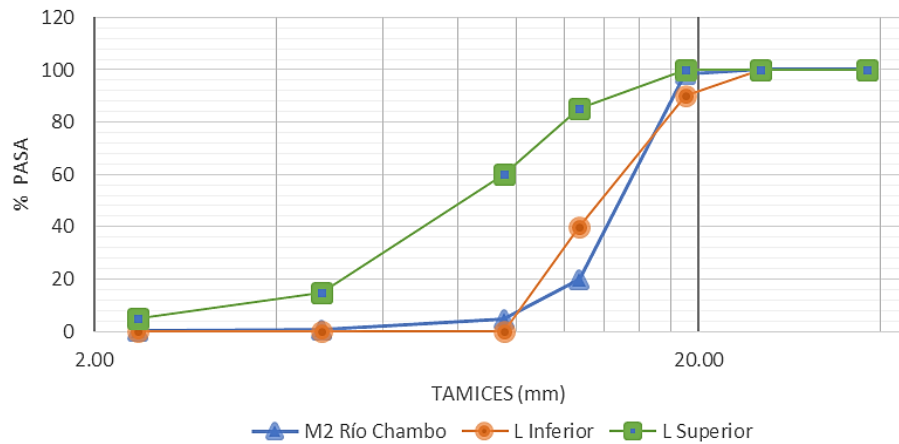
TAMIZ		MASA RETENIDA (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	%PASA	LÍMITES ESPECIFICACIÓN	
mm	pulg					Inferior	Superior
38.10	1 1/2	0	0.00	0	100	100	100
25.40	1	0	0.00	0	100	100	100
19.05	3/4	105	2.10	2	98	90	100
12.70	1/2	3616	72.32	74	26	40	85
9.53	3/8	850	17.00	91	9	0	60
4.75	#4	365	7.30	99	1	0	15
2.36	#8	62	1.24	100	0	0	5
	BANDEJA	0	0.00	100	0	0	0
	<b>Masa Total</b>	4998					
	<b>TM Nominal</b>	3/4 "					

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

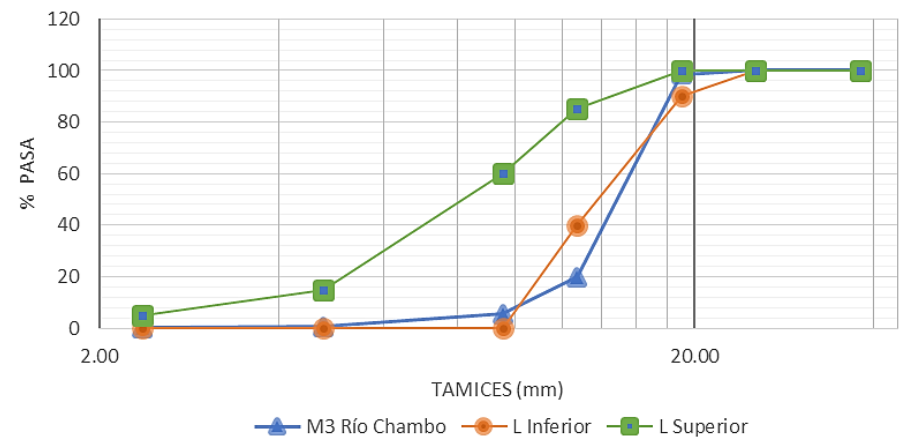




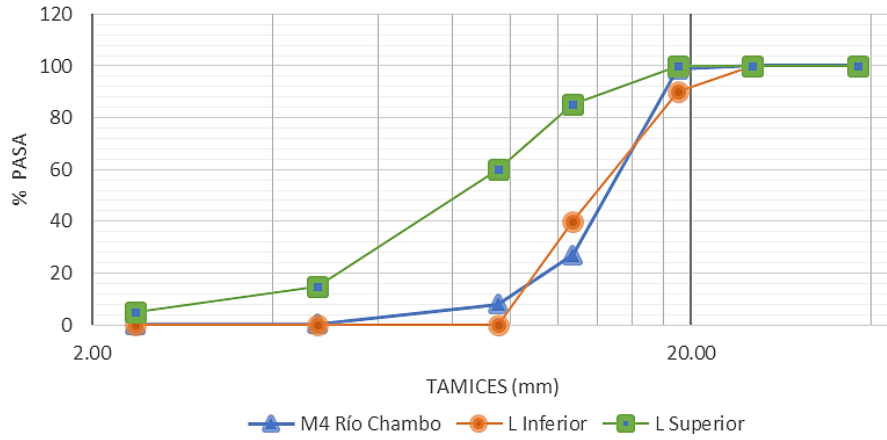
**Figura 25.** Curva Granulométrica muestra 1 agregado grueso Río Chambo.  
 Elaborado por: Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.



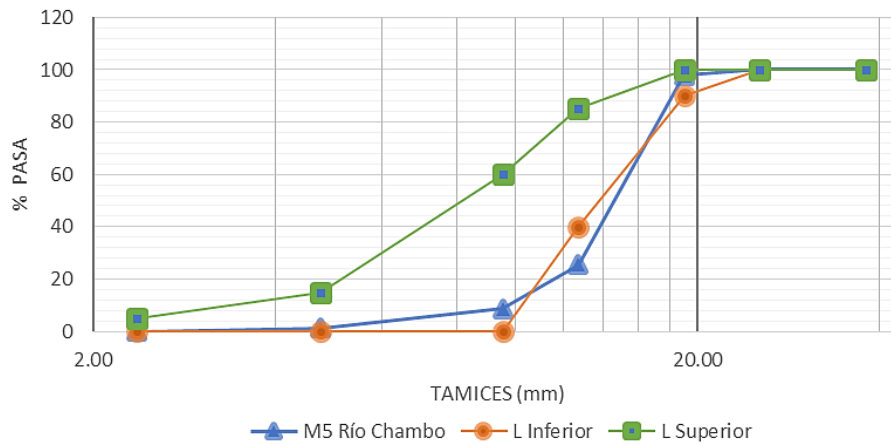
**Figura 26.** Curva Granulométrica muestra 2 agregado grueso Río Chambo.  
 Elaborado por: Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.



**Figura 27.** Curva Granulométrica muestra 3 agregado grueso Río Chambo.  
 Elaborado por: Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.



**Figura 28.** Curva Granulométrica muestra 4 agregado grueso Río Chambo.  
 Elaborado por: Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.



**Figura 29.** Curva Granulométrica muestra 5 agregado grueso Río Chambo.  
 Elaborado por: Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

**Anexo 3.** Contenido de humedad de agregado fino.

**Tabla 20.** *Análisis Contenido de humedad de agregado fino, mina Cerro Negro.*

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	
Peso de la bandeja	g	1305
Peso de la bandeja + agregado	g	3852
Peso de la bandeja + agregado seco	g	3697
Masa inicial	g	2547
Masa muestra seca	g	2392
Humedad	%	6.48%

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

**Tabla 21.** *Análisis Contenido de humedad de agregado fino, mina Río Chambo.*

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	
Peso de la bandeja	g	1313
Peso de la bandeja + agregado	g	3931
Peso de la bandeja + agregado seco	g	3810
Masa inicial	g	2618
Masa muestra seca	g	2497
Humedad	%	4.85%

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

**Anexo 4.** Contenido de humedad de agregado grueso.

**Tabla 22.** *Análisis Contenido de humedad de agregado grueso, mina Cerro Negro.*

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	
Peso de la bandeja	g	2014
Peso de la bandeja + agregado	g	7442
Peso de la bandeja + agregado seco	g	7389
Masa inicial	g	5428
Masa muestra seca	g	5375
Humedad	%	0.99%

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

**Tabla 23.** *Análisis Contenido de humedad de agregado grueso, mina Río Chambo.*

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	
Peso de la bandeja	g	2002
Peso de la bandeja + agregado	g	10132
Peso de la bandeja + agregado seco	g	10072
Masa inicial	g	8130
Masa muestra seca	g	8070
Humedad	%	0.74%

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

**Anexo 5.** Análisis de porcentaje de absorción y densidad de agregado fino.

**Tabla 24.** Porcentaje de absorción y densidad de agregado fino, mina Cerro Negro.

Descripción		Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
A	Masa seca al horno	g	473	476	477
B	Masa picnómetro vacío	g	417	417	417
C	Masa picnómetro + árido en sss	g	917	917	917
D	Masa picnómetro + árido sss + agua	g	1540	1542	1543
E	Masa del picnómetro calibrado	g	1237	1237	1237
F	Masa del árido en sss	g	500	500	500
G	Volumen desalojado	cm <sup>3</sup>	197	195	194
I (SH)	Densidad relativa (seca al horno)	g/cm <sup>3</sup>	2.40	2.44	2.46
H	Densidad relativa sss	g/cm <sup>3</sup>	2.54	2.56	2.58
J	Densidad relativa aparente	g/cm <sup>3</sup>	2.78	2.78	2.79
% Abs	Absorción	%	5.71%	5.04%	4.82%

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

**Tabla 25.** Porcentaje de absorción y densidad de agregado fino, mina Río Chambo.

Descripción		Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
A	Masa seca al horno	g	484	481	481
B	Masa picnómetro vacío	g	417	417	417
C	Masa picnómetro + árido en sss	g	917	917	917
D	Masa picnómetro + árido sss + agua	g	1555	1535	1549
E	Masa del picnómetro calibrado	g	1237	1237	1237
F	Masa del árido en sss	g	500	500	500
G	Volumen desalojado	cm <sup>3</sup>	182	202	188
I (SH)	Densidad relativa (seca al horno)	g/cm <sup>3</sup>	2.66	2.38	2.56
H	Densidad relativa sss	g/cm <sup>3</sup>	2.75	2.48	2.66
J	Densidad relativa aparente	g/cm <sup>3</sup>	2.92	2.63	2.85
% Abs	Absorción	%	3.31%	3.95%	3.95%

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

**Anexo 6.** Análisis de porcentaje de absorción y densidad de agregado grueso.

**Tabla 26.** Porcentaje de absorción y densidad de agregado grueso, mina Cerro Negro.

Descripción		Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
A	Masa seca al horno	g	2935	2934	2932
B	Masa del recipiente	g	543	544	1319
C	Masa del recipiente +árido en sss	g	3543	3544	4319
D	Masa de la canastilla sumergida en agua	g	1396	1396	1396
E	Masa canastilla +árido sumergido	g	3263	3256	3259
F	Masa del árido en sss	g	3000	3000	3000
G	Masa del árido en agua	g	1867	1860	1863
H	Volumen desalojado	cm <sup>3</sup>	1133	1140	1137
I (SH)	Densidad relativa (seca al horno)	g/cm <sup>3</sup>	2.59	2.57	2.58
J	Densidad relativa sss	g/cm <sup>3</sup>	2.65	2.63	2.64
K	Densidad relativa aparente	g/cm <sup>3</sup>	1.63	1.64	1.63
% Abs	Absorción	%	2.17%	2.20%	2.27%

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

**Tabla 27.** Porcentaje de absorción y densidad de agregado grueso, mina Río Chambo.

Descripción		Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
A	Masa seca al horno	g	2969	2959	2961
B	Masa del recipiente	g	1320	2004	1308
C	Masa del recipiente +árido en sss	g	4320	5004	4308
D	Masa de la canastilla sumergida en agua	g	1396	1396	1396
E	Masa canastilla +árido sumergido	g	3263	3296	3298
F	Masa del árido en sss	g	3000	3000	3000
G	Masa del árido en agua	g	1867	1900	1902
H	Volumen desalojado	cm <sup>3</sup>	1133	1100	1098
I (SH)	Densidad relativa (seca al horno)	g/cm <sup>3</sup>	2.62	2.69	2.70
J	Densidad relativa sss	g/cm <sup>3</sup>	2.65	2.73	2.73
K	Densidad relativa aparente	g/cm <sup>3</sup>	1.62	1.59	1.59
% Abs	Absorción	%	1.03%	1.37%	1.30%

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

**Anexo 7.** Masa unitaria compacta de agregado grueso.

**Tabla 28.** Análisis de masa unitaria compacta agregado grueso, mina Cerro Negro.

<b>Descripción</b>		<b>Unidad</b>	
A	Masa recipiente + placa	g	4944.15
B	Masa recipiente + agua + placa	g	7937.86
C	Volumen recipiente	cm <sup>3</sup>	2993.707
$\gamma$	Densidad agua	g/ cm <sup>3</sup>	0.999
T	Temperatura Agua	°C	19.000
Muestra 1	Árido + recipiente + placa	g	9253.277
Muestra 2	Árido + recipiente + placa	g	9207.918
Muestra 3	Árido + recipiente + placa	g	9343.995
G	Promedio árido + recipiente + placa	g	9268.397
H	Masa árido compacto	g	4324.244
MUC	Masa Unitaria Compacta	kg/ m <sup>3</sup>	1444.444

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

**Tabla 29.** Análisis de masa unitaria compacta agregado grueso, mina Río Chambo.

<b>Descripción</b>		<b>Unidad</b>	
A	Masa recipiente + placa	g	4944.15
B	Masa recipiente + agua + placa	g	7937.86
C	Volumen recipiente	cm <sup>3</sup>	2993.707
$\gamma$	Densidad agua	g/ cm <sup>3</sup>	0.999
T	Temperatura Agua	°C	19.000
Muestra 1	Árido + recipiente + placa	g	9570.791
Muestra 2	Árido + recipiente + placa	g	9661.510
Muestra 3	Árido + recipiente + placa	g	9525.432
G	Promedio árido + recipiente + placa	g	9585.911
H	Masa árido compacto	g	4641.758
MUC	Masa Unitaria Compacta	kg/ m <sup>3</sup>	1550.505

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

## Anexo 8. Resistencia a la abrasión.

**Tabla 30.** *Análisis de resistencia a la abrasión agregado grueso, mina Cerro Negro.*

<b>Descripción</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>
Masa inicial (g)	5000.00	5000.00	5000.00
Retiene tamiz 1.70mm (g)	3739.00	3727.00	3744.00
Valor de degradación (%)	25.22%	25.46%	25.12%

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

**Tabla 31.** *Análisis de resistencia a la abrasión agregado grueso, mina Río Chambo.*

<b>Descripción</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>
Masa inicial (g)	5000.00	5000.00	5000.00
Retiene tamiz 1.70mm (g)	3980.00	3948.00	3979.00
Valor de degradación (%)	20.40%	21.04%	20.42%

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.



**Anexo 9.** Dosificación para resistencia de 240 kg/cm<sup>2</sup>, método ACI 211.1-91.

**Tabla 32.** Dosificación con agregados de Cerro Negro y cemento tipo IP.

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>		
Densidad del Cemento	2.90	g/cm <sup>3</sup>	
Densidad Agregado Fino	2.43	g/cm <sup>3</sup>	
Módulo de Finura	2.76		
% Absorción Agregado Fino	5.19	%	
% Humedad Agregado Fino	6.48	%	
Densidad Agregado Grueso	2.58	g/cm <sup>3</sup>	
MUC Agregado Grueso	1444.44	kg/m <sup>3</sup>	
TMN Agregado Grueso	19	mm	
% Absorción Agregado Grueso	2.21	%	
% Humedad Agregado Grueso	0.99	%	
Densidad del Agua	1000.00	kg/m <sup>3</sup>	
Asentamiento	(7.5-10.0)	cm	
Relación A/C	0.52		
<b>Dosificación en estado seco (kg)</b>			
Cemento	A Fino	A Grueso	Agua
396.98	570.88	1040.21	205.00
<b>Dosificación (corrección por humedad y absorción) (kg)</b>			
Cemento	A Fino	A Grueso	Agua
396.98	607.87	1050.51	210.33
<b>Dosificación por saco de cemento (50 kg)</b>			
Cemento	A Fino	A Grueso	Agua
1.00	1.53	2.65	26.49

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

**Tabla 33.** Dosificación con agregados de Río Chambo y cemento tipo IP.

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>		
Densidad del Cemento	2.90	g/cm <sup>3</sup>	
Densidad Agregado Fino	2.53	g/cm <sup>3</sup>	
Módulo de Finura	2.97		
% Absorción Agregado Fino	3.74	%	
% Humedad Agregado Fino	4.85	%	
Densidad Agregado Grueso	2.67	g/cm <sup>3</sup>	
MUC Agregado Grueso	1550.51	kg/m <sup>3</sup>	
TMN Agregado Grueso	19	mm	
% Absorción Agregado Grueso	1.23	%	
% Humedad Agregado Grueso	0.74	%	
Densidad del Agua	1000.00	kg/m <sup>3</sup>	
Asentamiento	(7.5-10.0)	cm	
Relación A/C	0.52		
<b>Dosificación en estado seco (kg)</b>			
Cemento	A Fino	A Grueso	Agua
396.98	661.93	1005.20	205.00
<b>Dosificación (corrección por humedad y absorción) (kg)</b>			
Cemento	A Fino	A Grueso	Agua
396.98	694.03	1012.64	202.58
<b>Dosificación por saco de cemento (50 kg)</b>			
Cemento	A Fino	A Grueso	Agua
1.00	1.75	2.55	25.51

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

**Tabla 34.** Dosificación con agregados de Cerro Negro y cemento tipo GU.

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>		
Densidad del Cemento	3.41	g/cm <sup>3</sup>	
Densidad Agregado Fino	2.43	g/cm <sup>3</sup>	
Módulo de Finura	2.76		
% Absorción Agregado Fino	5.19	%	
% Humedad Agregado Fino	6.48	%	
Densidad Agregado Grueso	2.58	g/cm <sup>3</sup>	
MUC Agregado Grueso	1444.44	kg/m <sup>3</sup>	
TMN Agregado Grueso	19	mm	
% Absorción Agregado Grueso	2.21	%	
% Humedad Agregado Grueso	0.99	%	
Densidad del Agua	1000.00	kg/m <sup>3</sup>	
Asentamiento	(7.5-10.0)	cm	
Relación A/C	0.52		
<b>Dosificación en estado seco (kg)</b>			
Cemento	A Fino	A Grueso	Agua
396.98	620.63	1040.21	205.00
<b>Dosificación (corrección por humedad y absorción) (kg)</b>			
Cemento	A Fino	A Grueso	Agua
396.98	660.84	1050.51	209.68
<b>Dosificación por saco de cemento (50 kg)</b>			
Cemento	A Fino	A Grueso	Agua
1.00	1.66	2.65	26.41

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.







**Tabla 35.** Dosificación con agregados de Río Chambo y cemento tipo GU.

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>		
Densidad del Cemento	3.41	g/cm <sup>3</sup>	
Densidad Agregado Fino	2.53	g/cm <sup>3</sup>	
Módulo de Finura	2.97		
% Absorción Agregado Fino	3.74	%	
% Humedad Agregado Fino	4.85	%	
Densidad Agregado Grueso	2.67	g/cm <sup>3</sup>	
MUC Agregado Grueso	1550.51	kg/m <sup>3</sup>	
TMN Agregado Grueso	19	mm	
% Absorción Agregado Grueso	1.23	%	
% Humedad Agregado Grueso	0.74	%	
Densidad del Agua	1000.00	kg/m <sup>3</sup>	
Asentamiento	(7.5-10.0)	cm	
Relación A/C	0.52		
<b>Dosificación en estado seco (kg)</b>			
Cemento	A Fino	A Grueso	Agua
396.98	713.72	1005.20	205.00
<b>Dosificación (corrección por humedad y absorción) (kg)</b>			
Cemento	A Fino	A Grueso	Agua
396.98	748.34	1012.64	202.00
<b>Dosificación por saco de cemento (50 kg)</b>			
Cemento	A Fino	A Grueso	Agua
1.00	1.89	2.55	25.44

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

**Anexo 10.** Resistencia a compresión.

**Tabla 36.** Ensayo de cilindros elaborados con agregado de Cerro Negro y cemento IP.

<b>ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS</b>			
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
Diámetro 1 (cm)	15.40	15.20	15.30
Diámetro 2 (cm)	14.90	15.30	15.00
Diámetro 3 (cm)	15.00	15.00	15.20
Carga (kN)	268.00	284.30	253.40
Tipo de falla	Tipo V	Tipo V	Tipo III
Gráfico			
<b>ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS</b>			
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
Diámetro 1 (cm)	15.10	15.20	15.20
Diámetro 2 (cm)	15.20	15.00	15.10
Diámetro 3 (cm)	15.10	15.10	15.00
Carga (kN)	365.60	328.30	319.70
Tipo de falla	Tipo III	Tipo V	Tipo V
Gráfico			

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

**Tabla 37.** Ensayo de cilindros elaborados con agregado de Río Chambo y cemento IP.

<b>ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS</b>			
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
Diámetro 1 (cm)	14.90	15.00	15.20
Diámetro 2 (cm)	15.20	15.20	15.00
Diámetro 3 (cm)	15.20	15.00	14.90
Carga (kN)	322.20	298.70	307.70
Tipo de falla	Tipo V	Tipo V	Tipo V

Gráfico





<b>ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS</b>			
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
Diámetro 1 (cm)	15.10	15.00	15.10
Diámetro 2 (cm)	15.10	14.90	15.20
Diámetro 3 (cm)	15.10	14.90	15.10
Carga (kN)	379.60	410.70	383.50
Tipo de falla	Tipo VI	Tipo II	Tipo I

Gráfico





**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

**Tabla 38.** Ensayo de cilindros elaborados con agregado de Cerro Negro y cemento GU.

<b>ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS</b>			
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
Diámetro 1 (cm)	15.20	15.00	15.20
Diámetro 2 (cm)	15.10	14.90	15.20
Diámetro 3 (cm)	15.00	15.20	15.20
Carga (kN)	233.80	231.60	237.50
Tipo de falla	Tipo III	Tipo II	Tipo I

Gráfico			
---------	---	--	---

<b>ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS</b>			
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
Diámetro 1 (cm)	15.20	15.10	15.00
Diámetro 2 (cm)	15.00	15.20	15.00
Diámetro 3 (cm)	15.00	15.30	15.20
Carga (kN)	326.80	331.10	339.50
Tipo de falla	Tipo V	Tipo I	Tipo V




  

Gráfico			
---------	---	--	---

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

**Tabla 39.** Ensayo de cilindros elaborados con agregado de Río Chambo y cemento GU.

<b>ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS</b>			
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
Diámetro 1 (cm)	15.20	15.20	15.00
Diámetro 2 (cm)	15.20	15.10	14.80
Diámetro 3 (cm)	15.20	14.90	14.90
Carga (kN)	351.60	337.80	364.40
Tipo de falla	Tipo V	Tipo V	Tipo IV
Gráfico			




<b>ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS</b>			
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
Diámetro 1 (cm)	14.80	15.00	15.20
Diámetro 2 (cm)	15.30	15.10	15.10
Diámetro 3 (cm)	15.30	14.90	15.00
Carga (kN)	460.80	465.30	446.30
Tipo de falla	Tipo III	Tipo I	Tipo I
Gráfico			

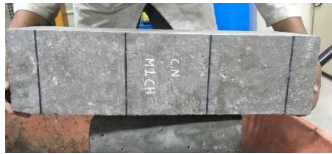


**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.



**Anexo 11. Resistencia a flexión.**




**Tabla 40.** Ensayo de vigas elaboradas con agregado de Cerro Negro y cemento IP.




<b>ENSAYOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN A LOS 7 DÍAS</b>			
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
Base 1 (cm)	15.20	15.30	15.10
Base 2 (cm)	15.00	15.00	15.10
Base 3 (cm)	15.10	15.00	15.20
Altura 1 (cm)	15.20	15.10	15.20
Altura 2 (cm)	15.00	15.10	15.10
Altura 3 (cm)	15.10	15.00	15.10
Carga (kN)	15.44	15.35	15.35
Tipo de falla	Tercio Medio	Tercio Medio	Tercio Medio
Gráfico			

<b>ENSAYOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN A LOS 14 DÍAS</b>			
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
Base 1 (cm)	15.30	15.10	15.20
Base 2 (cm)	15.40	15.10	15.10
Base 3 (cm)	15.20	15.20	15.10
Altura 1 (cm)	15.10	15.00	15.00
Altura 2 (cm)	15.10	14.90	14.80
Altura 3 (cm)	14.90	14.80	14.90
Carga (kN)	16.83	16.94	19.71
Tipo de falla	Tercio Medio	Tercio Medio	Tercio Medio
Gráfico			

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

**Tabla 41.** Ensayo de vigas elaboradas con agregado de Río Chambo y cemento IP.

ENSAYOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN A LOS 7 DÍAS			
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
Base 1 (cm)	15.30	15.10	15.20
Base 2 (cm)	15.00	15.10	15.00
Base 3 (cm)	15.00	15.20	15.10
Altura 1 (cm)	15.20	15.10	15.10
Altura 2 (cm)	15.10	15.10	15.10
Altura 3 (cm)	15.10	15.20	15.00
Carga (kN)	19.88	19.70	18.74
Tipo de falla	Tercio Medio	Tercio Medio	Tercio Medio
Gráfico			

ENSAYOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN A LOS 14 DÍAS			
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
Base 1 (cm)	15.20	15.30	15.30
Base 2 (cm)	15.20	15.20	14.90
Base 3 (cm)	15.20	15.00	15.10
Altura 1 (cm)	15.00	15.00	15.00
Altura 2 (cm)	15.00	15.00	15.00
Altura 3 (cm)	15.10	15.00	15.00
Carga (kN)	22.36	23.17	23.33
Tipo de falla	Tercio Medio	Tercio Medio	Tercio Medio
Gráfico			

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

**Tabla 42.** Ensayo de vigas elaboradas con agregado de Cerro Negro y cemento GU.

ENSAYOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN A LOS 7 DÍAS			
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
Base 1 (cm)	15.20	15.30	15.10
Base 2 (cm)	15.00	15.00	15.10
Base 3 (cm)	15.10	15.00	15.20
Altura 1 (cm)	15.00	15.00	15.20
Altura 2 (cm)	15.00	15.00	15.10
Altura 3 (cm)	15.10	15.10	15.10
Carga (kN)	14.34	14.37	15.84
Tipo de falla	Tercio Medio	Tercio Medio	Tercio Medio

Gráfico






ENSAYOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN A LOS 14 DÍAS			
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
Base 1 (cm)	15.00	15.10	15.40
Base 2 (cm)	15.10	15.10	14.90
Base 3 (cm)	15.10	15.20	15.10
Altura 1 (cm)	15.30	15.00	15.00
Altura 2 (cm)	15.20	15.10	15.00
Altura 3 (cm)	15.20	15.20	15.00
Carga (kN)	16.85	17.52	17.88
Tipo de falla	Tercio Medio	Tercio Medio	Tercio Medio

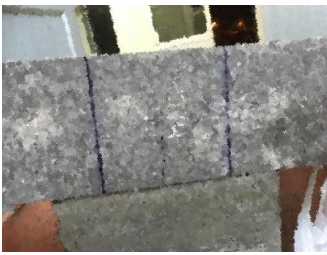


Gráfico



**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

**Tabla 43.** Ensayo de vigas elaboradas con agregado de Río Chambo y cemento GU.

ENSAYOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN A LOS 7 DÍAS			
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
Base 1 (cm)	15.40	15.30	15.20
Base 2 (cm)	15.30	15.30	15.10
Base 3 (cm)	15.30	15.20	15.00
Altura 1 (cm)	15.00	15.00	14.80
Altura 2 (cm)	15.00	15.00	14.80
Altura 3 (cm)	15.00	15.00	14.70
Carga (kN)	19.87	19.24	17.67
Tipo de falla	Tercio Medio	Tercio Medio	Tercio Medio
Gráfico			

ENSAYOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN A LOS 14 DÍAS			
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
Base 1 (cm)	15.30	15.10	15.30
Base 2 (cm)	15.10	15.10	15.20
Base 3 (cm)	15.10	15.20	15.10
Altura 1 (cm)	15.10	15.00	14.90
Altura 2 (cm)	15.20	15.00	15.00
Altura 3 (cm)	15.20	14.90	15.00
Carga (kN)	21.16	21.45	21.95
Tipo de falla	Tercio Medio	Tercio Medio	Tercio Medio
Gráfico			

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

## Anexo 12. Análisis porcentaje de porosidad.

**Tabla 44.** Porosidad en hormigón elaborado con agregado Cerro Negro y cemento IP.

Descripción		Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
A	Masa de muestra seca al horno	g	835	823	904
B	Masa de muestra SSS	g	929	916	995
C	Masa de muestra SSS después de ebullición	g	930	918	998
D	Masa sumergida aparente después de ebullición	g	524	517	598
g1	Densidad global (bruta) seca	g/cm <sup>3</sup>	2.06	2.05	2.26
g2	Densidad aparente	g/cm <sup>3</sup>	2.68	2.69	2.95
$\gamma$	Densidad del agua	g/cm <sup>3</sup>	1.00	1.00	1.00
% P	Porosidad	%	23.40	23.69	23.50

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

**Tabla 45.** Porosidad en hormigón elaborado con agregado Río Chambo y cemento IP.

Descripción		Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
A	Masa de muestra seca al horno	g	854	802	804
B	Masa de muestra SSS	g	930	866	877
C	Masa de muestra SSS después de ebullición	g	932	867	878
D	Masa sumergida aparente después de ebullición	g	539	507	517
g1	Densidad global (bruta) seca	g/cm <sup>3</sup>	2.17	2.23	2.23
g2	Densidad aparente	g/cm <sup>3</sup>	2.71	2.72	2.80
$\gamma$	Densidad del agua	g/cm <sup>3</sup>	1.00	1.00	1.00
% P	Porosidad	%	19.85	18.06	20.50

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

**Tabla 46.** Porosidad en hormigón elaborado con agregado Cerro Negro y cemento GU.

Descripción		Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
A	Masa de muestra seca al horno	g	857	879	894
B	Masa de muestra SSS	g	944	968	977
C	Masa de muestra SSS después de ebullición	g	946	972	981
D	Masa sumergida aparente después de ebullición	g	532	548	563
g1	Densidad global (bruta) seca	g/cm <sup>3</sup>	2.07	2.07	2.14
g2	Densidad aparente	g/cm <sup>3</sup>	2.64	2.66	2.70
$\gamma$	Densidad del agua	g/cm <sup>3</sup>	1.00	1.00	1.00
% P	Porosidad	%	21.50	21.93	20.81

**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

**Tabla 47.** Porosidad en hormigón elaborado con agregado Río Chambo y cemento GU.

	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>
A	Masa de muestra seca al horno	g	856	917	1016
B	Masa de muestra SSS	g	924	981	1090
C	Masa de muestra SSS después de ebullición	g	925	983	1092
D	Masa sumergida aparente después de ebullición	g	546	604	633
g1	Densidad global (bruta) seca	g/cm <sup>3</sup>	2.26	2.42	2.21
g2	Densidad aparente	g/cm <sup>3</sup>	2.76	2.93	2.65
$\gamma$	Densidad del agua	g/cm <sup>3</sup>	1.00	1.00	1.00
% P	Porosidad	%	18.21	17.41	16.56

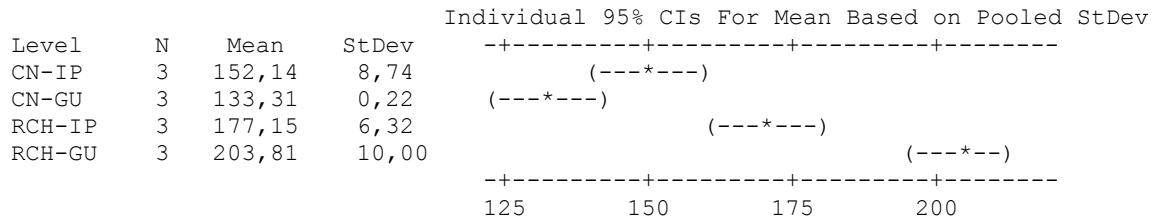
**Elaborado por:** Calvopiña E. Omar G. & Cubiña C. Pablo F.

**Anexo 13.** Análisis estadístico (ANOVA) de resistencias a compresión, resistencias a flexión y porcentaje de porosidad.

**One-way ANOVA: Compresión 7 días versus C1**

Source	DF	SS	MS	F	P
C1	3	8439,6	2813,2	51,99	0,000
Error	8	432,9	54,1		
Total	11	8872,5			

S = 7,356 R-Sq = 95,12% R-Sq(adj) = 93,29%



Pooled StDev = 7,36

Grouping Information Using Tukey Method

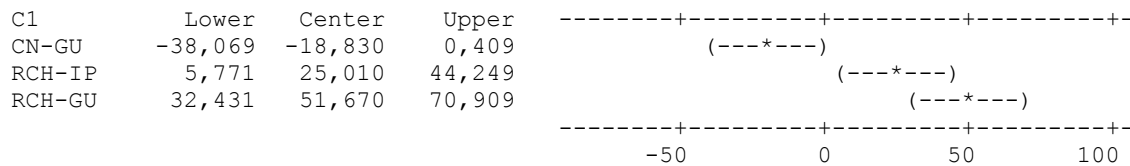
C1	N	Mean	Grouping
RCH-GU	3	203,807	A
RCH-IP	3	177,147	B
CN-IP	3	152,137	C
CN-GU	3	133,307	C

Means that do not share a letter are significantly different.

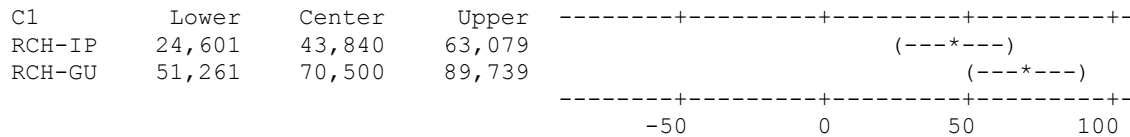
Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals  
All Pairwise Comparisons among Levels of C1

Individual confidence level = 98,74%

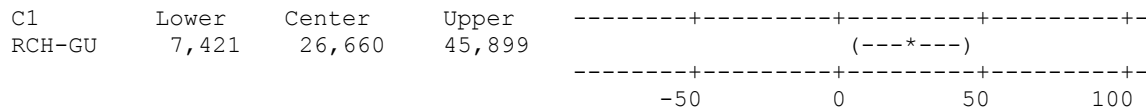
C1 = CN-IP subtracted from:



C1 = CN-GU subtracted from:



C1 = RCH-IP subtracted from:



## One-way ANOVA: Flexión 7 días versus C1

Source	DF	SS	MS	F	P
C1	3	80,797	26,932	27,21	0,000
Error	8	7,920	0,990		
Total	11	88,716			

S = 0,9950 R-Sq = 91,07% R-Sq(adj) = 87,73%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev			
CN-IP	3	20,270	0,548	-----+-----+-----+-----+-----+-----			
CN-GU	3	19,843	0,993	(----*----)			
RCH-IP	3	24,820	1,361	(----*----)			
RCH-GU	3	25,597	0,905	(----*----)			
				-----+-----+-----+-----+-----+-----			
				20,0	22,5	25,0	27,5

Pooled StDev = 0,995

### Grouping Information Using Tukey Method

C1	N	Mean	Grouping
RCH-GU	3	25,5967	A
RCH-IP	3	24,8200	A
CN-IP	3	20,2700	B
CN-GU	3	19,8433	B

Means that do not share a letter are significantly different.

### Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals All Pairwise Comparisons among Levels of C1

Individual confidence level = 98,74%

C1 = CN-IP subtracted from:

C1	Lower	Center	Upper	-----+-----+-----+-----+-----+-----			
CN-GU	-3,0289	-0,4267	2,1755	(----*----)			
RCH-IP	1,9478	4,5500	7,1522	(----*----)			
RCH-GU	2,7245	5,3267	7,9289	(----*----)			
				-----+-----+-----+-----+-----+-----			
				-5,0	0,0	5,0	10,0

C1 = CN-GU subtracted from:

C1	Lower	Center	Upper	-----+-----+-----+-----+-----+-----			
RCH-IP	2,3745	4,9767	7,5789	(----*----)			
RCH-GU	3,1511	5,7533	8,3555	(----*----)			
				-----+-----+-----+-----+-----+-----			
				-5,0	0,0	5,0	10,0

C1 = RCH-IP subtracted from:

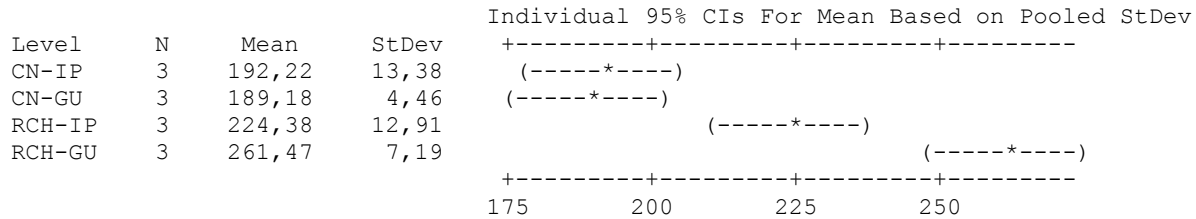
C1	Lower	Center	Upper	-----+-----+-----+-----+-----+-----			
RCH-GU	-1,8255	0,7767	3,3789	(----*----)			
				-----+-----+-----+-----+-----+-----			
				-5,0	0,0	5,0	10,0



## One-way ANOVA: Compresión 14 días versus C1

Source	DF	SS	MS	F	P
C1	3	10259	3420	32,77	0,000
Error	8	835	104		
Total	11	11094			

S = 10,22 R-Sq = 92,47% R-Sq(adj) = 89,65%



### Grouping Information Using Tukey Method

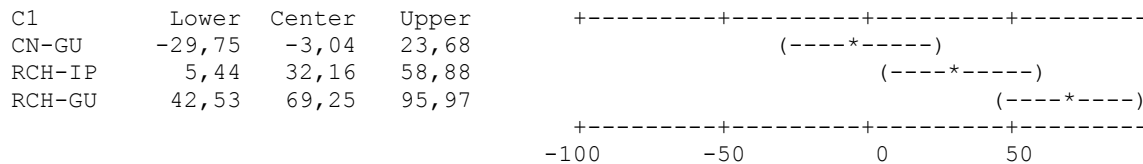
C1	N	Mean	Grouping
RCH-GU	3	261,47	A
RCH-IP	3	224,38	B
CN-IP	3	192,22	C
CN-GU	3	189,18	C

Means that do not share a letter are significantly different.

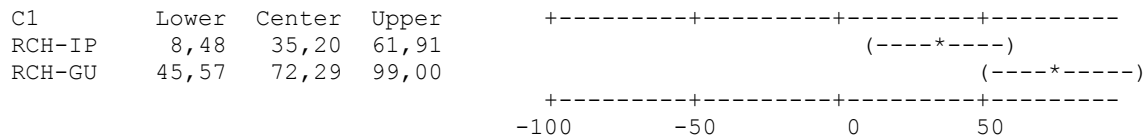
### Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals All Pairwise Comparisons among Levels of C1

Individual confidence level = 98,74%

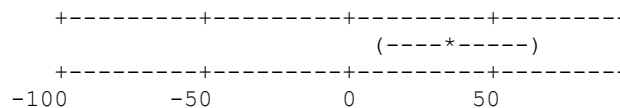
C1 = CN-IP subtracted from:



C1 = CN-GU subtracted from:



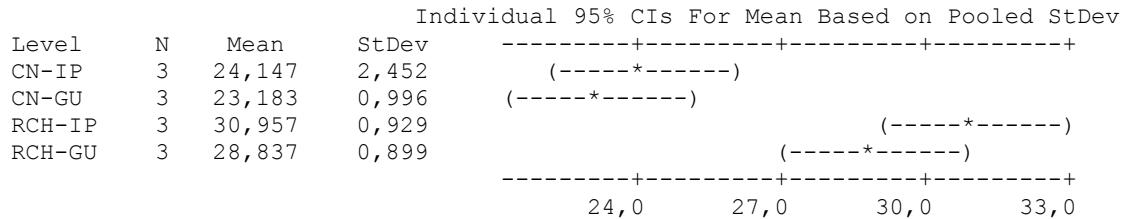
C1 = RCH-IP subtracted from:



## One-way ANOVA: Flexión 14 días versus C1

Source	DF	SS	MS	F	P
C1	3	124,63	41,54	19,15	0,001
Error	8	17,35	2,17		
Total	11	141,99			

S = 1,473    R-Sq = 87,78%    R-Sq(adj) = 83,20%



### Grouping Information Using Tukey Method

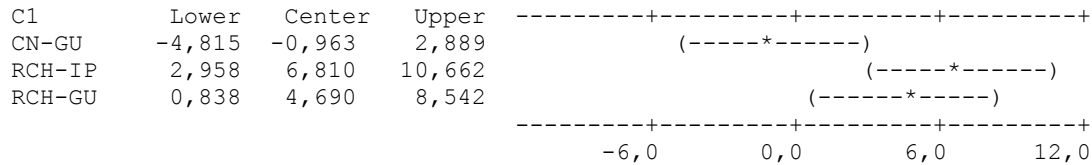
C1	N	Mean	Grouping
RCH-IP	3	30,957	A
RCH-GU	3	28,837	A
CN-IP	3	24,147	B
CN-GU	3	23,183	B

Means that do not share a letter are significantly different.

### Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals All Pairwise Comparisons among Levels of C1

Individual confidence level = 98,74%

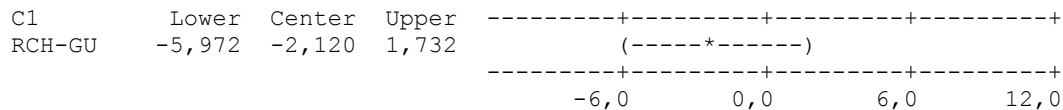
C1 = CN-IP subtracted from:



C1 = CN-GU subtracted from:



C1 = RCH-IP subtracted from:



## One-way ANOVA: Porosidad 14 días versus C1

Source	DF	SS	MS	F	P
C1	3	62,058	20,686	31,64	0,000
Error	8	5,230	0,654		
Total	11	67,288			

S = 0,8085    R-Sq = 92,23%    R-Sq(adj) = 89,31%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
CN-IP	3	23,530	0,147	(----*----)
CN-GU	3	21,397	0,562	(----*----)
RCH-IP	3	19,470	1,264	(----*----)
RCH-GU	3	17,393	0,825	(----*----)

-----+-----+-----+-----+-----  
17,5      20,0      22,5      25,0

Pooled StDev = 0,809

Grouping Information Using Tukey Method

C1	N	Mean	Grouping
CN-IP	3	23,5300	A
CN-GU	3	21,3967	B
RCH-IP	3	19,4700	B C
RCH-GU	3	17,3933	C

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals  
All Pairwise Comparisons among Levels of C1

Individual confidence level = 98,74%

C1 = CN-IP subtracted from:

C1	Lower	Center	Upper	
CN-GU	-4,2480	-2,1333	-0,0187	(----*----)
RCH-IP	-6,1747	-4,0600	-1,9453	(----*----)
RCH-GU	-8,2513	-6,1367	-4,0220	(----*----)

-----+-----+-----+-----+-----  
-8,0      -4,0      0,0      4,0

C1 = CN-GU subtracted from:

C1	Lower	Center	Upper	
RCH-IP	-4,0413	-1,9267	0,1880	(----*----)
RCH-GU	-6,1180	-4,0033	-1,8887	(----*----)

-----+-----+-----+-----+-----  
-8,0      -4,0      0,0      4,0

C1 = RCH-IP subtracted from:

C1	Lower	Center	Upper	
RCH-GU	-4,1913	-2,0767	0,0380	(----*----)

-----+-----+-----+-----+-----  
-8,0      -4,0      0,0      4,0