



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**ELABORACIÓN DE AGREGADOS CON BARITA PARA EL  
DISEÑO DE CONCRETOS DE ALTA DENSIDAD QUE ATENÚEN  
LOS RAYOS IONIZANTES**

**PRESENTADA POR  
UGO ALEJANDRO MIÑANO MAIRATA  
CARLOS AURELIO PATIÑO URCO**

**TESIS  
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**LIMA – PERÚ**

**2015**



**Reconocimiento - No comercial - Sin obra derivada**

**CC BY-NC-ND**

El autor sólo permite que se pueda descargar esta obra y compartirla con otras personas, siempre que se reconozca su autoría, pero no se puede cambiar de ninguna manera ni se puede utilizar comercialmente.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



**USMP**  
UNIVERSIDAD DE  
SAN MARTIN DE PORRES

**FACULTAD DE  
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**ELABORACIÓN DE AGREGADOS CON BARITA PARA EL  
DISEÑO DE CONCRETOS DE ALTA DENSIDAD QUE  
ATENÚEN LOS RAYOS IONIZANTES**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR**

**MIÑANO MAIRATA, UGO ALEJANDRO**

**PATIÑO URCO, CARLOS AURELIO**

**LIMA - PERÚ**

**2015**

## **DEDICATORIA.**

Agradezco a Dios, por darme esta oportunidad.

A mi esposa, por dedicarme todo su esfuerzo y paciencia.

A mis tesoros, que me dieron un ejemplo de dedicación y esmero profesional. A Camila, que siempre está presente.

A mi madre, que tenía una promesa pendiente con ella.

A mi hermano, agradecerle por su apoyo incondicional.

A mis asesores, que con su valiosa experiencia y profesionalismo me brindaron todo su apoyo.

Carlos Patiño Urco

Dedico este trabajo, a Dios que me brinda muchas oportunidades para ser cada día mejor.

A mis amados padres, Hugo César y Rocío Del Pilar, por la paciencia, apoyo y confianza que me otorgaron a lo largo de mi carrera universitaria.

A mis entrañables abuelos, Teresita, Alejandro, quienes me abrieron las puertas de su hogar y me trataron como a un hijo.

A mi hermana, Alicia, mi pequeña compañera en las travesuras desde pequeños, A mi bella esposa, Jhoanna, que desde que estamos juntos me ha dado todo su apoyo incondicional para seguir adelante.

Ugo Alejandro Miñano Mairata

## **Agradecimiento**

Un agradecimiento singular a los ingenieros Carlos Magno Chavarry Vallejos y Alexis Samohod Romero que, como asesores de esta tesis, nos han orientado ,apoyado y corregido en nuestra labor científica, con un interés y una entrega que han sobrepasado, en creces, todas nuestras expectativas.

## ÍNDICE

|  | Página     |
|--|------------|
| <b>RESUMEN</b>                               | <b>xv</b>  |
| <b>INTRODUCCIÓN</b>                          | <b>xix</b> |
| <b>CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> | <b>1</b>   |
| 1.1 <i>Antecedentes</i>                      | 1          |
| 1.2 <i>Planteamiento del problema</i>        | 2          |
| 1.3 <i>Objetivos</i>                         | 3          |
| 1.4 <i>Justificación e importancia</i>       | 3          |
| 1.5 <i>Alcances y limitación</i>             | 3          |
| 1.6 <i>Viabilidad</i>                        | 4          |
| <b>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO</b>             | <b>6</b>   |
| 2.1 <i>Antecedentes de la investigación</i>  | 6          |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.2 Bases teóricas                                 | 8         |
| 2.3 Marco conceptual                               | 13        |
| 2.4 Hipótesis                                      | 17        |
| <b>CAPÍTULO III METODOLOGÍA</b>                    | <b>18</b> |
| 3.1 Tipo de investigación                          | 18        |
| 3.2 Nivel de investigación                         | 18        |
| 3.3 Diseño de investigación                        | 18        |
| 3.4 Variables                                      | 19        |
| 3.5 Factores                                       | 21        |
| 3.6 Caso de la investigación                       | 24        |
| 3.7 Técnicas de investigación                      | 24        |
| 3.8 Instrumentos de recolección de datos           | 32        |
| <b>CAPÍTULO IV PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS</b>  | <b>42</b> |
| 4.1 Contrastación de hipótesis                     | 42        |
| 4.2 Análisis e interpretación de la investigación  | 44        |
| 4.3 Resultados de exposición de fuentes ionizantes | 77        |
| <b>CAPÍTULO V DISCUSIONES</b>                      | <b>79</b> |
| 5.1 Discusión                                      | 79        |
| <b>CONCLUSIONES</b>                                | <b>81</b> |
| <b>RECOMENDACIONES</b>                             | <b>82</b> |



**FUENTES DE INFORMACIÓN** **83**

**ANEXOS.** **85**

## LISTADO DE GRÁFICOS

|   |    |
|---|----|
| Gráfico 1: Relación entre variables e indicadores   | 16 |
| Gráfico 2: Directrices del diseño experimental.   | 23 |
| Gráfico 3: Resumen de promedios de los husos 5,8 y 67                                       | 47 |
| Gráfico 4: Resumen de promedios pesos volumétricos de combinaciones de huso 5 y huso 67     | 49 |
| Gráfico 5: Resumen de los pesos volumétricos de las combinaciones entre el huso 8 - huso 67 | 51 |
| Gráfico 6: Resumen de los pesos volumétricos promedios de huso 5 - huso 8                   | 53 |
| Gráfico 7: Promedio de los pesos unitarios de los husos 5,67 y 8 de bario                   | 56 |
| Gráfico 8: Resumen de pesos volumétricos huso 5- huso 67 de bario                           | 59 |
| Gráfico 9: Pesos volumétricos de diferentes proporciones huso 8 – huso 67 de bario          | 61 |

|  |    |
|--|----|
| Gráfico 10: Pesos volumétricos promedios de diferentes proporciones entre huso 5 - huso 8 de bario               | 64 |
| Gráfico 11: Resumen de pesos volumétricos promedios de diferentes proporciones entre los husos 5,67 y 8 de bario | 65 |

## LISTADO DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1: Operacionalización de variables                    | 19 |
| Tabla 2: Factores controlables e incontrolables             | 22 |
| Tabla 3: Porcentaje de pasantes en el huso 67               | 32 |
| Tabla 4: Curva granulométrica del huso 67                   | 33 |
| Tabla 5: Porcentaje de pasante del huso 8                   | 34 |
| Tabla 6: Curva granulométrica del huso 8                    | 35 |
| Tabla 7: Porcentaje de pasante del huso 5                   | 36 |
| Tabla 8: Curva granulométrica del huso 5                    | 37 |
| Tabla 9: Porcentaje de pasante de arena de bario            | 38 |
| Tabla 10: Curva granulométrica de la arena de bario         | 39 |
| Tabla 11: Cuadro de pesos unitarios de los diferentes husos | 40 |
| Tabla 12: Cuadro de mezclas entre los husos 5,8 y 67        | 40 |
| Tabla 13: Cálculo de densidades                             | 41 |
| Tabla 14: Diseño de mezclas de concreto                     | 41 |

## LISTADO DE CUADROS

|   |    |
|---|----|
| Cuadro 1: Pesos unitarios y volumétricos de huso 5  | 45 |
| Cuadro 2: Pesos unitarios y volumétricos del huso 67 convencional                               | 45 |
| Cuadro 3: Pesos unitarios y volumétricos del huso 8   | 46 |
| Cuadro 4: Resumen de promedios de pesos unitarios y volumétricos de los husos 5,8 y 67          | 46 |
| Cuadro 5: Primera combinación de husos 5(40%)-67(60%)   | 47 |
| Cuadro 6: Segunda combinación de huso 5 - huso 67   | 48 |
| Cuadro 7: Tercera combinación de huso 5(60%) - 67(40%)  | 48 |
| Cuadro 8: Resumen de promedios de pesos unitarios y volumétricos de combinación huso 5- huso 67 | 49 |
| Cuadro 9: Primera combinación de husos 8 (40%)- 67(60%)   | 50 |
| Cuadro 10: Segunda combinación huso 8(50%)- huso 67 (50%)                                       | 50 |
| Cuadro 11: Tercera combinación huso 8(60%)- huso 67(40%)  | 51 |
| Cuadro 12: Resumen de pesos unitarios y volumétricos en combinaciones de huso 8 - huso 67       | 51 |

|  |    |
|--|----|
| Cuadro 13: Primera combinación huso 5(40%) - Huso 8(60%)   | 52 |
| Cuadro 14: Segunda combinación del huso 5(50%)-huso 8(50%)   | 52 |
| Cuadro 15: Tercera combinación del huso 5(60%)- huso 8(40%)  | 53 |
| Cuadro 16: Resumen de los promedios de los pesos unitarios y volumétricos de la combinación huso 5- huso 8 | 53 |
| Cuadro 17: Resumen de los pesos volumétricos promedios de combinaciones entre husos 5,8 y 67               | 54 |
| Cuadro 18: Pesos unitarios del huso 5 de bario   | 55 |
| Cuadro 19: Pesos unitarios y volumétricos del huso 67 de bario   | 55 |
| Cuadro 20: Pesos unitarios y volumétricos del huso 8 de bario  | 56 |
| Cuadro 21: Promedio de los pesos unitarios de los husos 5,67 y 8   | 56 |
| Cuadro 22: Primera combinación huso 5(40%)- huso 67(60%) de bario  | 57 |
| Cuadro 23: Segunda combinación huso 5(50%) - huso 67(50%) de bario   | 58 |
| Cuadro 24: Tercera combinación huso 5(60%)- huso 67(40%) de bario  | 58 |
| Cuadro 25: Resumen de promedios huso 5- huso 67 de bario   | 59 |
| Cuadro 26: Primera combinación huso 8 - huso 67 de bario   | 59 |
| Cuadro 27: Segunda combinación huso 8- huso 67 de bario  | 60 |
| Cuadro 28: Tercera combinación del huso 8(40%)- huso 67(60%) de bario                                      | 60 |
| Cuadro 29: Resumen de promedios de huso 8 - huso 67 de bario   | 61 |
| Cuadro 30: Primera combinación huso 5 - huso 8 de bario  | 62 |
| Cuadro 31: Segunda combinación huso 5 - huso 8 de bario  | 63 |
| Cuadro 32: Tercera combinación huso 5 - huso 8 de bario  | 63 |
| Cuadro 33: Resumen de promedios combinación de huso 5 - huso 8 de bario                                    | 63 |

|   |    |
|---|----|
| Cuadro 34: Resumen de pesos volumétricos promedios de diferentes proporciones entre los husos 5,6 y 67 de bario | 64 |
| Cuadro 35: Peso unitario de agregado fino de bario  | 65 |
| Cuadro 36: Características físicas del agregado grueso de bario - huso 5 (50%) - huso 67 (50%)                  | 66 |
| Cuadro 37: Características físicas del agregado fino de bario   | 66 |
| Cuadro 38: Peso unitario agregado global de bario   | 70 |
| Cuadro 39: Peso unitario de concreto fresco convencional  | 71 |
| Cuadro 40: Peso unitario de concreto fresco de alta densidad  | 71 |
| Cuadro 41: Comparativo entre testigos de concreto de alta densidad y el concreto convencional                   | 71 |
| Cuadro 42: Resistencia del concreto de alta densidad obtenido a los 7, 14, 21 y 28 días                         | 72 |
| Cuadro 43: Pesos de agregado grueso convencional  | 72 |
| Cuadro 44: Humedad de agregado grueso convencional  | 73 |
| Cuadro 45 : Absorción de agregado grueso convencional   | 73 |
| Cuadro 46: Peso de agregado fino convencional   | 73 |
| Cuadro 47: Contenido de humedad agregado fino convencional  | 74 |
| Cuadro 48: Absorción de agregado fino convencional  | 74 |
| Cuadro 49: Absorción del agregado Fino convencional.  | 74 |
| Cuadro 50: Pesos del agregado grueso de bario.  | 74 |
| Cuadro 51: Contenido de humedad de agregado grueso de Bario ASTM C-566.   | 75 |
| Cuadro 52: Absorción del agregado grueso de Bario   | 75 |

|  |    |
|--|----|
| Cuadro 53: Contenido de humedad de agregado fino de Bario ASTM C-70.               | 75 |
| Cuadro 54: Absorción del agregado fino de Bario.                                   | 75 |
| Cuadro 55: Absorción del agregado fino de Bario                                    | 76 |
| Cuadro 56: Resumen de la resistencia a la compresión del concreto y el mortero     | 76 |
| Cuadro 57: Exposición a fuentes ionizantes de placas de concreto convencional.     | 77 |
| Cuadro 58: Exposición a fuentes ionizantes de placas de concreto de alta densidad. | 77 |



## RESUMEN

El trabajo de investigación denominado *Elaboración de agregados con Barita para el diseño de concretos de alta densidad que atenúen los rayos ionizantes* consistió en un diseño de investigación experimental, prospectiva, de corte transversal y un nivel de investigación tipo descriptivo. El objetivo es elaborar un diseño de concreto de alta densidad empleando como materia prima la roca de baritina, cuya característica es su elevada densidad; que permite atenuar el paso de los rayos ionizantes. Se aplicaron diversos ensayos y análisis de las características físicas del mineral de bario, para hallar el porcentaje de humedad, absorción, granulometría y densidad del agregado que se empleó para el diseño del concreto de alta densidad. Finalmente, la investigación determina que sí existe una atenuación considerablemente mayor a los rayos ionizantes, debido a que se está empleando, en su integridad, los agregados de bario, tanto arena gruesa como fina; también se concluye que la roca de bario, además de pasar la prueba de abrasión Los Ángeles dentro de lo normado, se obtuvo concretos estructurales, hasta 331.65 kg/cm<sup>2</sup>, con un diseño de mezcla calculado para 210 kg/cm<sup>2</sup>, a los 28 días de curado.

**Palabras Claves:**

Barita – Concretos de Alta Densidad – Rayos Ionizantes.

## **ABSTRACT**

The research project called Development of aggregates with barite concrete design for high density attenuate ionizing radiation consisted of an experimental research design, prospective, cross-sectional and descriptive level research. The aim is to develop a concrete design using high density rock as raw material barite, which is characterized by its high density; which attenuates the passage of ionizing radiation. Various tests and analysis of the physical characteristics of mineral barium were applied to find the percentage of moisture absorption, particle size and density of the aggregate that was used for the design of high-density concrete. Finally, the investigation determines that there is indeed considerably higher than ionizing radiation attenuation, because it is being used, in its entirety, barium aggregates both coarse sand and fine; also it concludes that the rock barium, in addition to passing the abrasion test Los Angeles within the rules set forth, was obtained structural concrete, to 331.65 kg / cm<sup>2</sup> with a mix design calculated to 210 kg / cm<sup>2</sup>, at 28 days curing.

Keywords:

Barite - Concrete High Density - Ionizing Rays.

## INTRODUCCIÓN

El presente tema de investigación se refiere a la elaboración de agregados con barita para el diseño de un concreto de alta densidad que atenúen los rayos ionizantes; estos concretos son una propuesta de solución económica para la protección radiológica en las industrias donde se utilicen, sean estas de construcción, de salud o petroleras. En esta investigación, se presentan los procedimientos para la elaboración de agregados gruesos y finos, de cuyas combinaciones, en diferentes proporciones, se obtuvo el mayor peso unitario; este que de vital importancia para alcanzar el objetivo principal de nuestro estudio experimental, que es encontrar un concreto que maximice la atenuación de estos rayos, los cuales, causan graves daños a las personas que están expuestas a estos directa o indirectamente.

La investigación de esta problemática se realizó por el interés de mejorar y presentar una solución que sea más económica, más eficiente y que ayude a potenciar el espacio arquitectónico en los lugares que requieran este tipo de protección; otra finalidad, no menos importante, y que es la que motiva, implícitamente, esta investigación, es la protección radiológica de las personas que trabajan directamente o indirectamente con estos rayos en diferentes sectores industriales.

En el marco metodológico la investigación se aplicó, desarrollando diferentes ensayos de laboratorio para determinar si el mineral de barita es un agregado adecuado para el empleo en la fabricación de concreto (prueba de abrasión Los Ángeles); también se realizaron otros ensayos como son: Le Chatelier, Prueba de resistencia a la compresión y análisis granulométricos para obtener la densidad, el  $F_c$  y un máximo peso unitario, respectivamente. Los resultados obtenidos se presentarán mediante cuadros y diagramas estadísticos básicos. Luego se presentó una breve descripción del contenido de la tesis para orientar al lector con respecto a lo que se desarrolló en cada capítulo.

En el primer capítulo, se desarrollan la problemática de la investigación, los objetivos a los que se pretende llegar en este y la viabilidad que se tiene para la puesta en marcha de la investigación. En el segundo, se representa toda la base teórica que sustenta la investigación y que brinda un conocimiento adecuado al lector para que tengan un mejor entendimiento en los capítulos posteriores. En el tercero, el lector podrá obtener información metodológica de la investigación; esto quiere decir que se presentó qué tipo, nivel y diseño tiene la siguiente tesis, así como, el tipo de variables, indicadores y factores que se encontraron. También, se presentó el desarrollo y los procedimientos seguidos en los que se ejecutaron los ensayos en los laboratorios de materiales de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la USMP (FIA) y del Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas (INEN).

En el capítulo cuarto, se presentan los resultados, la contrastación de las hipótesis y el análisis e interpretación de la investigación y en el quinto, se presentaron las discusiones, conclusiones y recomendaciones que se obtiene del análisis de los resultados de la investigación.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1 Antecedentes**

En el año 2003, se aprobó la ley de regulación de fuentes ionizantes – Ley 28028 – 2003 (Diario Oficial El Peruano, 2003).

D.S. Nro. 039-2008-EM se dio su reglamento. (Diario Oficial El Peruano., 2008).

A partir de estos dispositivos legales se dieron las normativas técnicas IR.2003.2013 “Requisitos de protección radiológica en diagnóstico médico con rayos X”; (Peruano., 2013).

Así como la norma técnica IR.002.2012 “Requisitos de protección radiológica y seguridad en medicina nuclear”. (Peruano, 2012).

En ellas se indica que todas las entidades públicas y privadas deberían tener ciertos límites de atenuación ante la exposición de fuentes ionizantes.

Por ello, se requiere blindar el área donde se ubiquen estos equipos para prevenir el daño que puedan causar tanto a los pacientes como a los técnicos que operan los equipos. Además, se utilizan materiales de alta densidad como el plomo o materiales que cumplan los límites permisibles reglamentados en las leyes y normativas técnicas nombradas.

Es así como las clínicas y hospitales que tengan equipos de rayos x, tomógrafos, mamógrafos o cualquier fuente ionizante debería de cumplir con

lo normado para prevenir enfermedades pre ocupacionales en los técnicos que operan estos equipos y prevenir de esta exposición a personas sensibles (caso de personas con algún tumor maligno), mujeres embarazadas y que a la exposición de una fuente de rayo ionizante dañe cualquier tipo de células.

## **1.2 Planteamiento del problema**

### **1.2.1 Formulación del problema**

¿Cómo diseñar un concreto de alta densidad que incremente la atenuación de rayos ionizantes?

### **1.2.2 Problemas específicos:**

¿Cómo obtener a partir de la roca de baritina; los agregados grueso y fino que permitan elaborar un diseño óptimo de concreto de alta densidad?

¿Cómo obtener el agregado grueso y el agregado fino con el mineral de baritina, que cumpla las normas que le permitan estar dentro del rango de una curva granulométrica que corresponda al diseño óptimo de un concreto de alta densidad?

¿Cómo obtener la roca de bario, que tenga las propiedades óptimas para su uso en la construcción como los límites mínimos permisibles tanto en la prueba de los ángeles y los límites de sales permisibles.

¿Cómo obtener un concreto de alta densidad con el huso controlado tanto del agregado grueso como el agregado fino elaborado con baritina?

¿Cómo obtener un concreto normal con todas las características técnicas de los agregados y, con ello, comparar su grado de atenuación con respecto a un concreto de alta densidad?



## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general:**

Realizar un diseño de concreto de alta densidad empleando como materia prima la roca de baritina, cuya característica es su elevada densidad; lo que permite atenuar el paso de los rayos ionizantes.

### **1.3.2 Objetivos específicos:**

- Obtener un agregado grueso y fino que tenga las características normadas dentro de una curva granulométrica.
- Obtener el agregado grueso y el agregado fino con el mineral de baritina y que cumpla las normas que le permitan estar dentro del rango de una curva granulométrica que corresponda al diseño de un concreto de alta densidad.
- Obtener la roca de bario que tenga como propiedades los parámetros de construcción como son los límites permisibles de la prueba de los ángeles y los límites de sales permisibles.
- Obtener un concreto de alta densidad con el uso controlado tanto del agregado grueso como el agregado fino elaborado con baritina.
- Obtener un concreto normal con todas las características técnicas de los agregados y con ello comparar su atenuación con respecto a un concreto de alta densidad.

## **1.4 Justificación e importancia**

El proceso de ionización causado por la radiación cambia átomos y moléculas y daña células de ese modo.

Al recibir una determinada dosis de radiación, la respuesta del organismo dependerá de la cantidad de radiación recibida pudiendo causar un daño y estar expuesto a un riesgo en el futuro. De allí su gran importancia en aumentar la atenuación con materiales de alta densidad.

## **1.5 Alcances y limitación**

El alcance de este estudio para el uso de concretos de alta densidad es para todos los lugares donde se originen fuentes ionizantes.

Los hospitales, clínicas, cualquier centro de salud, en general, todos aquellos lugares en donde se utilice elementos ionizantes (caso de la industria petrolera).

Las limitaciones del uso de concreto de alta densidad son solo para las áreas de fuentes ionizantes ya que tienen un costo mayor que un concreto convencional.

## **1.6 Viabilidad**

### **1.6.1 Viabilidad general**

En el Perú existe en toda la cordillera de los andes depósitos de mineral de baritina; por ello, es viable su abastecimiento como materia prima.

El proceso de triturado y zarandeo en la producción es con equipos que se encuentran en la industria peruana y de fácil acceso. Se puede tercerizar el proceso de trituración para obtener los agregados grueso y fino.

### **1.6.2 Tiempos**

El presente trabajo de investigación demanda bastante dedicación a los responsables de su desarrollo, ya que al ser un tema no muy conocido en el medio se han necesitado innumerables horas de lectura de diferentes textos especializados en este tema, así como, investigaciones realizadas con anterioridad. A esto, se le suma también, el tiempo que se ha necesitado para transportar la roca de bario de las canteras, realizar los ensayos de laboratorio y, posteriormente, producir los agregados grueso y fino para fabricar el concreto de alta resistencia.

### **1.6.3 Costos**

Los desarrolladores de esta tesis han hecho un esfuerzo considerable, en el área logística, para la realización de la presente investigación; tanto para el transporte de la roca de bario de las canteras como para los ensayos destinados a cubrir los estándares de mínimos de calidad (roca, agua y agregados) que se necesitan para la fabricación de un concreto de alta resistencia.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes de la investigación**

Un primer trabajo corresponde a (Raguay, 2013). En este trabajo se propone un hormigón de alta densidad con propiedades diferentes a los concretos tradicionales, cuya función es brindar protección en salas médicas donde se proyectan radiaciones ionizantes, que funciona con base en un mineral que proviene del bario llamada barita, al formarse un concreto barítico es fundamental el espesor de fundición de los muros para eliminar la contaminación radiológica en el área de aplicación. La investigación se enmarcó dentro de un proyecto factible. Por su parte, este trabajo se ha desarrollado, realizando diferentes ensayos en los diferentes materiales que se han utilizado para la elaboración de este concreto especial. El objetivo principal de este trabajo fue obtener un concreto con características especiales con el uso de la barita para mejorar protección contra los rayos ionizante en los lugares donde usamos estos.

Este trabajo se relaciona con la investigación en curso, ya que propone un incremento en la atenuación de los rayos ionizantes mediante el uso de concretos especiales y el uso de la barita.

Un segundo trabajo de (Gonzales, 2010) Se trata de un proyecto factible, apoyado por una investigación de campo, en el cual se realizaron ensayos experimentales, que se utilizaron para evaluar los materiales y usar los adecuados para la elaboración del concreto especial con barita. Este estudio demostró que el uso de la barita conjuntamente con concretos especiales protege adecuadamente de los rayos ionizantes por su alta densidad.

Este trabajo se relaciona con la presente investigación planteada, ya que muestra lo que la presente desea corroborar y mejorar bajo el mismo corte experimental que su predecesora.

Un tercer trabajo de (Prado., 2008), se trata de un proyecto especial, que, mediante ensayos de calidad, compresión y uso de aditivos se logra mejorar la resistencia a la compresión del concreto. El objetivo general del trabajo fue dotar de una mayor resistencia a un concreto normal con la aplicación de aditivos súper plastificantes y uso de baritina; Esto para disminuir la relación agua cemento y mejorar la densidad del agregado usado para la elaboración del concreto.

Este trabajo es pertinente con la investigación aquí planteada, ya que aborda la producción de un concreto alta densidad empleando agregados producidos con la roca de bario y el uso de aditivos como los súper plastificantes , esto nos amplía el horizonte de la investigación , teniendo en cuenta los aditivos presentes en el medio; todo esto ,para mejorar las características del concreto deseadas , incrementando así la atenuación de rayos ionizantes en hospitales, petroleras u otra industria donde se utilicen .Sobre este particular, se consideró de interés conocer la metodología los diferentes ensayos a contemplar para la mejora de las características del concreto para este uso. Así, se pone de manifiesto que el objetivo fundamental e implícito de la presente investigación es desarrollar un concreto de alta resistencia y densidad para proteger a los estudiantes,

personal de servicio y personas en general que laboran en hospitales, petroleras y otras industrias que por su trabajo no deberían estar expuestas a estos rayos, ya que producen serios daños a largo plazo.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Bario (Barium).** (Burga, 1995) *Diccionario Geológico – Lima*

El bario es un mineral blanco argénteo, amarillento. Es dúctil y difícil de fundir. Se oxida con mucha facilidad. Su color va de transparente al blanco, pasando por rosa pálido, plateado, azul, amarillo y rojo amarillento, dependiendo de las impurezas que contenga.

### **2.2.2 Descripción del bario.** (Energía., 1997)

Nombre de la roca, piedra o mineral barita .Del griego barys, que significa pesado, en alusión a su elevado peso específico.

El mineral barita, es un sulfato de bario ( $BaSO_4$ ), constituido principalmente por elemento bario (Ba), siendo la barita más pura aquella que tenga entre 65% de  $BaO$  y 35%  $SO_3$ .

Posee una densidad de 4.5, cristaliza en el sistema ortorrómbico y tiene una dureza en la escala de Mohs entre 2.5 a 3.5.

### **2.2.3 Propiedades**

El bario es un elemento químico de la tabla periódica cuyo símbolo es Ba y su número atómico es 56, metal alcalinotérreo; el bario es el 18° elemento más común, ocupando una parte de 2% de la corteza terrestre, su masa atómica es 137.34, su punto de fusión está a 725 °C, su punto de ebullición a 1,640°C y su densidad relativa es 3.5.

Es un elemento blando, plateado y altamente reactivo en donde se encuentra en un 0.04%; el elemento reacciona intensamente con el agua y se corroe rápidamente en aire húmedo de hecho es tan reactivo que solo

existe en la naturaleza como compuesto. Los compuestos de bario se obtienen de la minería y por conversión de dos minerales de bario.

#### **2.2.4 La barita.** (Burga, 1995) *Diccionario Geológico – Lima*

La baritina o barita, del griego barys pesado, palabra que también dio origen al bario, químicamente es el sulfato de bario, son cristales tabulares del sistema romboédrico, incoloro, amarillento, pesado, se forman en los filones hidrotermales, como ganga a baja temperatura asociado a sulfuros de plomo, plata y antimonio. Es mena del bario.

Se encuentra en la naturaleza como masas cristalinas de color blanco, verdosas, grisáceas o rojizas. La celestita ( $\text{SrSO}_4$ ) tiene la misma estructura de cristales que la barita y sus formas; los dos cristales no son distinguidos por métodos ordinarios, pero una prueba a la flama puede distinguirlos; al exponer el polvo de los cristales de fuego, el color de la llama confirmara la identidad del cristal, si esta es verde pálido es baritina, si es roja celestita.

#### **2.2.5 Principales usos.** (Raguay, 2013)

Los mayores volúmenes de uso se dan en la industria del petróleo, al otorgarle una mayor densidad a los lodos de perforación.

Además se utiliza en las siguientes ramas:

##### **Química**

Los usos de carbonato de bario, se clasifican como sigue, materia para la producción de otros compuestos de bario.

Medio de purificación para la eliminación de todos los sulfatos de soluciones acuosas.

Fundente en los trabajos cerámicos.

Ingrediente en la fabricación de vidrios ópticos y cristalería fina.

## **Medicina**

Como medio opaco se emplea en el examen tracto-gastrointestinal con rayos x para la reflexión de los intestinos y del estómago. Como relleno para yeso (ortopédico) y en algunos medicamentos, para extender el tiempo límite (caducidad).

## **Construcción**

Para la elaboración de concreto pesado.

## **Industria del papel**

Se utiliza como relleno de la cartulina blanca y el papel de recubrimiento, mejora la blancura y el porcentaje de cobertura.

## **Pinturas**

Finalmente molida, blanqueada y tratada como relleno se utiliza en pinturas para dar cuerpo al pigmento, controla la viscosidad de la pintura para hacer productos de color brillante y lograr buena estabilidad.

### **2.2.6 Radiaciones electromagnéticas (Raguay, 2013)**

En término general, la radiación es cualquier fenómeno que se propaga desde una fuente en todas las direcciones. La radiación electromagnética es una modalidad de propagación de energía a través del espacio y por lo tanto, una transmisión de energía desde el sistema que la produce hasta el sistema que la recibe.

La radiación electromagnética puede considerarse como una doble onda formada por los campos eléctricos y magnéticos que se encuentran en fase y cuyos planos de propagación son perpendiculares. Cuando estas radiaciones tienen energías expresadas en mega



electronvoltios, producen ionización del átomo, por lo que se les llama radiaciones ionizantes.

### **2.2.7 Ionización**

Cuando el átomo recibe un aporte de energía puede pasar a un estado excitado en donde los electrones son desplazados a orbitas más externas, es decir, ocupan niveles energéticos superiores. Pero si la energía es suficiente, puede separarse de él uno o varios electrones, entonces el átomo esta **ionizado**. Se forman dos iones donde el átomo tendrá carga positiva protón y el electrón carga negativa. La energía necesaria para arrancar un electrón se denomina energía o potencial de ionización y es característica de cada átomo.

### **2.2.8 Interacción de los rayos x con la materia. (Gonzales, 2010)**

La disminución de los fotones a la exposición de una fuente ionizante cuando penetra a un medio material se conoce como atenuación.

### **2.2.9 Magnitudes y unidades de radiación (Centro Superior de Estudios Nucleares, 2011)**

Las magnitudes a considerar son las dosimétricas: Exposición, kerma y dosis absorbida) y la de protección radiológica: dosis efectiva y dosis equivalente.

#### **2.2.9.1 Exposición**

Es la magnitud definida para un haz o campo de fotones y se define como el valor absoluto de la carga total de los iones de un mismo signo producidos en aire (dQ), cuando todos los electrones liberados por los fotones en una masa de aire (dm) son frenados completamente.

La unidad es el coulomb/kilogramo (C/kg).

$$X = dQ/dm$$

### 2.2.9.2 Kerma

Se define como el coeficiente  $dE/dm$ ; donde  $dE$  es igual a la suma de todas las energías cinéticas de todas las partículas ionizantes cargadas, liberadas por partículas no cargadas en una masa de materia ( $dm$ )

$$K = dE/dm$$

La unidad es el joule por kilogramo (J/Kg), recibe el nombre de gray (Gy).

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$$

### 2.2.9.3 Dosis absorbida

La dosis absorbida ( $D$ ) es la energía media impartida ( $d\tilde{E}/dm$ ) por la radiación ionizante en un volumen elemental de materia, siendo ( $dm$ ) la masa de este volumen elemental.

La unidad es el joule por kilogramo (J/Kg), recibe el nombre de gray (Gy).

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$$

La dosis absorbida por unidad de tiempo es llamada tasa de dosis absorbida: Gy/h.

### 2.2.9.4 Dosis equivalente

La probabilidad de causar efectos estocásticos depende no solo de la dosis absorbida, sino también del tipo y energía de la radiación causante de dicha dosis. Este hecho se tiene en cuenta al ponderar la dosis absorbida por un factor relacionado con la calidad de la radiación. La dosis absorbida así modificada se denomina Dosis equivalente ( $H$ ), teniendo las mismas unidades que la dosis absorbida, pero no en magnitud.

La unidad de dosis equivalente es **sievert** (Sv)

### 2.2.9.5 Dosis efectiva

Algunas partes del cuerpo son más sensibles a la radiación que otras, por tanto, al evaluar los efectos estocásticos globales debe considerarse una ponderación específica para cada tejido u órgano.

Por ello se define la dosis efectiva  $\epsilon$  como la suma ponderada de las dosis equivalentes recibidas en los distintos tejidos u órganos del cuerpo.

## **2.2.10 Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes.**

### **2.2.10.1 Relaciones dosis – respuesta**

La Radiobiología es una ciencia que busca establecer las relaciones entre las dosis de radiación y la respuesta del organismo. Una relación dosis-respuesta es simplemente una relación matemática o grafica entre niveles graduales de dosis de radiación y la magnitud de la respuesta observada. En medicina, las relaciones de dosis-respuesta tienen dos aplicaciones importantes. En primer lugar, las relaciones determinadas experimentalmente son usadas para diseñar los tratamientos rutinarios con fines de terapia para pacientes que sufren de enfermedades malignas y en segundo lugar los estudios de radiobiología han sido diseñados para proporcionar información sobre los efectos de irradiación a bajas dosis.

Estos estudios y las relaciones de respuesta-dosis son la base para las actividades reguladoras y son de particular significado en la radiología diagnóstica.

## **2.3 Marco conceptual**

**Densidad de la roca de bario (Baritina).** La densidad que tenga la roca es fundamental para atenuar los efectos de los rayos ionizantes; esto es, ya al ser el material más denso impide el paso de un porcentaje considerable de los rayos ionizantes.

**Granulometría obtenida de la roca de bario.** La granulometría de los agregados obtenidos de la roca de bario es fundamental para obtener un concreto de alta resistencia con un peso unitario elevado. (Norma ASTM C 136).

**Límites permisibles de sales en roca de bario.** Al tener los límites permisibles de sales en los agregados se podrá controlar una buena calidad del concreto.

**El cemento a utilizar para la fabricación del concreto de alta densidad.** Las características del cemento es de gran importancia en la fabricación del concreto de alta resistencia.

**Relación agua/cemento.** Es la variable que nos permite obtener la mayor trabajabilidad y del concreto fresco y controlar la resistencia del concreto.

**El grado de atenuación del concreto.** Mediante la dosimetría podremos medir el grado de atenuación o absorción del concreto de rayos ionizantes.

**Resistencia del concreto.** Existe una correlación directamente proporcional entre la densidad del concreto y su resistencia.

**Rayos ionizantes. (OMS Noviembre, 2012).** La radiación ionizante es un tipo de energía liberada por los átomos en forma de ondas electromagnéticas (rayos gamma o rayos X) o partículas (partículas alfa y beta o neutrones). La desintegración espontánea de los átomos se denomina radiactividad, y la energía excedente emitida es una forma de radiación ionizante. Los elementos inestables que se desintegran y emiten radiación ionizante se denominan radionúclidos. Cada radionúclido se caracteriza por el tipo de radiación que emite, la energía de la radiación y su semivida. La actividad, utilizada como medida de la cantidad de un radionúclido, se expresa en una unidad llamada becquerel (Bq): un becquerel corresponde a una desintegración por segundo. La semivida es el tiempo necesario para que la actividad de un radionúclido disminuya por la desintegración a la mitad de su valor inicial. La semivida de un elemento radiactivo es el tiempo que tarda la mitad de sus átomos en desintegrarse, y puede variar desde una fracción de segundo a millones de años (por

ejemplo, el yodo 131 tiene una semivida de 8 días mientras que el carbono 14 tiene una semivida de 5,730 años)

### **Materiales para mitigar o disminuir los efectos de la radiación**

Los distintos materiales a emplear para disminuir los efectos de la radiación son:

**Paredes aplomadas;** que son de mampostería recubiertas con láminas de plomo con cierto espesor, de acuerdo con la potencia de los equipos a utilizar.

**Paredes de concreto;** que tiene que tener el espesor diseñado para atenuar la radiación. Es justamente que el desarrollo de esta tesis en mejorar la atenuación de un elemento de concreto, pero de alta densidad.

#### **2.3.1 Indicadores**

Curva granulométrica dentro los husos estándar.

Peso unitario.

Densidad de la roca de bario.

Relación agua/cemento.

Grado de atenuación de Rx.

**Mapa conceptual de relación de las variables dependientes independientes e indicadores**

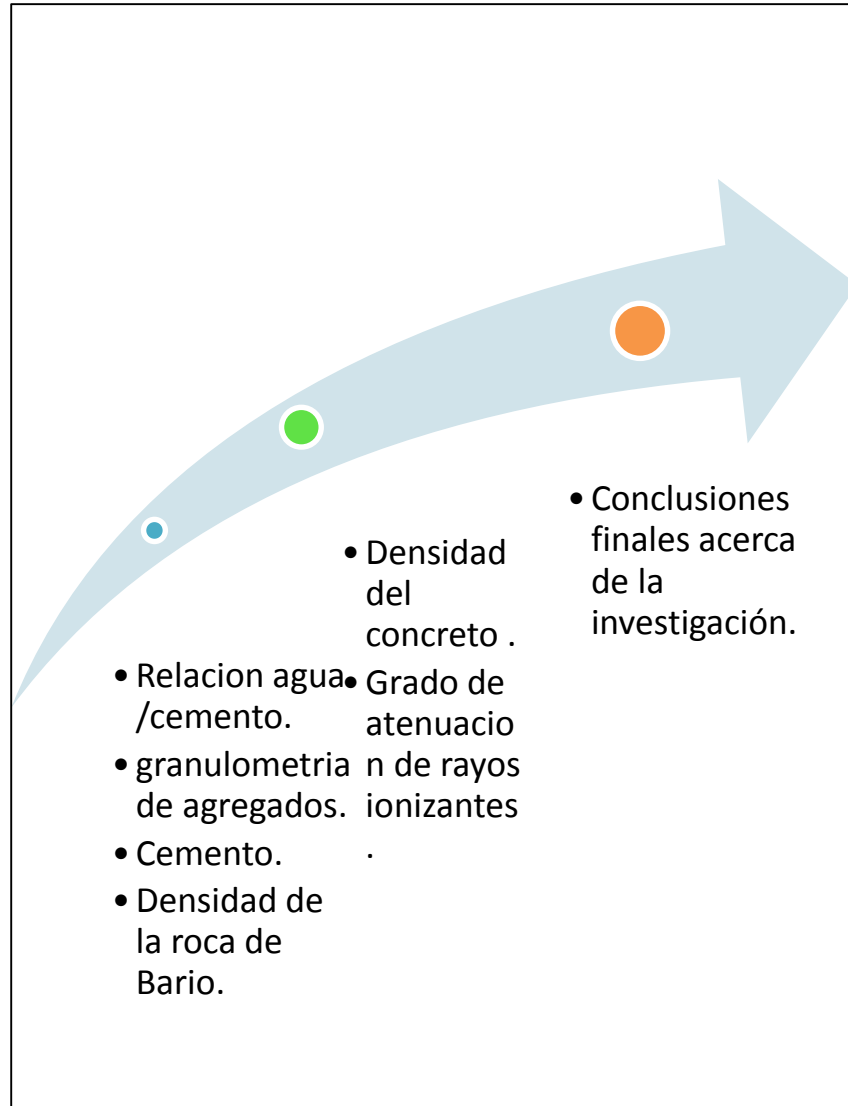


Gráfico 1: Relación entre variables e indicadores

Elaboración: los autores

## **2.4 Hipótesis**

### **2.4.1 Hipótesis general**

Al realizar un diseño de concreto con los agregados de baritina de alta densidad, se incrementa la atenuación de los rayos ionizantes.

### **2.4.2 Hipótesis secundarias:**

- Al obtener los agregados tanto gruesos y finos de alta densidad, a partir de la roca de baritina para elaborar el concreto de alta densidad se atenúan los rayos ionizantes.

- Al obtener un mayor peso unitario suelto y compactado con los agregados de alta densidad, se garantiza el uso de menor cantidad de cemento y por lo tanto, se atenúa con mayor eficiencia los rayos ionizantes.

- Al obtener las rocas de baritina que estén dentro del rango permitido de las normas en las propiedades físicas como la prueba de los ángeles y los límites de sales atenúan los rayos ionizantes.

- Al obtener una distribución granulométrica dentro de la norma para el control de los agregados aumenta la atenuación de los rayos ionizantes.

- Al obtener un concreto con los agregados tradicionales deben atenuar, en menor proporción, la atenuación de los rayos ionizantes.

## **CAPÍTULO III METODOLOGÍA**

### **3.1 Tipo de investigación**

La presente investigación es cuantitativa porque los resultados se van a presentar numéricamente mediante cuadros gráficos y porcentajes; descriptiva, ya que los autores de la investigación van a describir la experiencia en los laboratorios y los resultados que van a obtener; explicativo, debido a que, se va a explicar los fenómenos vistos en los ensayos de laboratorio.

### **3.2 Nivel de investigación**

A la presente investigación se le denominó con un ***nivel de investigación de corte descriptivo***, ya que en su mayoría se van a describir los procedimientos y ensayos realizados para el diseño y elaboración del concreto de alta densidad. Asimismo, se presentaron los datos trabajados mediante uso de la estadística aplicada.

### **3.3 Diseño de investigación**



El diseño de la investigación **experimental** porque se van a realizar diferentes ensayos para llegar al objetivo principal que es diseñar un concreto de alta densidad para la atenuación de los rayos ionizantes. Es **prospectivo**, debido a que se van a obtener datos numéricos de la experiencia en los laboratorios y se va hacer uso de cuadros y gráficos estadísticos para la sustentación de los resultados. Finalmente, se dice que es de **corte longitudinal** a causa de que los desarrolladores de esta investigación van a realizar distintos diseños de concretos hasta llegar al más óptimo, con el cual, se cumplirá con el objetivo principal de la tesis.

### 3.4 Variables

#### 3.4.1 Operacionalización de variables

Tabla 1: Operacionalización de variables

| VARIABLES                                  | INDICADORES   | INSTRUMENTO  |
|--|---------------|--|
| Densidad de la roca de bario               | Densidad      | Método del picnómetro de le chatelier  |
| Granulometría obtenida de la roca de bario | Granulometría | Análisis granulométrico empleando diferentes tamices que se utilicen en los husos 67,5 y 8 (en los agregados gruesos) y en el caso de los finos se utiliza desde la malla n°4 hasta la malla n°100 |
| Relación agua/cemento                      | Relación      | Se obtendrá la relación agua cemento de las tablas   |

|                                     |                     |  |
|-------------------------------------|---------------------|--|
|                                     |                     | presentadas por el ACI (American Concrete Institute)   |
| El grado de atenuación del concreto | Grado de atenuación | Mediante pruebas en el INEN (Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas) se obtendrá el grado de atenuación que tiene el concreto para con los rayos ionizantes. |
| Densidad del concreto               | Densidad            | Se obtendrá la densidad mediante la masa y el volumen del testigo obtenido.  |

Elaboración: los autores

### **3.4.2 Definición operacional de variables**

#### **Densidad de la roca de Bario (Le chatelier)**

Este método se aplica para determinar la gravedad específica de suelos no cohesivos, que pasen por el tamiz de 5mm. Se utiliza un picnómetro del mismo nombre, en el cual el volumen “n” desplazado por la muestra seca es leído directamente en el cuello del aparato, que posee una graduación para este efecto.

#### **Granulometría de la roca**

La granulometría de la roca se obtendrá aplicando los husos establecidos en la norma ASTM C33, de la cual se empleará los husos 5,67 y 8 para la obtención de curvas granulométricas óptimas para la investigación. Se emplean tamices desde la malla N° 4 hasta la malla N° 100 para producir un agregado fino adecuado para los fines de la investigación.

#### **Grado de atenuación del concreto**

Estas son pruebas realizadas en el INEN (Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas), en que se obtuvo estos resultados concluyentes.

#### **Relación a/c:**

Esta relación es obtenida de las tablas dadas por el ACI, las que fueron corregidas luego de efectuar el diseño; finalmente, en la fabricación del concreto se fue realizando más ajustes en esta relación, hasta que se llegue al óptimo requerido para que aumente la eficiencia del producto.

#### **Densidad del concreto**

Este se obtuvo del cociente entre la masa y el volumen que ocupa el testigo de concreto.

### **3.5 Factores**

#### **3.5.1 Factores controlables**

Estos factores son su propio nombre hace referencia, son aquellos que pueden ser manipulados y controlados por los investigadores de la tesis.

### 3.5.2 Factores incontrolables

Se dice de aquellos factores que se aceptan, tal como son, sin ningún tipo de modificación o manipulación previa o posterior.

Tabla 2: Factores controlables e incontrolables

| <b>Factores controlables</b>               | <b>Factores incontrolables</b> |
|--|--------------------------------|
| Densidad de la roca de bario               | Cemento                        |
| Granulometría obtenida de la roca de bario | aditivos                       |
| Relación agua/cemento                      |                                |
| El grado de atenuación del concreto        |                                |
| Densidad del concreto                      |                                |

Elaboración: los autores

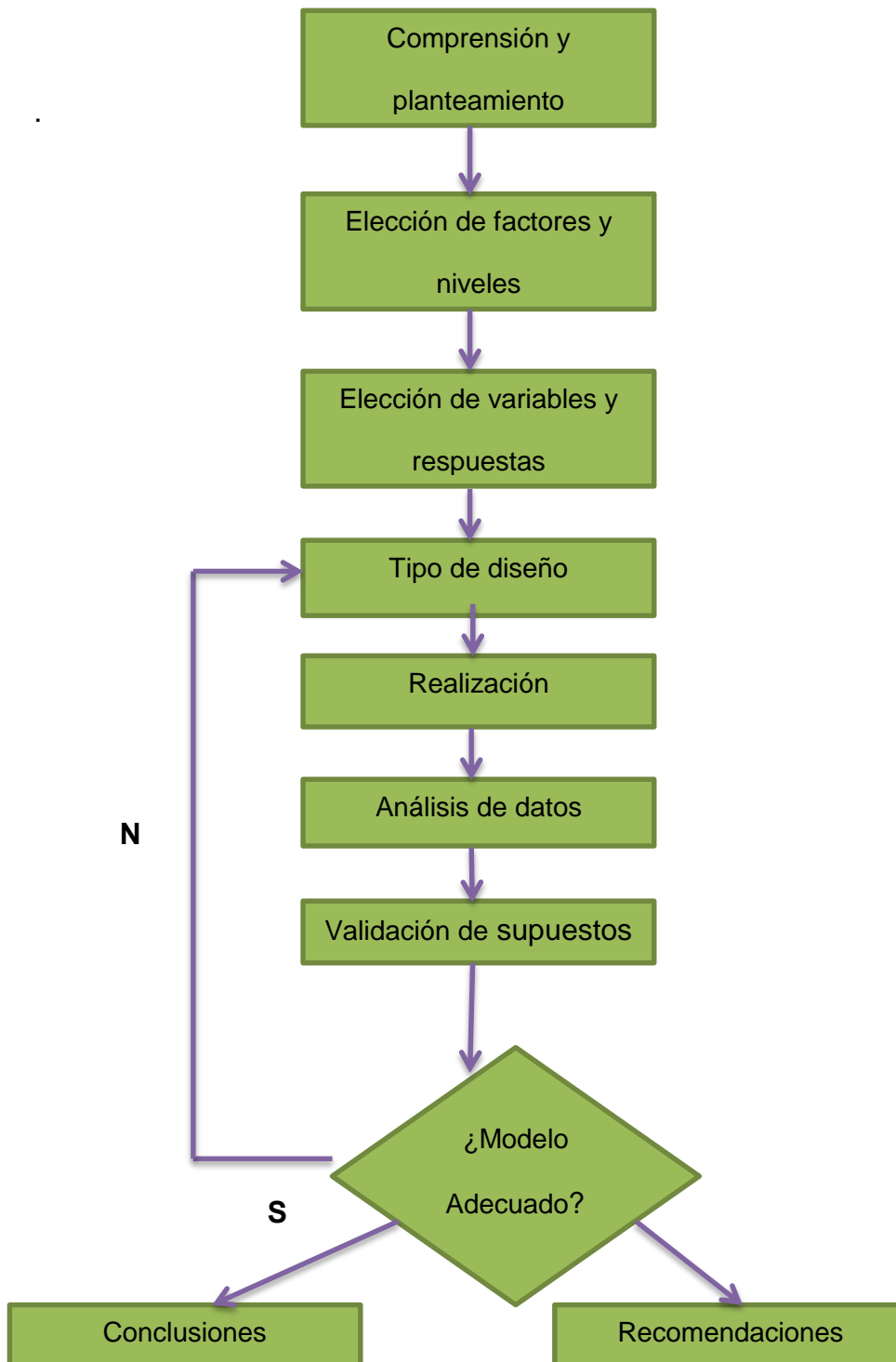


Gráfico 2: Directrices del diseño experimental.

Elaboración: los autores

### **3.6 Caso de la investigación**

En la presente investigación, se pretende conseguir un concreto con características especiales que nos permita mejorar la protección radiológica en diferentes sectores (salud, minera o petrolera) donde se utilicen estas, por el bienestar de las personas que laboran y son expuestas a estos rayos.

El objetivo es elaborar agregados con el mineral de barita cuya propiedad fundamental, es la de poseer grandes densidades en su estructura; esta será de vital importancia en la investigación ya que no solo se aumentará la densidad del concreto en el diseño, disminuyendo la relación Agua/cemento(a/c) y usando plastificantes, sino que se utilizaron estos agregados para que en conjunto, se obtenga un concreto lo más denso posible. Además, se utilizaron los husos 57,67 y 8 para la elaboración de los agregados gruesos con un peso unitario máximo que se pudiese obtener con la combinación de proporciones adecuadas de estos usos. En cuanto a los agregados finos, los que complementaron el diseño, se utilizaron para su elaboración los tamices desde la n°4 hasta la n°100.

### **3.7 Técnicas de investigación**

A continuación, se presentan los husos, las curvas granulométricas y algunas tablas utilizadas de resultados a usar en los ensayos.

#### **3.7.1 Porcentaje de pasantes y curvas granulométricas de agregado grueso**

Se tienen como referencia la Tabla 3: Porcentaje de pasante del huso 67 para la elaboración de los agregados, ya que en esta tenemos los porcentajes de pasantes dentro del huso 67.

En la Tabla 4: Curva granulométrica del Huso 67 se tiene la curva granulométrica de los agregados usados para la realización de los ensayos de obtención de pesos unitarios y posteriormente, el diseño del concreto de alta densidad.

La Tabla 5: Porcentaje de pasante del huso 8 se tiene en consideración para la elaboración de los agregados, ya que en esta tenemos los porcentajes de pasantes dentro del huso 8.

En la Tabla 6: Curva granulométrica del huso 8 se tiene la curva granulométrica de los agregados usados para la realización de los ensayos de obtención de pesos unitarios.

Se tiene como referencia la Tabla 7: Porcentaje de pasante del huso 5 para la elaboración de los agregados, ya que en esta tenemos los porcentajes de pasantes dentro del huso 5.

En la Tabla 8: Curva granulométrica del huso 5, se tiene la curva granulométrica de los agregados usados ,dentro del huso 5, para la realización de los ensayos de obtención de pesos unitarios y ,posteriormente, el diseño del concreto de alta densidad.

### **3.7.2 Agregado fino**

Los agregados finos fueron elaborados con la roca de baritina; que se diseñó con los límites definidos en el tabla 7.

En la Tabla 9: Porcentaje de pasante de la arena de bario se tiene el porcentaje de pasante que se debe que obtener al tamizar los agregados para la realización de los ensayos de obtención de pesos unitarios.

Con ello se obtuvo la curva granulométrica descrita en la Tabla 10: Curva granulométrica de la arena de Bario que está dentro de la norma RNE – 070.

### 3.7.3 Pesos unitarios

En la *Tabla 11: Cuadro de resultados de los pesos unitarios de los husos 5, 67 y 8*; ya con los agregados bien graduados dentro de los husos 5, 67 y 8, se procede a la obtención de los pesos unitarios de cada huso.

Una vez obtenido los pesos unitarios independientes de cada uso, nos dirigimos a la *Tabla 12: cuadro de mezclas entre los husos 5,8 y 67*, en la cual, encontraremos los pesos unitarios resultantes de la combinación entre los husos en diferentes proporciones (50%-50%, 40%-60% y 60%-40%).

Posteriormente, se muestra en la *Tabla 13: cálculo de densidades*. Las densidades que se obtuvieron, antes de empezar los ensayos anteriores, para descartar la roca de bario a utilizar en nuestra investigación.

Finalmente, en la *Tabla 14: Diseño del concreto de alta densidad* se muestra el Excel utilizado para la elaboración del concreto de alta densidad; más adelante, en el capítulo IV, se muestran los cálculos paso a paso del diseño de mezcla obtenido.

#### **Cálculo de densidad por el método de Le Chetelier**

El método a utilizar es por desplazamiento de volúmenes, con el equipo de Le Chetelier.

Para la obtención del producto a calcular se prepara la muestra que deba pasar al 100% la malla -n°100.

La muestra debe tener un peso de 80 gramos.

Se introduce dentro del Le Chetelier cierta cantidad de kerosene hasta lograr que llegue al nivel de lectura menor a uno.



Se deja reposar en una tina de agua con la finalidad de estabilizar su temperatura a 20C°.

Luego se vacía la muestra de 80 gramos de bario y se deja en reposo con un mínimo de 10 minutos y se lee la lectura superior del equipo Le Chetelier.

Por la fórmula de  $P.e. = \text{peso/volumen}$ ; se obtiene el valor del peso específico.

### 3.7.4 Determinación de la consistencia de una mezcla de concreto fresco mediante el cono de Abrams. Norma ASTM C-143

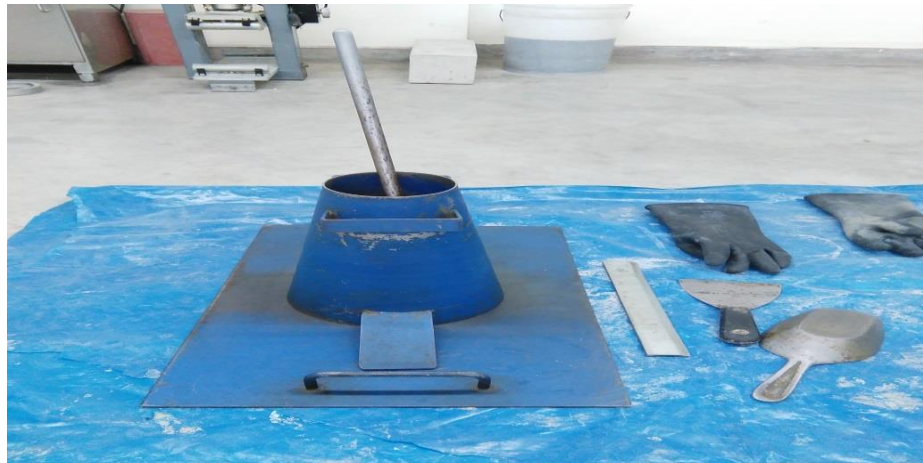


Figura 1: Equipos usados para el ensayo del cono de abrams.  
Elaboración: los autores

**Definición.** Este ensayo se realiza para determinar la consistencia o fluidez de la mezcla de concreto en estado fresco. La consistencia no es sinónimo de trabajabilidad, viene a ser la trabajabilidad de la mezcla a consecuencia del agua que contiene. Esta mezcla es solo aplicable a asentamientos verdaderos, no es aplicable a mezclas secas o no muy fluidas.

Este ensayo también se le conoce con los siguientes nombres: slump, revestimiento, revenimiento, asentamiento y prueba de ordenamiento.

#### Equipos a ser empleados

Para este ensayo se utilizan los siguientes:

Cono de Abrams, de 4" de diámetro superior, 12" de altura y 8" de diámetro inferior.

Varilla compactadora, de 60 cm. de longitud, acero liso, de 5/8" de diámetro y punta de bala.

Plancha metálica, de 1/4" de espesor y con suficiente dimensión para colocar la base inferior del cono.

Guincha, o regla de metálica con aproximación a 1/4".

Herramientas varias

Procedimiento:

Humedecer el cono, la base metálica y la varilla compactadora con una franela húmeda. Ubicar el equipo en una superficie nivelada, libre de vibración, fijar el cono (esto se logra pisando las aletas del cono con las puntas de los pies).

Llenar el molde con concreto fresco en tres capas, aproximadamente de igual volumen, compactar cada capa a razón de 25 chuseadas con la varilla. En la primera capa, la chuseada no debe tocar fuertemente la base, luego se procede a llenar la segunda capa y se chusea de tal manera que la varilla penetre 1" aproximadamente en la capa inferior, se llena la capa final por exceso y se procede a chusear, si durante este chuseo, la mezcla baja por debajo del nivel cono, puede hacer una pausa y adicionar más mezcla, luego se completa las chuseadas de tal forma que cuando se termine exceda el volumen del cono. Enrazar en la parte superior del cono con la ayuda de una plancha de albañil. Inmediatamente se limpia el exterior del cono. Levantar el cono en un tiempo de  $5 \pm 2$  segundos, medir el asentamiento de la mezcla con ayuda de una guincha o regla en pulgadas.

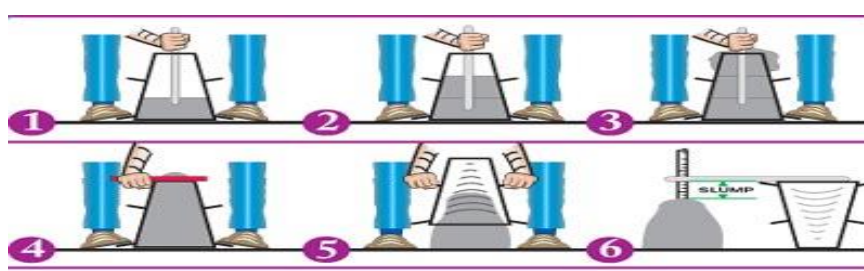


Figura 2: Procedimiento del ensayo cono de Abrams.

Se mide el asentamiento en el centro del área superior que ha quedado deformado. Si la mezcla falla por corte se repite el ensayo y si vuelve a fallar nuevamente por corte, quiere decir que la mezcla carece de cohesión y que el ensayo ya no es aplicable.

El tiempo máximo que debe transcurrir desde la obtención de la última parte de la muestra y el tiempo del ensayo no deben ser mayor de 5 minutos. El tiempo máximo que debe transcurrir desde el inicio del ensayo hasta la finalización no debe ser mayor a 2.5 minutos.

### **3.7.5 Determinación del peso unitario del concreto fresco Normas: ASTM C-138 / NTP339.046**

Definición. Este ensayo se realiza para determinar el peso del concreto fresco en 1m<sup>3</sup>, con fines de verificación del rendimiento del concreto diseñado.

#### Equipos a ser empleados

Para Este ensayo se emplea lo siguiente

Balanza, de 50 kg. de capacidad

Varilla compactadora, de 60cm. de longitud, acero liso, de 5/8" de diámetro y punta de bala.

Moldes, de ½ pie<sup>3</sup> o ¼ pie<sup>3</sup>

Martillo de goma

Herramientas varias

#### Procedimiento:

Para fines de cálculo, determinar el volumen de recipiente en m<sup>3</sup> o determinar la constante de acuerdo a la norma ASTM-29. Colocar el molde en una superficie plana y libre de vibraciones. Llenar el molde en tres capas de igual volumen aproximadamente, compactando cada capa a razón de 25 chuseadas en forma de espiral de fuera hacia el centro del molde, luego dar de 10 a 15 golpes el exterior de la probeta en tres partes diferentes con

ayuda del martillo de goma, esto nos ayudara a cerrar los vacíos dejados por el paso de la varilla al momento de compactar, la segunda y la tercera capa se llenan de las misma forma, teniendo en cuenta que el chuseado de estas debe penetrar 1", aproximadamente con respecto a la capa inferior, luego enrazar, dar un buen acabado superior con una plancha de pulir. Debemos registrar el peso del molde húmedo antes del ensayo y el peso del molde + el concreto fresco kg.

Cálculos:

$$\text{Peso unitario del concreto} = \frac{\text{Peso del concreto fresco}}{\text{volumen del molde en m}^3}$$

**3.7.6 Elaboración de pruebas cilíndricas normalizadas. Normas ASTM C-31 / NTP.339.033**

Objetivo.- Esta norma tiene por objeto dar a conocer la forma adecuada de la elaboración y curado de probetas cilíndricas de concreto para su posterior rotura.

Equipos a ser empleados

Para este ensayo se emplea lo siguiente:

Probetas cilíndricas, normalizadas de 4" x 8" de diámetros interiores y altura fabricadas con planchas de ¼" de espesor.

Varilla compactadora, de 60 cm de longitud, acero liso de 5/8" de diámetro y punta de bala.

Martillo de goma.

Herramientas varias.

Procedimiento:

La muestra mínima que se debe obtener para la elaboración de probetas no debe ser menor a 30 litros o 1pie<sup>3</sup>, la muestra debe ser moldeada sin exceder los 15 minutos desde la última obtención de la muestra hasta el inicio de la elaboración de la probeta.

Colocar la probeta en un lugar libre de vibraciones, que no entorpezcan el tránsito vehicular y peatonal, protegido de la lluvia y la evaporación excesiva (protegerlo del sol).

Llenar el molde en tres capas de igual volumen, aproximadamente, compactando cada capa a razón de 25 chuseadas en forma de espiral de afuera hacia el centro del molde, luego dar de 10 a 15 golpes al exterior de la probeta en tres partes diferentes con ayuda del martillo de goma, esto nos ayudó a cerrar los vacíos dejados por el paso de la varilla al momento de compactar; la segunda y la tercera capa se llenan de la misma forma, teniendo en cuenta que el chuseado de estas debe penetrar 1" aproximadamente, con respecto a la capa inferior, luego enrazar, dar un buen acabado en la capa superior con una plancha de pulir.

El curado inicial de probeta es a una temperatura comprendida de 16°C a 27°C por espacio de 16 a 32 horas, desmoldar la probeta dentro del lapso indicado, identificar con fecha de vaciado, resistencia, elemento al que pertenece o cualquier otro dato que se crea importante.

Dentro de la media hora que ha sido desencofrado llevarlo a mano a la poza de curado (solución saturada a razón de 2gr. De cal hidratada por litro de agua, temperatura de curado  $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ) hasta el día de la rotura.

### 3.8 Instrumentos de recolección de datos

#### 3.8.1 Huso 67

##### 3.8.1.1 Porcentaje de pasante del huso 67

Tabla 3: Porcentaje de pasantes en el huso 67

| TAMICES | LIMITE 1 | LIMITE 2 |
|---------|----------|----------|
| 3"      |          |          |
| 2 1/2"  |          |          |
| 2"      |          |          |
| 1 1/2"  | 100      | 100      |
| 1"      | 100      | 100      |
| 3/4"    | 90       | 100      |
| 1/2"    | 55       | 78       |
| 3/8"    | 20       | 55       |
| # 4     | 0        | 10       |
| # 8     | 0        | 5        |
| # 16    | 0        | 0        |
| # 30    | 0        | 0        |
| # 50    | 0        | 0        |
| # 100   | 0        | 0        |
|         |          |          |

Norma NTP 400.012

### 3.8.1.2 Curva granulométrica del huso 67

Tabla 4: Curva granulométrica del huso 67

|               |                             | NTP 400.012                |                                  | CARACTERISTICAS FISICAS DE AGREGADOS HUAYCOLORO |  | Pág. 1 de 1        |  |
|---------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------------|---|--|--------------------|--|
| MUESTRA:      |                             | HUSO 67                    |                                  | FAJA 6  |  | HORA DE MUESTREO:  |  |
| CANTERA:      |                             |                            |                                  |   |  | FECHA DE MUESTREO: |  |
| PLANTA:       |                             |                            |                                  |   |  | TECNICO:           |  |
| GRANULOMETRIA |                             |                            |                                  | CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS              |  |                    |  |
| MALLA         | PESO RETENIDO en gramos (b) | % RETENIDO (c)=(b)/(a)*100 | % RETENIDO ACUMUL. (d)=SUM A (c) | % PASANTE ACUMUL. (e)=100-(d)                   | MODULO DE FINEZA                         |                    |  |
| 3"            | -                           | 0.0                        |                                  | 100.0   | TAMANO MÁXIMO                            |                    |  |
| 2 1/2"        | -                           | 0.0                        |                                  | 100.0   | (A) peso de tara (g) :                   |                    |  |
| 2"            | -                           | 0.0                        |                                  | 100.0   | (B) muestra original húmeda(g):          |                    |  |
| 1 1/2"        | -                           | 0.0                        |                                  | 100.0   | (C) peso de muestra seca(g) :            |                    |  |
| 1"            | -                           | 0.0                        | 0.0                              | 100.0   | % HUMEDAD                                |                    |  |
| 3/4"          | 396.5                       | 3.1                        | 3.1                              | 96.9  | (D) peso de tara (g) :                   |                    |  |
| 1/2"          | 3,482.4                     | 27.3                       | 30.4                             | 69.6  | (E) peso de muestra seca (g) :           |                    |  |
| 3/8"          | 4,585.2                     | 35.9                       | 66.2                             | 33.8  | (F) muestra después de lavado seca (g) : |                    |  |
| # 4           | 4,042.1                     | 31.6                       | 97.9                             | 2.1   | %PASANTE DE M # 200                      |                    |  |
| # 8           | 233.6                       | 1.8                        | 99.7                             | 0.3   | Sales solubles totales (ppm)             |                    |  |
| # 16          | -                           | 0.0                        |                                  |   | Cloruro solubles (ppm)                   |                    |  |
| #30           | -                           | 0.0                        |                                  |   | Abrasión - maquina de los angeles        |                    |  |
| #50           | -                           | 0.0                        |                                  |   | Peso unitario suelto (kg/m3)             |                    |  |
| #100          | -                           | 0.0                        |                                  |   | Peso unitario compactado (kg/m3)         |                    |  |
| FONDO         | 38.7                        | 0.3                        | 100.0                            | 0.0   |  |                    |  |
| TOTAL (a)     | 12778.5                     | 100.0                      | MODULO FINEZA                    |   |  |                    |  |

El módulo de fineza= % retenido acumulado en las mallas (3"+ 1½"+ ¾"+ 3/8"+ #4 + #8 + #16 + #30 + #50 + #100) / 100  
 Nota: Para ag. Gruesos, en los tamices donde no exista retenido considere 100% de retenido acumulado en cada uno  
 El tamaño máximo= menor tamiz por el que pasa el 100% del agregado tamizado.

Elaboración: los autores

### 3.8.2 Huso 8

#### 3.8.2.1 Porcentaje de pasante del huso 8

Tabla 5: Porcentaje de pasante del huso 8

| TAMICES | LIMITE 1 | LIMITE 2 |
|---------|----------|----------|
| 3"      |          |          |
| 2 1/2"  |          |          |
| 2"      |          |          |
| 1 1/2"  | 100      | 100      |
| 1"      | 100      | 100      |
| 3/4"    | 100      | 100      |
| 1/2"    | 100      | 100      |
| 3/8"    | 85       | 100      |
| # 4     | 10       | 30       |
| # 8     | 0        | 10       |
| # 16    | 0        | 5        |
| # 30    | 0        | 0        |
| # 50    | 0        | 0        |
| # 100   | 0        | 0        |

Fuente: Norma NTP 400.012



### 3.8.2.2 Curva granulométrica del huso 8

Tabla 6: Curva granulométrica del huso 8

| CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE AGREGADOS<br>PARA PLANTAS |                               |                                  |  |                                      | Pág. 1 de 1   |             |
|--|-------------------------------|----------------------------------|--|--------------------------------------|---|-------------|
| MUESTRA  | <b>HUSO 8</b>                 |                                  |  | MUESTRA                              | HORA DE MUESTREO                                    |             |
| CANTERA  |                               |                                  |  |                                      | FECHA DE MUESTREO                                   |             |
| PLANTA   |                               |                                  |  |                                      | TECNICO   |             |
| GRANULOMETRIA (MTC - 204)                            |                               |                                  |  |                                      | CARACTERÍSTICAS FÍSICAS                             |             |
| MALLA  | PESO<br>RETENIDO<br>en gramos | %<br>RETENIDO<br>(c)=(b)/(a)*100 | %<br>RETENIDO<br>ACUMUL.<br>(d)=SUMA (c) | %<br>PASANTE<br>ACUMUL.<br>100 - (d) | MODULO DE FINEZA                                    |             |
| 3"   | -                             | 0.0                              |  | 100.0                                | TAMAÑO MÁXIMO                                       | 1/2'        |
| 2 1/2"   | -                             | 0.0                              |  | 100.0                                | (A) peso de tara (g) :                              | 0.0         |
| 2"   | -                             | 0.0                              |  | 100.0                                | (B) peso de muestra original húmeda(g):             | 0.0         |
| 1 1/2"   | -                             | 0.0                              |  | 100.0                                | (C) peso de muestra seca(g) :                       | 0.0         |
| 1"   | -                             | 0.0                              | 0.0                                      | 100.0                                | <b>% HUMEDAD ((B-C)*100/(C-A))</b>                  | <b>0.0</b>  |
| 3/4"   | -                             | 0.0                              | 0.0                                      | 100.0                                | (D) peso de tara (g) :                              | 0.0         |
| 1/2"   | -                             | 0.0                              | 0.0                                      | 100.0                                | (E) peso de muestra seca (g) :                      | 0.0         |
| 3/8"   | 351.3                         | 8.8                              | 8.8                                      | 91.2                                 | (F) peso de muestra después de lavado<br>seca (g) : | 0.0         |
| # 4  | 3,091.8                       | 77.5                             | 86.3                                     | 13.7                                 | <b>%PASANTE DE M # 200</b>                          | <b>0.00</b> |
| # 8  | 537.4                         | 13.5                             | 99.7                                     | 0.3                                  | Sales solubles totales (ppm)                        |             |
| # 16   | 5.8                           | 0.1                              |  |                                      | Cloruro soluble (ppm)                               |             |
| #30  | 0.7                           | 0.0                              |  |                                      | Abrasión - maquina de los angeles                   |             |
| #50  | 0.1                           | 0.0                              |  |                                      | Peso Unitario Suelto                                |             |
| #100   | 1.0                           | 0.0                              |  |                                      | Peso Unitario Compactado.                           |             |
| FONDO  | 3.7                           | 0.1                              | 99.8                                     | 0.2                                  | Determinación chatas y alargadas (%)                |             |
| TOTAL<br>(a)   | 3991.8                        | 100.0                            | MODULO<br>FINEZA                         |                                      | Partículas fracturadas una cara. (%)                |             |
|  |                               |                                  |  |                                      | Partículas fracturadas dos cara. (%)                |             |

El módulo de fineza= % retenido acumulado en las mallas (3" + 1 1/2" + 1/2" + 3/8" + #4 + #8 + #16 + #30 + #50 + #100) / 100  
 Nota: Para ag. Gruesos, en los tamices donde no exista retenido considere 100% de retenido acumulado en cada uno  
 El tamaño máximo= menor tamiz por el que pasa el 100% del agregado tamizado.

Cuadro 4: Curva granulométrica del huso 8

Elaboración: los autores

### 3.8.3 Huso 5

#### 3.8.3.1 Porcentaje de pasante del huso 5

Tabla 7: Porcentaje de pasante del huso 5

| Abertura<br>ASTM | LIMITE<br>1 | LIMITE<br>2 | ABERTURA (mm). |
|------------------|-------------|-------------|----------------|
| 3"               |             |             | 76.2000        |
| 2 1/2"           |             |             | 63.5000        |
| 2"               |             |             | 50.8000        |
| 1 1/2"           | 100         | 100         | 38.1000        |
| 1"               | 90          | 100         | 25.4000        |
| 3/4"             | 20          | 55          | 19.0500        |
| 1/2"             | 0           | 10          | 12.7000        |
| 3/8"             | 0           | 5           | 9.5250         |
| # 4              | 0           | 0           | 4.7625         |
| # 8              | 0           | 0           | 2.3813         |
| # 16             | 0           | 0           | 1.1906         |
| # 30             | 0           | 0           | 0.5953         |
| # 50             | 0           | 0           | 0.2977         |
| # 100            | 0           | 0           | 0.1488         |

Elaboración: los autores

### 3.8.3.2 Curva granulométrica del huso 5

Tabla 8: Curva granulométrica del huso 5

| minpetrol<br>SERVICIOS MULTIPLES S.R.L.  |                                      | NTP 400.012                      | CARACTERISTICAS FISICAS DE AGREGADOS<br>PETRAMÁS |  | Pág. 1 de 1                                 |             |
|--|--------------------------------------|----------------------------------|--|--|---|-------------|
| MUESTRA: <b>HUSO 05</b>  |                                      | 0                                |  | HORA DE MUESTREO: <b>10:48:00 a.m.</b> |   |             |
| CANTERA: CANTERA REY   |                                      |                                  |  | FECHA DE MUESTREO: <b>28/10/2014</b>   |   |             |
| PLANTA: PETRAMÁS   |                                      |                                  |  | TECNICO: <b>C. ANAYA</b>               |   |             |
| GRANULOMETRIA  |                                      |                                  |  |  | CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS          |             |
| MALLA  | PESO<br>RETENIDO<br>en gramos<br>(b) | %<br>RETENIDO<br>(c)=(b)/(a)*100 | %<br>RETENIDO<br>ACUMUL.<br>(d)=SUMA (c)         | %<br>PASANTE<br>ACUMUL.<br>100 - (d)   | MODULO DE FINEZA                            | <b>7.52</b> |
|  |                                      |                                  |  |  | TAMAÑO MÁXIMO                               | 1"          |
| 3"   | -                                    | 0.0                              |  | 100.0                                  | (A) peso de tara (g) :                      | 1206.5      |
| 2 1/2"   | -                                    | 0.0                              |  | 100.0                                  | (B) muestra original húmeda(g):             | 4123.2      |
| 2"   | -                                    | 0.0                              |  | 100.0                                  | (C) peso de muestra seca(g) :               | 4110.4      |
| 1 1/2"   | -                                    | 0.0                              |  | 100.0                                  | <b>% HUMEDAD</b>                            | <b>0.44</b> |
| 1"   | 405.0                                | 6.8                              | 6.8  | 93.2                                   | (D) peso de tara (g) :                      | 1206.5      |
| 3/4"   | 2,859.4                              | 47.7                             | 54.4   | 45.6                                   | (E) peso de muestra seca (g) :              | 4110.4      |
| 1/2"   | 2,326.6                              | 38.8                             | 93.2   | 6.8                                    | (F) muestra después de lavado<br>seca (g) : | 4103.9      |
| 3/8"   | 275.8                                | 4.6                              | 97.8   | 2.2                                    | <b>%PASANTE DE M # 200</b>                  | <b>0.22</b> |
| # 4  | 123.5                                | 2.1                              | 99.9   | 0.1                                    | Sales solubles totales (ppm)                | 164 ppm     |
| # 8  | -                                    | 0.0                              | 99.9   | 0.1                                    | Cloruro solubles (ppm)                      | 31 ppm      |
| # 16   | -                                    | 0.0                              |  |  | Abrasión - maquina de los angeles           | 14%         |
| #30  | -                                    | 0.0                              |  |  | Peso unitario suelto (kg/m3)                | 1380 kg/m3  |
| #50  | -                                    | 0.0                              |  |  | Peso unitario compactado (kg/m3)            | 1566 kg/m3  |
| #100   | -                                    | 0.0                              |  |  |   |             |
| FONDO  | 6.9                                  | 0.1                              | 100.0  | 0.0                                    |   |             |
| TOTAL<br>(a)   | 5997.2                               | 100.0                            | MODULO<br>FINEZA                                 | <b>7.52</b>                            |   |             |
| El módulo de fineza= % retenido acumulado en las mallas (3" + 1 1/2" + 3/4" + 3/8" + #4 + #8 + #16 + #30 + #50 + #100) / 100 |                                      |                                  |  |  |   |             |
| Nota: Para ag. Gruesos, en los tamices donde no exista retenido considere 100% de retenido acumulado en cada uno             |                                      |                                  |  |  |   |             |
| El tamaño máximo= menor tamiz por el que pasa el 100% del agregado tamizado.   |                                      |                                  |  |  |   |             |
|  |                                      |                                  |  |  |   |             |

Elaboración: los autores

### 3.8.4 Agregado fino

#### 3.8.4.1 Porcentaje de pasante de la arena de Bario

Los agregados finos fueron elaborados con la roca de baritina; el cual se diseñó con los límites definidos en el tabla 9.

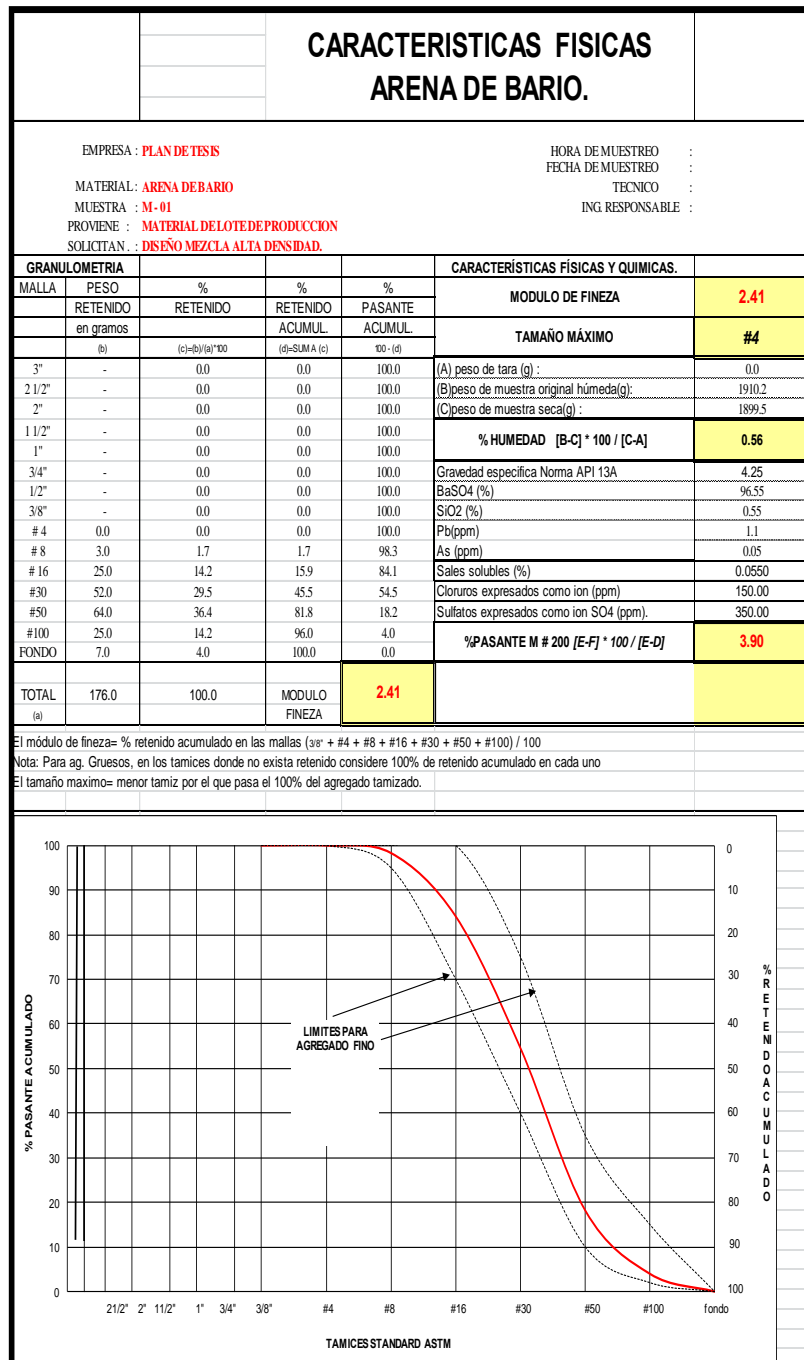
Tabla 9: Porcentaje de pasante de arena de bario

| LIMITES ARENA MINBAX RNE E070 - ARENA PARA MORTERO. |          |          |            |
|---|----------|----------|------------|
|   | LIMITE 1 | LIMITE 2 | ABERTURA   |
|   | LIMITE 1 | LIMITE 2 | ABERTURA   |
|   |          |          | MILÍMETROS |
| 3"  |          |          | 76.2000    |
| 2 1/2"  |          |          | 63.5000    |
| 2"  |          |          | 50.8000    |
| 1 1/2"  | 100      | 100      | 38.1000    |
| 1"  | 100      | 100      | 25.4000    |
| 3/4"  | 100      | 100      | 19.0500    |
| 1/2"  | 100      | 100      | 12.7000    |
| 3/8"  | 100      | 100      | 9.5250     |
| # 4   | 100      | 100      | 4.7625     |
| # 8   | 95       | 100      | 2.3813     |
| # 16  | 70       | 100      | 1.1906     |
| # 30  | 40       | 75       | 0.5953     |
| # 50  | 10       | 35       | 0.2977     |
| # 100   | 2        | 15       | 0.1488     |
| fondo   | 0        | 0        | 0.0744     |

Fuente: Norma NTP 400.012

### 3.8.4.2 Curva granulométrica de la arena de bario

Tabla 10: Curva granulométrica de la arena de bario



Elaboración: los autores

**CUADRO DE RESULTADOS.  
PESOS UNITARIOS SUELTOS.**

**3.8.5 Cuadros de Resultados.**

**HUSO 57 PESO INICIAL PESO FINAL DIFERENCIA**

**3.8.5.1 Cuadros de resultados de pesos unitarios sueltos**

MUESTRA 2

Tabla 11: Cuadro de pesos unitarios de los diferentes

husos

| <b>HUSO 67</b> | <b>PESO INICIAL</b> | <b>PESO FINAL</b> | <b>DIFERENCIA</b> |
|----------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| MUESTRA 1      |                     |                   |                   |
| MUESTRA 2      |                     |                   |                   |
| MUESTRA 3      |                     |                   |                   |
| MUESTRA 4      |                     |                   |                   |
| MUESTRA 5      |                     |                   |                   |
| PROMEDIO       |                     |                   |                   |
|                |                     |                   |                   |
| <b>HUSO 8</b>  | <b>PESO INICIAL</b> | <b>PESO FINAL</b> | <b>DIFERENCIA</b> |
| MUESTRA 1      |                     |                   |                   |
| MUESTRA 2      |                     |                   |                   |
| MUESTRA 3      |                     |                   |                   |
| MUESTRA 4      |                     |                   |                   |
| MUESTRA 5      |                     |                   |                   |
| PROMEDIO       |                     |                   |                   |

Elaboración: los autores

**3.8.5.2 Cuadro mezclas-combinaciones entre husos**

Tabla 12: Cuadro de mezclas entre los husos 5,8 y 67

| <b>CUADRO MEZCLAS.</b>                         |                     |                   |                   |
|--|---------------------|-------------------|-------------------|
| <b>TERCERA COMBINACION - HUSO 67 - HUSO 8.</b> |                     |                   |                   |
| <b>40% - 60%</b>                               | <b>PESO INICIAL</b> | <b>PESO FINAL</b> | <b>DIFERENCIA</b> |
| MUESTRA 1                                      |                     |                   |                   |
| MUESTRA 2                                      |                     |                   |                   |
| MUESTRA 3                                      |                     |                   |                   |
| MUESTRA 4                                      |                     |                   |                   |
| MUESTRA 5                                      |                     |                   |                   |
| PROMEDIO                                       |                     |                   |                   |
|  |                     |                   |                   |
| <b>50% - 50%</b>                               | <b>PESO INICIAL</b> | <b>PESO FINAL</b> | <b>DIFERENCIA</b> |
| MUESTRA 1                                      |                     |                   |                   |
| MUESTRA 2                                      |                     |                   |                   |
| MUESTRA 3                                      |                     |                   |                   |
| MUESTRA 4                                      |                     |                   |                   |
| MUESTRA 5                                      |                     |                   |                   |
| PROMEDIO                                       |                     |                   |                   |
|  |                     |                   |                   |
| <b>60% - 40%</b>                               | <b>PESO INICIAL</b> | <b>PESO FINAL</b> | <b>DIFERENCIA</b> |
| MUESTRA 1                                      |                     |                   |                   |
| MUESTRA 2                                      |                     |                   |                   |
| MUESTRA 3                                      |                     |                   |                   |
| MUESTRA 4                                      |                     |                   |                   |
| MUESTRA 5                                      |                     |                   |                   |
| PROMEDIO                                       |                     |                   |                   |

Elaboración: los autores

### 3.8.5.3 Resultados de densidades

Tabla 13: Cálculo de densidades

| CALCULO DENSIDAD.  |                 |               |            |
|--------------------|-----------------|---------------|------------|
| CALCULO VOLUMENES. |                 |               |            |
|                    | LECTURA INICIAL | LECTURA FINAL | RESULTADO. |
| MUESTRA 1          |                 |               |            |
| MUESTRA 2          |                 |               |            |
| MUESTRA 3          |                 |               |            |
| MUESTRA 4          |                 |               |            |
| MUESTRA 5          |                 |               |            |

Elaboración: los autores

### 3.8.5.4 Concreto de alta densidad

Tabla 14: Diseño de mezclas de concreto

|   |                       | CONCRETO DE ALTA DENSIDAD.    |             | Revisión: 00        |                     |             |                    |                    |                        |              |
|---|-----------------------|-------------------------------|-------------|---------------------|---------------------|-------------|--------------------|--------------------|------------------------|--------------|
|   |                       | DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO |             | Fecha: 22/09/2015   |                     |             |                    |                    |                        |              |
| Fecha   | 22/09/2015.           | Código Mezcla                 |             |                     |                     |             |                    |                    |                        |              |
| Diseño  | 210kg/cm <sup>2</sup> | Hora Vaciado                  |             |                     |                     |             |                    |                    |                        |              |
| Relación a/c  | 0.600                 | Ingeniero                     |             |                     |                     |             |                    |                    |                        |              |
| Relación AF : AG  | 45 - 55               | Volumen de Prueba (m3)        | 0.065       |                     |                     |             |                    |                    |                        |              |
| <b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS MATERIALES Y DE LA MEZCLA DE PRUEBA</b> |                       |                               |             |                     |                     |             |                    |                    |                        |              |
| M.F. Arena  | 2.88                  | Vol. Agregado                 | 0.67        | Cementante total    | 333 kg              |             |                    |                    |                        |              |
| M.F. Piedra # 8   | 3.76                  | Arena                         | 45 %        | Microsilice         | 0 %                 |             |                    |                    |                        |              |
| M.F. Piedra # 67  |                       | Piedra # 8                    | 25.85 %     | <b>Dosificación</b> |                     |             |                    |                    |                        |              |
| M.F. Global   | 3.36                  | Piedra # 67                   | 29.15 %     | Plastol 5000        | = % = 0.00 gr.      |             |                    |                    |                        |              |
|   |                       | Agregados                     | 100 %       | Aditivo             | = % = 0.00 gr.      |             |                    |                    |                        |              |
|   |                       |                               |             | Aditivo             | = 0.00 % = 0.00 gr. |             |                    |                    |                        |              |
| <b>MATERIALES</b>   | <b>PROCEDECENCIA</b>  | <b>P. ESP</b>                 | <b>HUM.</b> | <b>ABS.</b>         | <b>PESO SECO</b>    | <b>VOL.</b> | <b>PESO S.S.S.</b> | <b>CORRECCIÓN</b>  | <b>TANDA DE PRUEBA</b> |              |
|   |                       | kg/m <sup>3</sup>             | %           | %                   | kg/m <sup>3</sup>   |             | kg/m <sup>3</sup>  | <b>POR HUMEDAD</b> | <b>DOSEIFICACION</b>   | <b>UNID.</b> |
| Cemento   | Sol tipo I            | 3110                          |             |                     | 333                 | 0.1072      | 333                | 333                | 21.50                  | kg           |
| Agua  | Red USMP              | 1000                          |             |                     | 200                 | 0.2000      | 237                | 210                | 13.57                  | kg           |
| Arena   |                       | 4322                          | 1.5         | 1.5                 | 1309                | 0.3028      | 1309               | 1328               | 85.69                  | kg           |
| Piedra #5   |                       | 4331                          | 0.4         | 1.1                 | 753                 | 0.1739      | 768                | 756                | 48.80                  | kg           |
| Piedra # 67   |                       | 4331                          | 0.4         | 1.1                 | 849                 | 0.1961      | 866                | 853                | 55.02                  | kg           |
| Aditivo   |                       | 1310                          |             |                     | 0.00                | 0.0000      | 0.00               | 0.00               | 0.00                   | g            |
| Aire  |                       |                               |             |                     | 2.00%               | 0.0200      |                    |                    |                        |              |
| <b>TOTAL</b>  |                       |                               |             |                     |                     | 1.0000      |                    | <b>3481</b>        |                        |              |

Elaboración: los autores

## **CAPÍTULO IV**

### **PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS**

#### **4.1 Contrastación de hipótesis**

A continuación, se presenta una contrastación entre las hipótesis alternas y las hipótesis nulas.

Dónde:

H1 = Hipótesis alternas

Ho = Hipótesis nula

##### **4.1.1 Hipótesis general**

- **H1** = Un diseño de concreto con agregados de baritina de alta densidad, INCREMENTA la atenuación de los rayos ionizantes.

- **Ho** = Un diseño de concreto con agregados de baritina de alta densidad, NO INCREMENTA la atenuación de los rayos ionizantes.

##### **4.1.2 Hipótesis específicas**

###### **Hipótesis secundaria (1)**

- **H1** = Obtener agregados finos, de alta densidad, a partir de la roca de baritina para elaborar concreto ATENÚAN los rayos ionizantes.



- **Ho** = Obtener agregados finos, de alta densidad, a partir de la roca de baritina para elaborar concreto NO ATENÚAN los rayos ionizantes.

#### **Hipótesis secundaria (2)**

- **H1** = Un mayor peso unitario suelto y compactado del agregado grueso de alta densidad, DISMINUYE el uso de la cantidad de agua y cemento, aumentado la densidad y por lo tanto, SE ATENÚA con mayor eficiencia los rayos ionizantes.

- **Ho** = Un mayor peso unitario suelto y compactado de los agregados de alta densidad, NO DISMINUYE el uso de menor cantidad de agua cemento aumentado la densidad y, por lo tanto, NO SE ATENÚAN con mayor eficiencia los rayos ionizantes.

#### **Hipótesis secundaria (3)**

- **H1** = Las rocas de baritina que estén dentro del rango permitido de las normas en cuanto a las propiedades físicas como la prueba de Los Angeles y los límites de sales, ATENÚAN los rayos ionizantes.

- **Ho** = Las rocas de baritina que estén dentro del rango permitido de las normas en cuanto a las propiedades físicas como la prueba de los ángeles y los límites de sales, NO ATENÚAN los rayos ionizantes.

#### **Hipótesis secundaria (4)**

- **H1** = Una distribución granulométrica dentro de la norma para el control de los agregados DISMINUYE la atenuación de los rayos ionizantes.

- **Ho** = Una distribución granulométrica dentro de la norma para el control de los agregados, NO DISMINUYE la atenuación de los rayos ionizantes.

#### **Hipótesis Secundaria (5)**

- **H1** = Un concreto con los agregados tradicionales debe atenuar EN MENOR proporción de los rayos ionizantes.

- **Ho** = Un concreto con los agregados tradicionales debe atenuar, EN MAYOR proporción, los rayos ionizantes.

#### **4.1.3 Caso de la investigación**

En la presente investigación se pretende conseguir un concreto con características especiales que nos permita mejorar la protección radiología en diferentes sectores (salud, minera o petrolera) donde se utilicen estas, por el bienestar de las personas que laboran y son expuestas a estos rayos.

El objetivo es elaborar agregados con el mineral de barita cuya propiedad fundamental, es la de poseer altas densidades en su estructura; esta será de vital importancia en la investigación ya que no solo se aumentó la densidad del concreto en el diseño, disminuyendo la relación agua-cemento (a/c) y usando plastificantes, sino que se utilizarán estos agregados para que en conjunto, se obtenga un concreto lo más denso posible. Además, se utilizaron los husos 5,67 y 8 para la elaboración de los agregados gruesos con un peso unitario máximo que se pudiese obtener con la combinación de proporciones adecuadas de estos husos. En cuanto a los agregados finos, los cuales complementaron el diseño, se utilizarón para su elaboración los tamices desde la n°4 hasta la n°100.

### **4.2 Análisis e interpretación de la investigación**

#### **4.2.1 Pesos unitarios del agregado convencional.**

Se realizó a continuación los pesos unitarios tanto sueltos y compactados así como el estudio de las curvas granulométricas de los husos 5, 67 y 8; con ello se confirmó que este dentro de lo normado. Además se realizó las combinaciones más óptimas entre estos tres husos con los cuales se pretende obtener en este estudio el mayor peso volumétrico posible.

##### **4.2.1.1 Pesos unitarios del huso 5**

Se realizaron cinco muestras tanto en estado suelto como compactado del huso 5; esta tarea se realizó para obtener el peso unitario promedio de este huso.

**Cuadro de pesos unitarios.**

| Recipiente de 0.5 pies <sup>3</sup> |               | 0.014157422 m <sup>3</sup> |               |                       |
|-------------------------------------|---------------|----------------------------|---------------|-----------------------|
| Huso 5                              |               |                            |               |                       |
| Huso 5                              | Peso          | Peso volumétrico           | Peso          | Peso volumétrico.     |
|                                     | Suelto        | Suelto                     | Compactado    | Compactado            |
|                                     | (kg.)         | (kg./m <sup>3</sup> )      | (kg.)         | (kg./m <sup>3</sup> ) |
| Muestra 01                          | 18.54         | 1309.56                    | 20.28         | 1432.46               |
| Muestra 02                          | 18.46         | 1303.91                    | 20.18         | 1425.40               |
| Muestra 03                          | 18.31         | 1293.31                    | 20.24         | 1429.64               |
| Muestra 04                          | 18.26         | 1289.78                    | 20.2          | 1426.81               |
| Muestra 05                          | 18.24         | 1288.37                    | 20.22         | 1428.23               |
|                                     | 91.81         | 6484.94                    | 101.12        | 7142.54               |
| <b>Promedio</b>                     | <b>18.362</b> | <b>1296.99</b>             | <b>20.224</b> | <b>1428.51</b>        |

Cuadro 1: Pesos unitarios y volumétricos de huso 5

Convencional

Elaboración: Los autores

#### 4.2.1.2 Pesos unitarios del huso 67

Se realizaron cinco muestras tanto en estado suelto como compactado del huso 67; esta tarea se ejecutó para obtener el peso unitario promedio de este huso.

| Huso 67         |               |                       |               |                       |
|-----------------|---------------|-----------------------|---------------|-----------------------|
| Huso 67         | Peso          | Peso volumétrico      | Peso          | Peso volumétrico.     |
|                 | Suelto        | Suelto                | Compactado    | Compactado            |
|                 | (kg.)         | (kg./m <sup>3</sup> ) | (kg.)         | (kg./m <sup>3</sup> ) |
| Muestra 01      | 18.42         | 1301.08               | 20.48         | 1446.59               |
| Muestra 02      | 18.54         | 1309.56               | 20.46         | 1445.18               |
| Muestra 03      | 18.48         | 1305.32               | 20.32         | 1435.29               |
| Muestra 04      | 18.44         | 1302.50               | 20.36         | 1438.11               |
| Muestra 05      | 18.36         | 1296.85               | 20.41         | 1441.65               |
|                 | 92.24         | 6515.31               | 102.03        | 7206.82               |
| <b>Promedio</b> | <b>18.448</b> | <b>1303.06</b>        | <b>20.406</b> | <b>1441.36</b>        |

Cuadro 2: Pesos unitarios y volumétricos del huso 67

convencional

Elaboración: Los autores

#### 4.2.1.3 Pesos unitarios del huso 8

Se realizaron cinco muestras tanto en estado suelto como compactado del huso 67; esta tarea se realizó para obtener el peso unitario promedio de este huso.

| <b>Huso 8</b>   |               |                            |                   |                            |
|-----------------|---------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|
| <b>Huso 8</b>   | <b>Peso</b>   | <b>Peso volumétrico</b>    | <b>Peso</b>       | <b>Peso volumétrico.</b>   |
|                 | <b>Suelto</b> | <b>Suelto</b>              | <b>Compactado</b> | <b>Compactado</b>          |
|                 | <b>(kg.)</b>  | <b>(kg./m<sup>3</sup>)</b> | <b>(kg.)</b>      | <b>(kg./m<sup>3</sup>)</b> |
| Muestra 01      | 18.64         | 1316.62                    | 20.24             | 1429.64                    |
| Muestra 02      | 18.40         | 1299.67                    | 20.44             | 1443.77                    |
| Muestra 03      | 18.52         | 1308.15                    | 20.52             | 1449.42                    |
| Muestra 04      | 18.3          | 1292.61                    | 20.4              | 1440.94                    |
| Muestra 05      | 18.42         | 1301.08                    | 20.46             | 1445.18                    |
|                 | 92.28         | 6518.14                    | 102.06            | 7208.94                    |
| <b>Promedio</b> | <b>18.456</b> | <b>1303.63</b>             | <b>20.412</b>     | <b>1441.79</b>             |

Cuadro 3: Pesos unitarios y volumétricos del huso 8

Elaboración: los autores.

| <b>Promedio de los husos de los pesos unitarios.</b> |               |                            |                   |                            |
|--|---------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|
| <b>Resumen de promedios.</b>                         |               |                            |                   |                            |
| <b>Husos.</b>  | <b>Peso</b>   | <b>Peso volumétrico</b>    | <b>Peso</b>       | <b>Peso volumétrico.</b>   |
|  | <b>Suelto</b> | <b>Suelto</b>              | <b>Compactado</b> | <b>Compactado</b>          |
|  | <b>(kg.)</b>  | <b>(kg./m<sup>3</sup>)</b> | <b>(kg.)</b>      | <b>(kg./m<sup>3</sup>)</b> |
| <b>Huso 5</b>  | 18.362        | 1296.99                    | 20.224            | 1428.51                    |
| <b>Huso 67</b>                                       | 18.448        | 1303.06                    | 20.406            | 1441.36                    |
| <b>Huso 8</b>  | 18.456        | 1303.63                    | 20.412            | 1441.79                    |

Cuadro 4: Resumen de promedios de pesos unitarios y volumétricos de los husos 5,8 y 67

Elaboración: los autores.

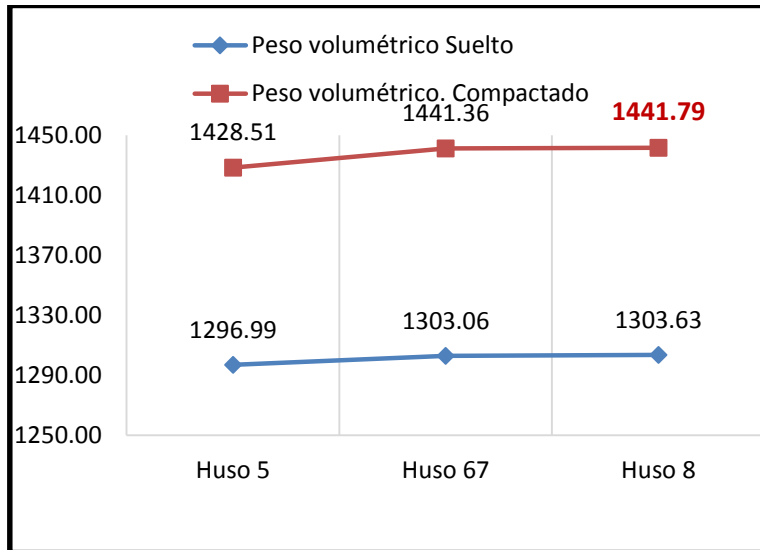


Gráfico 3: Resumen de promedios de los husos 5, 8 y 67

Elaboración: los autores.

#### 4.2.1.4 Combinación entre husos 5 (40%) – 67(60%).

Recipiente de 0.5 pies<sup>3</sup>

0.014157422 m<sup>3</sup>

Primera combinación: Huso 5 - Huso 67.

| Combinación<br>huso 5 - huso 67 | Peso            | Peso volumétrico                | Peso                | Peso volumétrico.                   |
|---------------------------------|-----------------|---------------------------------|---------------------|-------------------------------------|
|                                 | Suelto<br>(kg.) | Suelto<br>(kg./m <sup>3</sup> ) | Compactado<br>(kg.) | Compactado<br>(kg./m <sup>3</sup> ) |
| Muestra 01                      | 19.34           | 1366.07                         | 21.42               | 1512.99                             |
| Muestra 02                      | 19.29           | 1362.54                         | 21.25               | 1500.98                             |
| Muestra 03                      | 19.31           | 1363.95                         | 21.08               | 1488.97                             |
| Muestra 04                      | 19.41           | 1371.01                         | 21.38               | 1510.16                             |
| Muestra 05                      | 19.29           | 1362.54                         | 21.18               | 1496.04                             |
|                                 | 96.64           | 6826.10                         | 106.31              | 7509.14                             |
| <b>Promedio</b>                 | <b>19.328</b>   | <b>1365.22</b>                  | <b>21.262</b>       | <b>1501.83</b>                      |

Cuadro 5: Primera combinación de husos 5(40%)-  
67(60%)

Elaboración: los autores

#### 4.2.1.5 Combinación entre husos 5 (50%) – 67(50%)

| Segunda combinación: Huso 5 - Huso 67. |               |                       |               |                       |
|--|---------------|-----------------------|---------------|-----------------------|
| Combinación<br>huso 5 - huso 67        | Peso          | Peso volumétrico      | Peso          | Peso volumétrico.     |
|  | Suelto        | Suelto                | Compactado    | Compactado            |
| 50% - 50%                              | (kg.)         | (kg./m <sup>3</sup> ) | (kg.)         | (kg./m <sup>3</sup> ) |
| Muestra 01                             | 19.04         | 1344.88               | 21.56         | 1522.88               |
| Muestra 02                             | 19.00         | 1342.05               | 21.58         | 1524.29               |
| Muestra 03                             | 19.02         | 1343.46               | 21.56         | 1522.88               |
| Muestra 04                             | 19.06         | 1346.29               | 21.65         | 1529.23               |
| Muestra 05                             | 19.05         | 1345.58               | 21.51         | 1519.34               |
|  | 95.17         | 6722.27               | 107.86        | 7618.62               |
| <b>Promedio</b>                        | <b>19.034</b> | <b>1344.45</b>        | <b>21.572</b> | <b>1523.72</b>        |

Cuadro 6: Segunda combinación de huso 5 - huso 67

Elaboración: los autores

#### 4.2.1.6 Combinaciones entre husos 5(60%). – 67(40%)

| Combinación<br>huso 5 - huso 67 | Peso          | Peso volumétrico      | Peso          | Peso volumétrico.     |
|---------------------------------|---------------|-----------------------|---------------|-----------------------|
|                                 | Suelto        | Suelto                | Compactado    | Compactado            |
| 60% - 40%                       | (kg.)         | (kg./m <sup>3</sup> ) | (kg.)         | (kg./m <sup>3</sup> ) |
| Muestra 01                      | 18.72         | 1322.27               | 20.71         | 1462.84               |
| Muestra 02                      | 18.75         | 1324.39               | 20.73         | 1464.25               |
| Muestra 03                      | 18.68         | 1319.45               | 20.61         | 1455.77               |
| Muestra 04                      | 18.75         | 1324.39               | 20.69         | 1461.42               |
| Muestra 05                      | 18.69         | 1320.16               | 20.63         | 1457.19               |
|                                 | 93.59         | 6610.67               | 103.37        | 7301.47               |
| <b>Promedio</b>                 | <b>18.718</b> | <b>1322.13</b>        | <b>20.674</b> | <b>1460.29</b>        |

Cuadro 7: Tercera combinación de huso 5(60%) - 67(40%)

Elaboración los autores

#### 4.2.1.7 Resumen de los promedios de los pesos unitarios

| Combinación<br>huso 5 - huso 67 | Peso   | Peso volumétrico      | Peso       | Peso volumétrico.     |
|---------------------------------|--------|-----------------------|------------|-----------------------|
|                                 | Suelto | Suelto                | Compactado | Compactado            |
| Promedios                       | (kg.)  | (kg./m <sup>3</sup> ) | (kg.)      | (kg./m <sup>3</sup> ) |
| 40% - 60%                       | 19.328 | 1365.22               | 21.262     | 1501.83               |
| 50% - 50%                       | 19.034 | 1344.45               | 21.572     | 1523.72               |
| 60% - 40%                       | 18.718 | 1322.13               | 20.674     | 1460.29               |

Cuadro 8: Resumen de promedios de pesos unitarios y volumétricos de combinación huso 5- huso 67

Elaboración: los autores

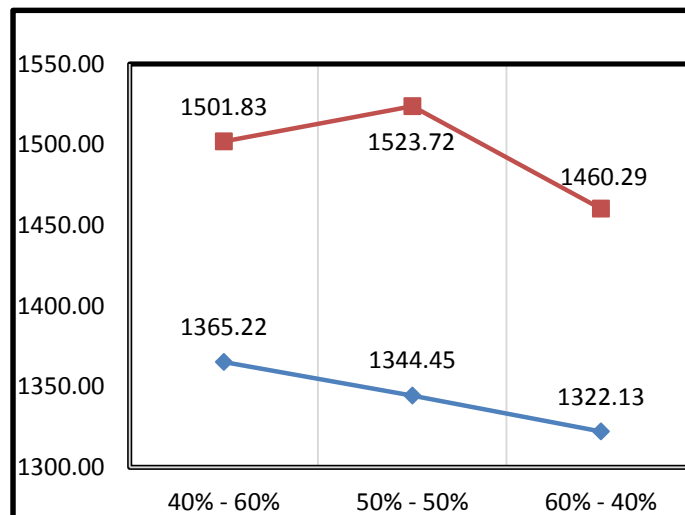


Gráfico 4: Resumen de promedios pesos volumétricos de combinaciones de huso 5 y huso 67

Elaboración: los autores

## 4.2.2 Combinaciones de los husos 8 y 67

### 4.2.2.1 Combinaciones entre husos 8 (40%) – 67(60%)

Cuadro de combinaciones de agregados gruesos.

Recipiente de 0.5 pies<sup>3</sup>

0.014157422 m<sup>3</sup>

#### Primera combinación: Huso 8 - Huso 67.

| Combinación Huso 8 - Huso 67 . | Peso         | Peso volumétrico      | Peso          | Peso volumétrico.     |
|--------------------------------|--------------|-----------------------|---------------|-----------------------|
|                                | Suelto       | Suelto                | Compactado    | Compactado            |
| 40% - 60%                      | (kg.)        | (kg./m <sup>3</sup> ) | (kg.)         | (kg./m <sup>3</sup> ) |
| Muestra 01                     | 18.81        | 1328.63               | 20.78         | 1467.78               |
| Muestra 02                     | 18.83        | 1330.04               | 20.75         | 1465.66               |
| Muestra 03                     | 18.82        | 1329.34               | 20.74         | 1464.96               |
| Muestra 04                     | 18.79        | 1327.22               | 20.74         | 1464.96               |
| Muestra 05                     | 18.8         | 1327.93               | 20.76         | 1466.37               |
|                                | 94.05        | 6643.16               | 103.77        | 7329.72               |
| <b>Promedio</b>                | <b>18.81</b> | <b>1328.63</b>        | <b>20.754</b> | <b>1465.94</b>        |

Cuadro 9: Primera combinación de husos 8 (40%)-  
67(60%)

Elaboración: los autores

### 4.2.2.2 Combinaciones entre husos 8 (50%) – 67(50%)

| Combinación Huso 8 - Huso 67 . | Peso          | Peso volumétrico      | Peso          | Peso volumétrico.     |
|--------------------------------|---------------|-----------------------|---------------|-----------------------|
|                                | Suelto        | Suelto                | Compactado    | Compactado            |
| 50% - 50%                      | (kg.)         | (kg./m <sup>3</sup> ) | (kg.)         | (kg./m <sup>3</sup> ) |
| Muestra 01                     | 19.04         | 1344.88               | 20.94         | 1479.08               |
| Muestra 02                     | 19.10         | 1349.12               | 20.96         | 1480.50               |
| Muestra 03                     | 19.08         | 1347.70               | 20.93         | 1478.38               |
| Muestra 04                     | 19.08         | 1347.70               | 20.94         | 1479.08               |
| Muestra 05                     | 19.09         | 1348.41               | 20.95         | 1479.79               |
|                                | 95.39         | 6737.81               | 104.72        | 7396.83               |
| <b>Promedio</b>                | <b>19.078</b> | <b>1347.56</b>        | <b>20.944</b> | <b>1479.37</b>        |

Cuadro 10: Segunda combinación huso 8(50%)- huso 67  
(50%)

Elaboración: los autores



#### 4.2.2.3 Combinaciones entre husos 8 (60%). – 67(40%)

| Combinación Huso<br>8 - Huso 67 . | Peso          | Peso volumétrico      | Peso          | Peso volumétrico.     |
|-----------------------------------|---------------|-----------------------|---------------|-----------------------|
|                                   | Suelto        | Suelto                | Compactado    | Compactado            |
| 40% - 60%                         | (kg.)         | (kg./m <sup>3</sup> ) | (kg.)         | (kg./m <sup>3</sup> ) |
| Muestra 01                        | 18.65         | 1317.33               | 20.61         | 1455.77               |
| Muestra 02                        | 18.62         | 1315.21               | 20.66         | 1459.31               |
| Muestra 03                        | 18.63         | 1315.92               | 20.65         | 1458.60               |
| Muestra 04                        | 18.66         | 1318.04               | 20.63         | 1457.19               |
| Muestra 05                        | 18.62         | 1315.21               | 20.63         | 1457.19               |
|                                   | 93.18         | 6581.71               | 103.18        | 7288.05               |
| <b>Promedio</b>                   | <b>18.636</b> | <b>1316.34</b>        | <b>20.636</b> | <b>1457.61</b>        |

Cuadro 11: Tercera combinación huso 8(60%)- huso 67(40%)

Elaboración: los autores

#### 4.2.2.4 Resumen de los promedios de los pesos unitarios

| Combinación Huso<br>8 - Huso 67 . | Peso   | Peso volumétrico      | Peso       | Peso volumétrico.     |
|-----------------------------------|--------|-----------------------|------------|-----------------------|
|                                   | Suelto | Suelto                | Compactado | Compactado            |
| Combinación.                      | (kg.)  | (kg./m <sup>3</sup> ) | (kg.)      | (kg./m <sup>3</sup> ) |
| 40% - 60%                         | 18.81  | 1328.63               | 20.754     | 1465.94               |
| 50% - 50%                         | 19.078 | 1347.56               | 20.944     | 1479.37               |
| 60% - 40%                         | 18.636 | 1316.34               | 20.636     | 1457.61               |

Cuadro 12: Resumen de pesos unitarios y volumétricos en combinaciones de huso 8 - huso 67

Elaboración: los autores.

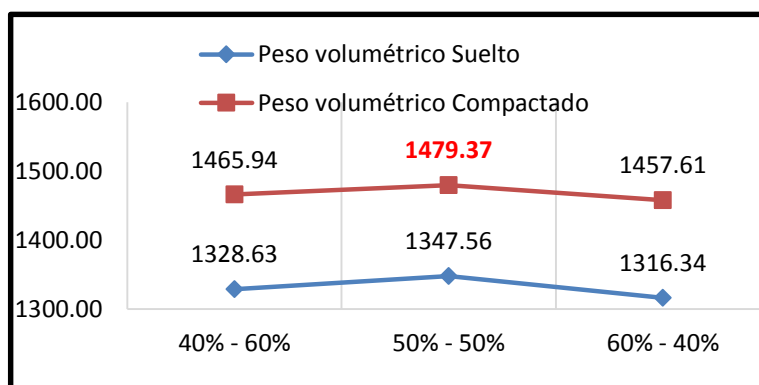


Gráfico 5: Resumen de los pesos volumétricos de las combinaciones entre el huso 8 - huso 67

Elaboración: los autores

## 4.2.3 Combinaciones de los husos 5 y 8

### 4.2.3.1 Combinaciones entre husos 5 (40%) – 8(60%)

| Cuadro de combinaciones de agregados gruesos. |               |                           |               |                       |
|---|---------------|---------------------------|---------------|-----------------------|
| Recipiente de 0.5 pies <sup>3</sup>           |               | 0.01415742 m <sup>3</sup> |               |                       |
| Primera combinación: Huso 5 - Huso 8.         |               |                           |               |                       |
| Combinación<br>huso 5 -huso 8                 | Peso          | Peso volumétrico          | Peso          | Peso volumétrico.     |
|   | Suelto        | Suelto                    | Compactado    | Compactado            |
| 40% - 60%                                     | (kg.)         | (kg./m <sup>3</sup> )     | (kg.)         | (kg./m <sup>3</sup> ) |
| Muestra 01                                    | 19.07         | 1347.00                   | 20.92         | 1477.67               |
| Muestra 02                                    | 19.1          | 1349.12                   | 20.96         | 1480.50               |
| Muestra 03                                    | 19.11         | 1349.82                   | 20.9          | 1476.26               |
| Muestra 04                                    | 19.08         | 1347.70                   | 20.91         | 1476.96               |
| Muestra 05                                    | 19.08         | 1347.70                   | 20.93         | 1478.38               |
|   | 95.44         | 6741.34                   | 104.62        | 7389.76               |
| <b>Promedio</b>                               | <b>19.088</b> | <b>1348.27</b>            | <b>20.924</b> | <b>1477.95</b>        |

Cuadro 13: Primera combinación huso 5(40%) - Huso 8(60%)

Elaboración: los autores

### 4.2.3.2. Combinaciones entre husos 5 (50%) – 8(50%)

| Combinación<br>huso 5 -huso 8 | Peso          | Peso volumétrico      | Peso         | Peso volumétrico.     |
|-------------------------------|---------------|-----------------------|--------------|-----------------------|
|                               | Suelto        | Suelto                | Compactado   | Compactado            |
| 50% - 50%                     | (kg.)         | (kg./m <sup>3</sup> ) | (kg.)        | (kg./m <sup>3</sup> ) |
| Muestra 01                    | 18.96         | 1339.23               | 20.83        | 1471.31               |
| Muestra 02                    | 18.91         | 1335.70               | 20.84        | 1472.02               |
| Muestra 03                    | 18.92         | 1336.40               | 20.8         | 1469.19               |
| Muestra 04                    | 18.95         | 1338.52               | 20.82        | 1470.61               |
| Muestra 05                    | 18.94         | 1337.81               | 20.81        | 1469.90               |
|                               | 94.68         | 6687.66               | 104.1        | 7353.03               |
| <b>Promedio</b>               | <b>18.936</b> | <b>1337.53</b>        | <b>20.82</b> | <b>1470.61</b>        |

Cuadro 14: Segunda combinación del huso 5(50%)-huso 8(50%)

Elaboración: los autores.

#### 4.2.3.3 Combinaciones entre husos 5 (60%). – 8(40%)

| Combinacion huso 5 -huso 8 | Peso         | Peso volumétrico | Peso          | Peso volumétrico. |
|----------------------------|--------------|------------------|---------------|-------------------|
|                            | Suelto       | Suelto           | Compactado    | Compactado        |
| 60% - 40%                  | (kg.)        | (kg./m³)         | (kg.)         | (kg./m³)          |
| Muestra 01                 | 18.66        | 1318.04          | 20.52         | 1449.42           |
| Muestra 02                 | 18.67        | 1318.74          | 20.48         | 1446.59           |
| Muestra 03                 | 18.68        | 1319.45          | 20.51         | 1448.71           |
| Muestra 04                 | 18.7         | 1320.86          | 20.49         | 1447.30           |
| Muestra 05                 | 18.69        | 1320.16          | 20.53         | 1450.12           |
|                            | 93.4         | 6597.25          | 102.53        | 7242.14           |
| <b>Promedio</b>            | <b>18.68</b> | <b>1319.45</b>   | <b>20.506</b> | <b>1448.43</b>    |

Cuadro 15: Tercera combinación del huso 5(60%)- huso 8(40%)

Elaboración: los autores

#### 4.2.3.4 Resumen de los promedios de los pesos unitarios de la combinación huso 5 – huso 8

| Combinacion huso 5 -huso 8 | Peso   | Peso volumétrico | Peso       | Peso volumétrico. |
|----------------------------|--------|------------------|------------|-------------------|
|                            | Suelto | Suelto           | Compactado | Compactado        |
| Promedios                  | (kg.)  | (kg./m³)         | (kg.)      | (kg./m³)          |
| 40% - 60%                  | 19.088 | 1348.27          | 20.924     | 1477.95           |
| 50% - 50%                  | 18.936 | 1337.53          | 20.82      | 1470.61           |
| 60% - 40%                  | 18.68  | 1319.45          | 20.506     | 1448.43           |

Cuadro 16: Resumen de los promedios de los pesos unitarios y volumétricos de la combinación huso 5- huso 8

Elaboración: los autores

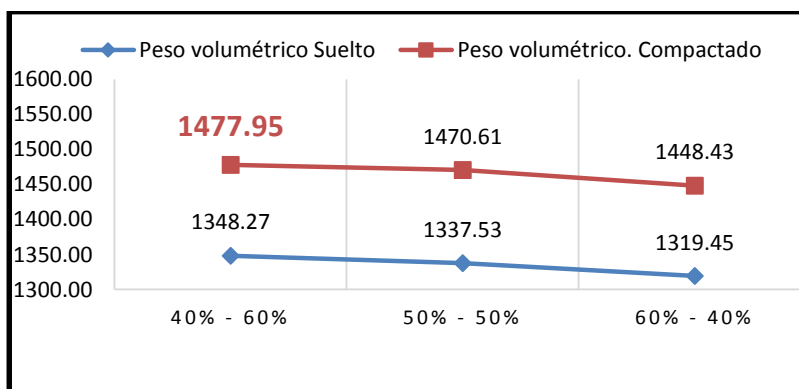


Gráfico 6: Resumen de los pesos volumétricos promedios de huso 5 - huso 8

Elaboración: los autores

**4.2.3.5 Resumen de los pesos volumétricos promedios de las diferentes combinaciones entre los husos 5,8 y 67 en agregado convencional**

| Combinaciones | Huso 5 - Huso 67 | Huso 8 - Huso 67 | Huso 5 - Huso 8 |
|---------------|------------------|------------------|-----------------|
| 40% - 60%     | 1501.83          | 1465.94          | 1477.95         |
| 50% - 50%     | 1523.72          | 1479.37          | 1470.61         |
| 60% - 40%     | 1460.72          | 1457.61          | 1448.43         |

Cuadro 17: Resumen de los pesos volumétricos promedios de combinaciones entre husos 5,8 y 67  
Elaboración: los autores

Se concluye que el mayor peso unitario compactado se da en la combinación de los agregados del huso 5 (50%) – 67 (50%) con un peso volumétrico de **1,523.72kg/m<sup>3</sup>**.

**4.2.4 Pesos unitarios de agregados de alta densidad**

A continuación, se analizan los pesos unitarios del agregado de alta densidad; constituido por el mineral de bario con la finalidad de identificar el mayor peso unitario para demostrar la hipótesis planteada.

**4.2.4.1 Pesos unitarios del huso 5 de bario**

Se realizaron cinco tomas de muestra del agregado de bario huso 5, obteniéndose los resultados según el siguiente cuadro:

| Recipiente de 0.5 pies <sup>3</sup> |               | 0.014157422 m <sup>3</sup> |                             |
|-------------------------------------|---------------|----------------------------|-----------------------------|
| Huso 5                              |               |                            |                             |
| Huso 5                              | Peso Suelto   | Peso volumétrico Suelto    | Peso volumétrico Compactado |
|                                     | (kg.)         | (kg./m <sup>3</sup> )      | (kg./m <sup>3</sup> )       |
| Muestra 01                          | 31.71         | 2239.81                    | 2524.47                     |
| Muestra 02                          | 32.04         | 2263.12                    | 2476.44                     |
| Muestra 03                          | 32.34         | 2284.31                    | 2534.36                     |
| Muestra 04                          | 31.8          | 2246.17                    | 2514.58                     |
| Muestra 05                          | 32.2          | 2274.43                    | 2490.57                     |
|                                     | 160.09        | 11307.85                   | 12540.42                    |
| <b>Promedio</b>                     | <b>32.018</b> | <b>2261.57</b>             | <b>2508.08</b>              |

Cuadro 18: Pesos unitarios del huso 5 de bario

Elaboración: los autores

#### 4.2.4.2 Pesos unitarios del huso 67 de bario

Se realizaron cinco tomas de muestra del agregado de bario huso 67, obteniéndose los resultados según el siguiente cuadro.

| Huso 67         | Peso         | Peso volumétrico      | Peso         | Peso volumétrico.     |
|-----------------|--------------|-----------------------|--------------|-----------------------|
|                 | Suelto       | Suelto                | Compactado   | Compactado            |
|                 | (Kg.)        | (kg./m <sup>3</sup> ) | (Kg.)        | (kg./m <sup>3</sup> ) |
| Muestra 01      | 32.36        | 2285.73               | 36.18        | 2555.55               |
| Muestra 02      | 33.32        | 2353.54               | 37.24        | 2630.42               |
| Muestra 03      | 32.1         | 2267.36               | 36.48        | 2576.74               |
| Muestra 04      | 33.08        | 2336.58               | 36.51        | 2578.86               |
| Muestra 05      | 32.84        | 2319.63               | 37.04        | 2616.30               |
|                 | 163.7        | 11562.84              | 183.45       | 12957.87              |
| <b>Promedio</b> | <b>32.74</b> | <b>2312.57</b>        | <b>36.69</b> | <b>2591.57</b>        |

Cuadro 19: Pesos unitarios y volumétricos del huso 67 de bario

Elaboración: los autores

#### 4.2.4.3 Pesos unitarios del huso 8 de bario

Se realizaron cinco tomas de muestra del agregado de bario huso 8, obteniéndose los resultados según el siguiente cuadro.

| Huso 8          | Peso         | Peso volumétrico      | Peso          | Peso volumétrico.     |
|-----------------|--------------|-----------------------|---------------|-----------------------|
|                 | Suelto       | Suelto                | Compactado    | Compactado            |
|                 | (kg.)        | (kg./m <sup>3</sup> ) | (kg.)         | (kg./m <sup>3</sup> ) |
| Muestra 01      | 32.31        | 2282.20               | 36.24         | 2559.79               |
| Muestra 02      | 32.32        | 2282.90               | 36.85         | 2602.88               |
| Muestra 03      | 32.3         | 2281.49               | 36.41         | 2571.80               |
| Muestra 04      | 32.28        | 2280.08               | 36.25         | 2560.49               |
| Muestra 05      | 32.34        | 2284.31               | 36.12         | 2551.31               |
|                 | 161.55       | 11410.98              | 181.87        | 12846.27              |
| <b>Promedio</b> | <b>32.31</b> | <b>2282.20</b>        | <b>36.374</b> | <b>2569.25</b>        |

Cuadro 20: Pesos unitarios y volumétricos del huso 8 de bario

Elaboración: los autores

#### 4.2.4.4 Resumen de los promedios de los pesos unitarios

| Husos.         | Peso   | Peso volumétrico      | Peso       | Peso volumétrico.     |
|----------------|--------|-----------------------|------------|-----------------------|
|                | Suelto | Suelto                | Compactado | Compactado            |
|                | (kg.)  | (kg./m <sup>3</sup> ) | (kg.)      | (kg./m <sup>3</sup> ) |
| <b>Huso 5</b>  | 32.018 | 2261.57               | 35.508     | 2508.08               |
| <b>Huso 67</b> | 32.74  | 2312.57               | 36.69      | 2591.57               |
| <b>Huso 8</b>  | 32.636 | 2305.22               | 36.832     | 2601.60               |

Cuadro 21: Promedio de los pesos unitarios de los husos 5,67 y 8

Elaboración: los autores

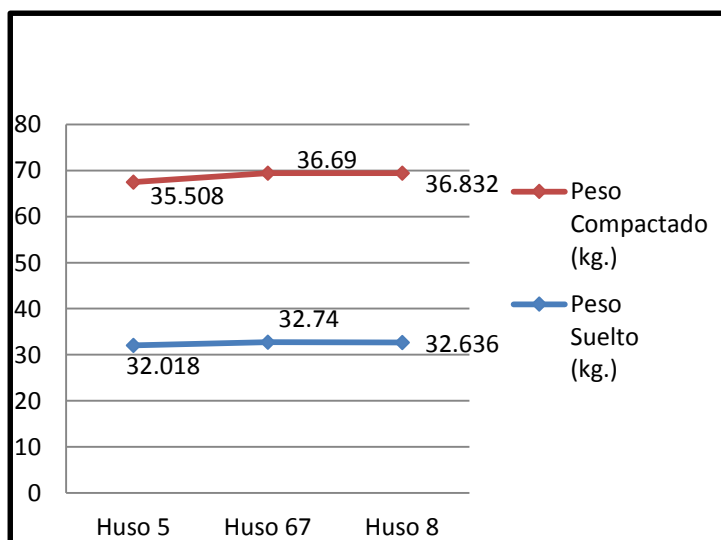


Gráfico 7: Promedio de los pesos unitarios de los husos

Elaboración: los autores

#### 4.2.4.5 Combinaciones del huso 5 (40%) - 67 (60%) del agregado de alta densidad

| Recipiente de 0.5 pies <sup>3</sup> |               |                       | 0.014157422 m <sup>3</sup> |                       |
|-------------------------------------|---------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|
| Combinación huso 5 - huso 67        | Peso          | Peso volumétrico      | Peso                       | Peso volumétrico      |
|                                     | Suelto        | Suelto                | Compactado                 | Compactado            |
| 40% - 60%                           | (Kg.)         | (kg./m <sup>3</sup> ) | (Kg.)                      | (kg./m <sup>3</sup> ) |
| Muestra 01                          | 32.52         | 2297.03               | 38.18                      | 2696.82               |
| Muestra 02                          | 32.48         | 2294.20               | 38.25                      | 2701.76               |
| Muestra 03                          | 32.41         | 2289.26               | 38.14                      | 2693.99               |
| Muestra 04                          | 32.38         | 2287.14               | 38.26                      | 2702.47               |
| Muestra 05                          | 32.44         | 2291.38               | 38.2                       | 2698.23               |
|                                     | 162.23        | 11459.01              | 191.03                     | 13493.28              |
| <b>Promedio</b>                     | <b>32.446</b> | <b>2291.80</b>        | <b>38.206</b>              | <b>2698.66</b>        |

Cuadro 22: Primera combinación huso 5(40%)- huso 67(60%) de bario

Elaboración: los autores

#### 4.2.4.6 Combinaciones del huso 5 (50%) - 67 (50%) del agregado de alta densidad

| Combinación huso 5 - huso 67 | Peso   | Peso volumétrico      | Peso       | Peso volumétrico.     |
|------------------------------|--------|-----------------------|------------|-----------------------|
|                              | Suelto | Suelto                | Compactado | Compactado            |
| 50% - 50%                    | (Kg.)  | (kg./m <sup>3</sup> ) | (Kg.)      | (kg./m <sup>3</sup> ) |
| Muestra 01                   | 32.86  | 2321.04               | 38.91      | 2748.38               |

|                 |               |                |               |                |
|-----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
| Muestra 02      | 33.06         | 2335.17        | 38.9          | 2747.68        |
| Muestra 03      | 32.98         | 2329.52        | 38.85         | 2744.14        |
| Muestra 04      | 32.74         | 2312.57        | 38.86         | 2744.85        |
| Muestra 05      | 33.32         | 2353.54        | 38.82         | 2742.02        |
|                 | 164.96        | 11651.84       | 194.34        | 13727.08       |
| <b>Promedio</b> | <b>32.992</b> | <b>2330.37</b> | <b>38.868</b> | <b>2745.42</b> |

Cuadro 23: Segunda combinación huso 5(50%) - huso 67(50%) de bario

Elaboración: los autores

#### 4.2.4.7 Combinaciones del huso 5 (60%) - 67 (40%) del agregado de alta densidad

| Combinación huso 5 - huso 67 | Peso          | Peso volumétrico      | Peso          | Peso volumétrico.     |
|------------------------------|---------------|-----------------------|---------------|-----------------------|
|                              | Suelto        | Suelto                | Compactado    | Compactado            |
| 60% - 40%                    | (Kg.)         | (kg./m <sup>3</sup> ) | (Kg.)         | (kg./m <sup>3</sup> ) |
| Muestra 01                   | 18.72         | 1322.27               | 20.71         | 1462.84               |
| Muestra 02                   | 18.75         | 1324.39               | 20.73         | 1464.25               |
| Muestra 03                   | 18.68         | 1319.45               | 20.61         | 1455.77               |
| Muestra 04                   | 18.75         | 1324.39               | 20.69         | 1461.42               |
| Muestra 05                   | 18.69         | 1320.16               | 20.63         | 1457.19               |
|                              | 93.59         | 6610.67               | 103.37        | 7301.47               |
| <b>Promedio</b>              | <b>18.718</b> | <b>1322.13</b>        | <b>20.674</b> | <b>1460.29</b>        |

Cuadro 24: Tercera combinación huso 5(60%)- huso 67(40%) de bario

Elaboración: los autores

#### 4.2.4.8 Resumen de combinaciones del huso 5 - huso 67 del agregado de alta densidad

| Combinación Huso 5 - Huso 67. |             |                         |                 |                              |
|-------------------------------|-------------|-------------------------|-----------------|------------------------------|
| Resumen de promedios.         |             |                         |                 |                              |
| Combinación huso 5 - huso 67  | Peso Suelto | Peso volumétrico Suelto | Peso Compactado | Peso volumétrico. Compactado |
| Promedios.                    | (Kg.)       | (kg./m <sup>3</sup> )   | (Kg.)           | (kg./m <sup>3</sup> )        |
| 40% - 60%                     | 32.446      | 2291.80                 | 38.206          | 2698.66                      |
| 50% - 50%                     | 32.992      | 2330.37                 | 38.868          | 2745.42                      |
| 60% - 40%                     | 32.31       | 2282.20                 | 38.096          | 2690.89                      |



Cuadro 25: Resumen de promedios huso 5- huso 67 de bario

Elaboración: los autores

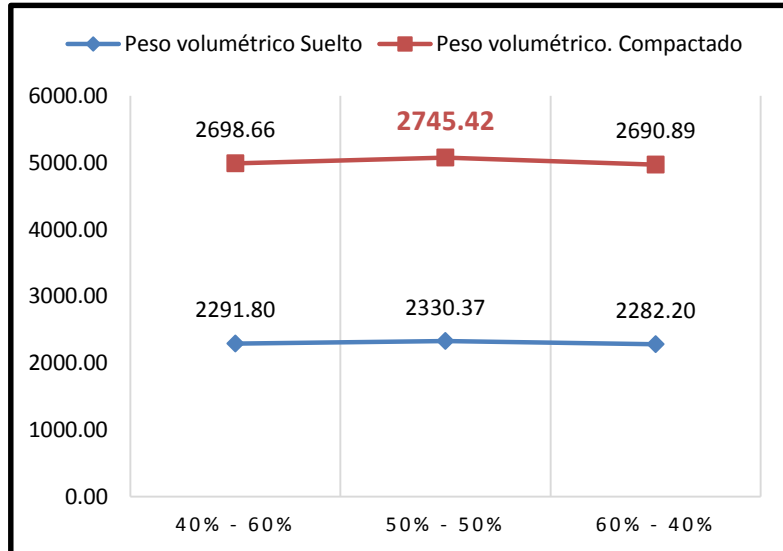


Gráfico 8: Resumen de pesos volumétricos huso 5- huso 67 de bario

Elaboración: los autores

#### 4.2.4.9 Combinaciones del huso 8 (40%) - 67 (60%) del agregado de alta densidad

| Combinación huso 8 - huso 67 | Peso Suelto (Kg.) | Peso volumétrico Suelto (kg./m³) | Peso Compactado (Kg.) | Peso volumétrico Compactado (kg./m³) |
|------------------------------|-------------------|----------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| Muestra 01                   | 30.68             | 2167.06                          | 36.1                  | 2549.90                              |
| Muestra 02                   | 30.64             | 2164.24                          | 36.11                 | 2550.61                              |
| Muestra 03                   | 30.59             | 2160.70                          | 36.09                 | 2549.19                              |
| Muestra 04                   | 30.63             | 2163.53                          | 36.08                 | 2548.49                              |
| Muestra 05                   | 30.65             | 2164.94                          | 36.12                 | 2551.31                              |
|                              | 153.19            | 10820.47                         | 180.5                 | 12749.50                             |
| <b>Promedio</b>              | <b>30.638</b>     | <b>2164.09</b>                   | <b>36.1</b>           | <b>2549.90</b>                       |

Cuadro 26: Primera combinación huso 8 - huso 67 de bario

Elaboración: los autores

**4.2.4.10 Combinaciones del huso 8 (50%) - 67 (50%) del agregado de alta densidad**

| Combinación huso 8 - huso 67 | Peso          | Peso volumétrico      | Peso          | Peso volumétrico.     |
|------------------------------|---------------|-----------------------|---------------|-----------------------|
|                              | Suelto        | Suelto                | Compactado    | Compactado            |
| 50% - 50%                    | (Kg.)         | (kg./m <sup>3</sup> ) | (Kg.)         | (kg./m <sup>3</sup> ) |
| Muestra 01                   | 30.98         | 2188.25               | 36.37         | 2568.97               |
| Muestra 02                   | 30.86         | 2179.78               | 36.31         | 2564.73               |
| Muestra 03                   | 30.81         | 2176.24               | 36.35         | 2567.56               |
| Muestra 04                   | 30.85         | 2179.07               | 36.39         | 2570.38               |
| Muestra 05                   | 30.94         | 2185.43               | 36.37         | 2568.97               |
|                              | 154.44        | 10908.77              | 181.79        | 12840.61              |
| <b>Promedio</b>              | <b>30.888</b> | <b>2181.75</b>        | <b>36.358</b> | <b>2568.12</b>        |

Cuadro 27: Segunda combinación huso 8- huso 67 de bario

Elaboración: los autores

**4.2.4.11 Combinaciones del huso 8 (40%) - 67 (60%) del agregado de alta densidad**

| Tercera combinación: Huso 8 - Huso 67. |              |                       |               |                       |
|--|--------------|-----------------------|---------------|-----------------------|
| Combinación huso 8 - huso 67           | Peso         | Peso volumétrico      | Peso          | Peso volumétrico.     |
|  | Suelto       | Suelto                | Compactado    | Compactado            |
| 40% - 60%                              | (Kg.)        | (kg./m <sup>3</sup> ) | (Kg.)         | (kg./m <sup>3</sup> ) |
| Muestra 01                             | 30.35        | 2143.75               | 35.74         | 2524.47               |
| Muestra 02                             | 30.38        | 2145.87               | 35.78         | 2527.30               |
| Muestra 03                             | 30.4         | 2147.28               | 35.77         | 2526.59               |
| Muestra 04                             | 30.39        | 2146.58               | 35.74         | 2524.47               |
| Muestra 05                             | 30.38        | 2145.87               | 35.79         | 2528.00               |
|  | 151.9        | 10729.35              | 178.82        | 12630.83              |
| <b>Promedio</b>                        | <b>30.38</b> | <b>2145.87</b>        | <b>35.764</b> | <b>2526.17</b>        |

Cuadro 28: Tercera combinación del huso 8(40%)- huso 67(60%) de bario

Elaboración: los autores

**4.2.4.12 Resumen de combinaciones del huso 8 - 67 del agregado de alta densidad**

| <b>Combinación huso 8 - huso 67.</b> |                    |                                |                        |                                    |
|--------------------------------------|--------------------|--------------------------------|------------------------|------------------------------------|
| <b>Resumen de promedios.</b>         |                    |                                |                        |                                    |
| <b>Combinación huso 8 - huso 67</b>  | <b>Peso Suelto</b> | <b>Peso volumétrico Suelto</b> | <b>Peso Compactado</b> | <b>Peso volumétrico Compactado</b> |
| <b>Promedios</b>                     | <b>(Kg.)</b>       | <b>(kg./m³)</b>                | <b>(Kg.)</b>           | <b>(kg./m³)</b>                    |
| <b>40% - 60%</b>                     | 30.638             | 2164.09                        | 36.1                   | 2549.90                            |
| <b>50% - 50%</b>                     | 30.888             | 2181.75                        | 36.358                 | 2568.12                            |
| <b>60% - 40%</b>                     | 30.38              | 2145.87                        | 35.764                 | 2526.17                            |

Cuadro 29: Resumen de promedios de huso 8 - huso 67 de bario

Elaboración: los autores

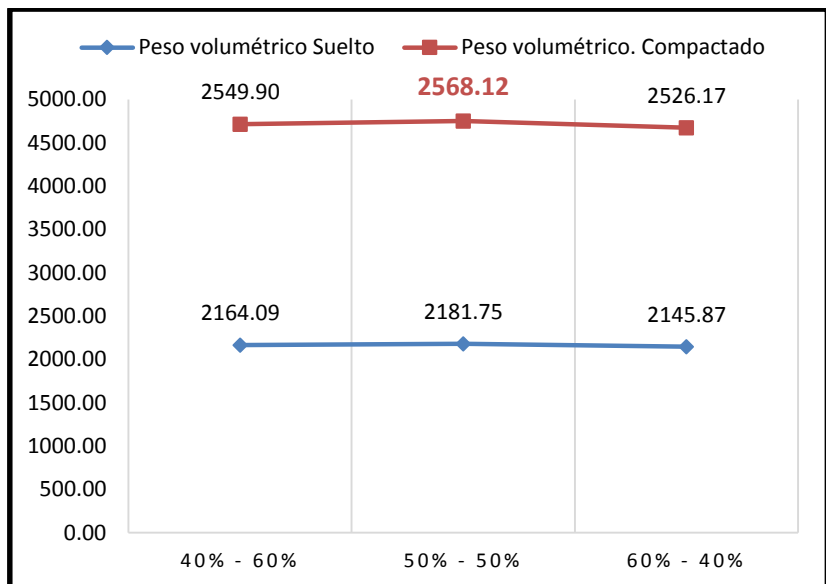


Gráfico 9: Pesos volumétricos de diferentes proporciones huso 8- huso 67 de bario

Elaboración: los autores

**4.2.4.13 Combinaciones del huso 5 (40%) - 8 (60%) del agregado de alta densidad**

| Combinación huso 5 - huso 8 | Peso          | Peso volumétrico      | Peso         | Peso volumétrico.     |
|-----------------------------|---------------|-----------------------|--------------|-----------------------|
|                             | Suelto        | Suelto                | Compactado   | Compactado            |
| 40% - 60%                   | (Kg.)         | (kg./m <sup>3</sup> ) | (kg.)        | (kg./m <sup>3</sup> ) |
| Muestra 01                  | 30.12         | 2127.51               | 35.41        | 2501.16               |
| Muestra 02                  | 30.14         | 2128.92               | 35.44        | 2503.28               |
| Muestra 03                  | 30.11         | 2126.80               | 35.45        | 2503.99               |
| Muestra 04                  | 30.13         | 2128.21               | 35.47        | 2505.40               |
| Muestra 05                  | 30.12         | 2127.51               | 35.43        | 2502.57               |
|                             | 150.62        | 10638.94              | 177.2        | 12516.40              |
| <b>Promedio</b>             | <b>30.124</b> | <b>2127.79</b>        | <b>35.44</b> | <b>2503.28</b>        |

Cuadro 30: Primera combinación huso 5 - huso 8 de bario

Elaboración: los autores

**4.2.4.14 Combinaciones del huso 5 (50%) - 8 (50%) del agregado de alta densidad**

| Combinación huso 5 - huso 8 | Peso          | Peso volumétrico      | Peso          | Peso volumétrico.     |
|-----------------------------|---------------|-----------------------|---------------|-----------------------|
|                             | Suelto        | Suelto                | Compactado    | Compactado            |
| 50% - 50%                   | (Kg.)         | (kg./m <sup>3</sup> ) | (Kg.)         | (kg./m <sup>3</sup> ) |
| Muestra 01                  | 30.21         | 2133.86               | 35.47         | 2505.40               |
| Muestra 02                  | 30.23         | 2135.28               | 35.5          | 2507.52               |
| Muestra 03                  | 30.19         | 2132.45               | 35.49         | 2506.81               |
| Muestra 04                  | 30.25         | 2136.69               | 35.51         | 2508.23               |
| Muestra 05                  | 30.24         | 2135.98               | 35.52         | 2508.93               |
|                             | 151.12        | <b>10674.26</b>       | 177.49        | 12536.89              |
| <b>Promedio</b>             | <b>30.224</b> | <b>2134.85</b>        | <b>35.498</b> | <b>2507.38</b>        |

Cuadro 31: Segunda combinación huso 5 - huso 8 de bario

Elaboración: los autores

#### 4.2.4.15 Combinaciones del huso 5 (60%) - 8 (40%) del agregado de alta densidad

| Combinación huso 5 - huso 8 | Peso          | Peso volumétrico      | Peso        | Peso volumétrico      |
|-----------------------------|---------------|-----------------------|-------------|-----------------------|
|                             | Suelto        | Suelto                | Compactado  | Compactado            |
| 60% - 40%                   | (Kg.)         | (kg./m <sup>3</sup> ) | (Kg.)       | (kg./m <sup>3</sup> ) |
| Muestra 01                  | 30.05         | 2122.56               | 35.4        | 2500.46               |
| Muestra 02                  | 30.06         | 2123.27               | 35.39       | 2499.75               |
| Muestra 03                  | 30.08         | 2124.68               | 35.38       | 2499.04               |
| Muestra 04                  | 30.09         | 2125.39               | 35.42       | 2501.87               |
| Muestra 05                  | 30.06         | 2123.27               | 35.41       | 2501.16               |
|                             | 150.34        | 10619.16              | 177         | 12502.28              |
| <b>Promedio</b>             | <b>30.068</b> | <b>2123.83</b>        | <b>35.4</b> | <b>2500.46</b>        |

Cuadro 32: Tercera combinación huso 5 - huso 8 de bario

Elaboración: los autores

#### 4.2.4.16 Resumen de combinaciones del huso 5 - 8 del agregado de alta densidad

| Combinación huso 5 - huso 8 | Peso   | Peso volumétrico      | Peso       | Peso volumétrico.     |
|-----------------------------|--------|-----------------------|------------|-----------------------|
|                             | Suelto | Suelto                | Compactado | Compactado            |
| Promedios.                  | (Kg.)  | (kg./m <sup>3</sup> ) | (Kg.)      | (kg./m <sup>3</sup> ) |
| <b>40% - 60%</b>            | 30.124 | 2127.79               | 35.44      | 2503.28               |
| <b>50% - 50%</b>            | 30.224 | 2134.85               | 35.498     | 2507.38               |
| <b>60% - 40%</b>            | 30.068 | 2123.83               | 35.4       | 2500.46               |

Cuadro 33: Resumen de promedios combinación de huso 5 - huso 8 de bario

Elaboración: los autores

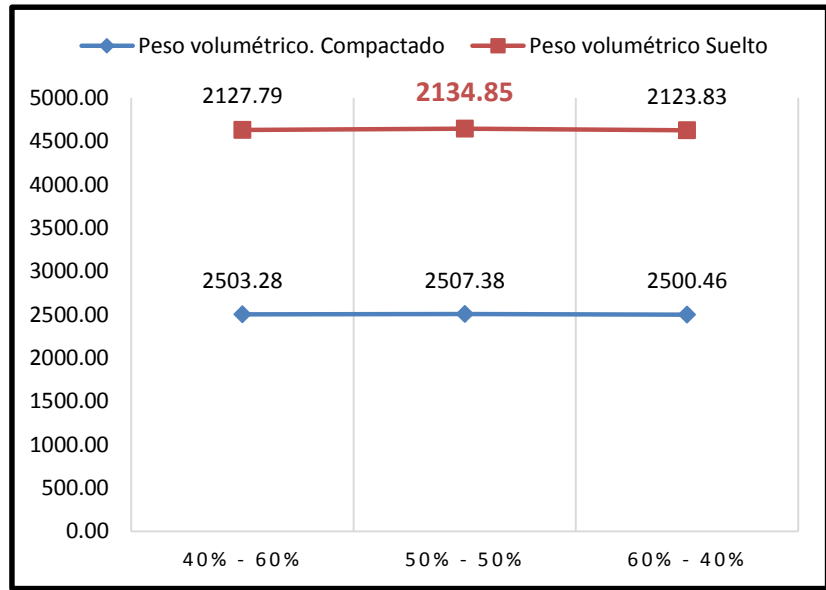


Gráfico 10: Pesos volumétricos promedios de diferentes proporciones entre huso 5 - huso 8 de bario

Elaboración: los autores

#### 4.2.4.17 Resumen de combinaciones del agregado de alta densidad

| Combinaciones    | Huso 5 - Huso 67 | Huso 8 - Huso 67 | Huso 5 - Huso 8 |
|------------------|------------------|------------------|-----------------|
| <b>40% - 60%</b> | 2698.66          | 2549.90          | 2503.28         |
| <b>50% - 50%</b> | 2745.42          | 2568.12          | 2507.38         |
| <b>60% - 40%</b> | 2690.89          | 2526.17          | 2500.46         |

Cuadro 34: Resumen de pesos volumétricos promedios de diferentes proporciones entre los husos 5,6 y 67 de bario

Elaboración: los autores.

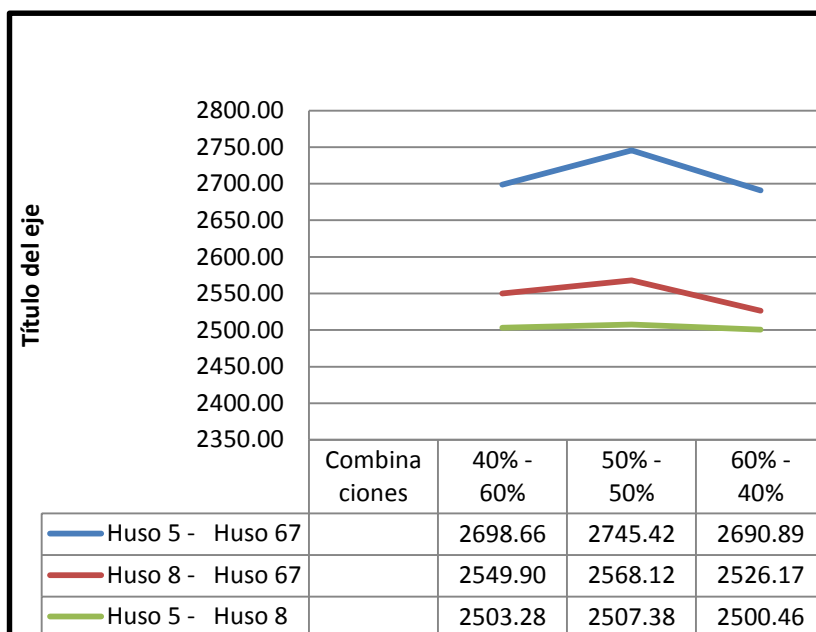


Gráfico 11: Resumen de pesos volumétricos promedios de diferentes proporciones entre los husos 5,67 y 8 de bario

Elaboración: los autores

Se concluye que el mayor peso volumétrico de 2745.40 Kg/m<sup>3</sup>, se obtiene con la combinación del huso 05 con el huso 67 al 50% - 50% respectivamente.

#### 4.2.4.18 Pesos unitarios de agregado fino de Bario

| Huso            | Peso          | Peso volumétrico             | Peso             | Peso volumétrico.                |
|-----------------|---------------|------------------------------|------------------|----------------------------------|
|                 | Suelto (kg.)  | Suelto (kg./m <sup>3</sup> ) | Compactado (kg.) | Compactado (kg./m <sup>3</sup> ) |
| Muestra 01      | 33.62         | 2374.73                      | 37.06            | 2617.71                          |
| Muestra 02      | 33.64         | 2376.14                      | 37.08            | 2619.12                          |
| Muestra 03      | 33.59         | 2372.61                      | 37.01            | 2614.18                          |
| Muestra 04      | 33.68         | 2378.96                      | 36.99            | 2612.76                          |
| Muestra 05      | 33.65         | 2376.85                      | 37.1             | 2620.53                          |
|                 | 168.18        | 11879.28                     | 185.24           | 13084.30                         |
| <b>Promedio</b> | <b>33.636</b> | <b>2375.86</b>               | <b>37.048</b>    | <b>2616.86</b>                   |

Cuadro 35: Peso unitario de agregado fino de bario

Elaboración: los autores

#### 4.2.5 Diseño de mezcla

Después de realizar el análisis de la identificación del mayor peso volumétrico peso volumétrico que da como resultado 2,745.42 kg/m<sup>3</sup> y con las proporciones identificadas según el grafico 21, se procede a elaborar el diseño de mezcla.

Características físicas de los agregados gruesos:

|  |          |
|--|----------|
| Peso específico de la masa                     | 4.34     |
|  |          |
| Peso específico de la masa S.S.S.              | 4.354    |
| Peso específico aparente                       | 4.4399   |
| Peso unitario suelto (kg/m <sup>3</sup> )      | 2330.37  |
| Peso unitario compactado (Kg./m <sup>3</sup> ) | 2745.42  |
| Contenido de humedad                           | 0.09%    |
| Absorción                                      | 0.30%    |
| Tamaño máximo nominal                          | ¾'       |
| Forma agregado                                 | Angular. |

Cuadro 36: Características físicas del agregado grueso de bario - huso 5 (50%) - huso 67 (50%)

Elaboración: los autores.

Características físicas de los agregados finos:

|  |         |
|--|---------|
| Peso específico de la masa                     | 4.23    |
| Peso específico de la masa S.S.S.              | 4.24    |
| Peso específico aparente                       | 4.25    |
| Peso unitario suelto (kg/m <sup>3</sup> )      | 2375.86 |
| Peso unitario compactado (Kg./m <sup>3</sup> ) | 2616.86 |
| Contenido de humedad                           | 0.50%   |
| Absorción                                      | 0.35%   |
| Módulo de fineza                               | 3.34    |

Cuadro 37: Características físicas del agregado fino de bario

Elaboración: los autores.



Parámetros a considerar:

El tamaño nominal es de 3/4'

Estimado del contenido de aire: 2% - Según norma ACI

El cemento a utilizar es el cemento portland I.

El agregado global se obtiene con la combinación del 58% como agregado grueso y 42% como agregado fino.

El asentamiento según tabla del ACI debe ser entre 3 – 4 pulgadas.

La relación de agua cemento será de 0.60.

La cantidad de agua según norma para el tamaño nominal indicado es de 205 litros/m<sup>3</sup>.

Cemento es igual a 341.67 kg.

Peso específico del agregado fino de bario es: 4.23

Contenido de humedad del agregado fino de bario es 0.5%

Absorción del agregado fino de bario es 0.35%

Peso específico del agregado grueso de bario es: 4.34

Contenido de humedad del agregado grueso de bario es 0.09%

Absorción del agregado grueso de bario es 0.30%.

**Diseño unitario.**

**Calculo de volumen de los agregados.**

El volumen del agregado grueso está dado por la siguiente ecuación:

$1 - (\text{agua} + \text{aire atrapado} + \text{peso cemento}) =$

$1 - (0.205 + 0.02 + 341.67 / (3.15 * 1000)) = 0.667 \text{m}^3$

**Calculo de los pesos de los agregados.**

**Peso del agregado fino (AF)** = % del agregado fino X volumen del agregado total x densidad del agregado fino de bario = 42% x 0.667m<sup>3</sup> = 0.2801 x 4.23 = 1,184.82 kg.

**Peso del agregado grueso (AG)** = % del agregado grueso X volumen del agregado total x densidad del agregado grueso de bario = 58% x 0.667m<sup>3</sup> = 0.386 x 4.34 = 1,675.24 kg.

#### **Cantidad Huso 5**

Peso AG x 50% huso 5 = 837.62 Kg.

#### **Cantidad Huso 67**

Peso AG x 50% huso67 = 837.62Kg.

#### **Diseño Unitario Seco.**

Cemento = 341.67 / 341.67 = 1.00

Relación a/c = 205 / 341.67 = 0.60

Agregado fino = 1,184.82 / 341.67 = 3.46

Agregado grueso = 1,675.24 / 341.67 = 4.90

#### **Corrección por humedad**

La humedad se corrige agregándole el porcentaje calculado:

Peso AF húmedo = Peso seco AF x (1 + Humedad AF/100)  
= 1,184.82x (1 +(0.09/100))=1,185.88 Kg.

Peso AG húmedo = Peso seco AG x (1 + Humedad AF/100)  
= 1,675.04x (1 + (0.50/100)) =1,683.41 Kg.

#### **Corrección por humedad y absorción.**

Corrección del AF = Peso seco AF x (%Humedad AF - % Absorción)/100

= 1,184.82 x (0.50-0.35) /100 = 1.77

$$\begin{aligned} \text{Corrección del AG} &= \text{Peso seco AG} \times (\% \text{Hum. AF} - \% \text{Absorción.}) / 100 \\ &= 1,675.04 \times (0.09 - 0.30) / 100 && \underline{= -3.517} \\ &&& = -1.748 \end{aligned}$$

Corrección de agua:

$$205 \text{ litros} - (-1.748) = 206.748 \text{ litros.}$$

### **Diseño Unitario Obra.**

$$\text{Cemento} = 341.67 \text{ kg.}$$

$$\text{Relación a/c} = 206.748 \text{ litros}$$

$$\text{Agregado fino} = 1,184.82 \text{ kg.}$$

$$\text{Agregado grueso} = 1,675.04 \text{ kg.}$$

### **Calculo de tanda por capacidad de mezcladora.**

#### **Dimensiones mezcladora:**

$$\text{Diámetro} = 0.30 \text{ m.}$$

$$\text{Longitud} = 0.30 \text{ m.}$$

$$\text{Volumen} = (\pi \times r^2 \times L) = 0.0848 \text{ m}^3.$$

$$\text{Volumen útil} = \text{Volumen} / 5(*) = 0.01696 \text{ m}^3.$$

$$\text{Cemento} = 341.67 \text{ kg} \times 0.01696 = 5.79 \text{ kg.}$$

$$\text{Relación a/c} = 206.748 \text{ litros} \times 0.01696 = 3.506 \text{ litros.}$$

$$\text{Agregado fino} = 1,184.82 \text{ kg.} \times 0.01696 = 20.09 \text{ kg.}$$

$$\text{Agregado grueso} = 1,675.04 \text{ kg.} \times 0.01696 = \underline{28.408 \text{ kg.}}$$

$$= 57.79 \text{ kg.}$$

Por la alta densidad solo se permite cargar a la mezcladora un peso que no exceda las 140 libras de peso (63.63kg.)

#### 4.2.6 Peso unitario de agregado global de alta densidad.

Los módulos de fineza del agregado fino y del agregado grueso son 2.41 y 7.51 respectivamente y basádonos y por el método de módulo de fineza de la combinación de agregados se obtienen las siguientes proporciones:

$$\%AF = (7.51-5.41)/(7.51-2.41) = 42\%$$

$$\% AG = 100\% - 42\% = 58$$

|  |               |                             |                   |                              |
|--|---------------|-----------------------------|-------------------|------------------------------|
| Recipiente de 0.5<br>pies <sup>3</sup> |               |                             | 0.01415742        | m <sup>3</sup>               |
| <b>Agregado<br/>fino</b>               | <b>42</b>     | <b>Agregado<br/>grueso</b>  | <b>58</b>         |                              |
| <b>Agregado<br/>global</b>             | <b>Peso</b>   | <b>Peso<br/>volumétrico</b> | <b>Peso</b>       | <b>Peso<br/>volumétrico.</b> |
|  | <b>Suelto</b> | <b>Suelto</b>               | <b>Compactado</b> | <b>Compactado</b>            |
|  | <b>(Kg.)</b>  | <b>(kg./m<sup>3</sup>)</b>  | <b>(Kg.)</b>      | <b>(kg./m<sup>3</sup>)</b>   |
| Muestra 01                             | 40.06         | 2829.61                     | 43.48             | 3071.18                      |
| Muestra 02                             | 39.99         | 2824.67                     | 43.51             | 3073.30                      |
| Muestra 03                             | 40.01         | 2826.08                     | 43.39             | 3064.82                      |
| Muestra 04                             | 40.1          | 2832.44                     | 43.5              | 3072.59                      |
| Muestra 05                             | 40            | 2825.37                     | 43.42             | 3066.94                      |
|  | 200.16        | 14138.17                    | 217.3             | 15348.84                     |
| <b>Promedio</b>                        | <b>40.032</b> | <b>2827.63</b>              | <b>43.46</b>      | <b>3069.77</b>               |

Cuadro 38: Peso unitario agregado global de bario

Elaboración: los autores

#### 4.2.7 Pesos unitarios de un concreto con agregados convencionales y, otro, con agregados de Bario

##### 4.2.7.1 Peso unitario de concreto fresco con agregados convencionales

|   |                 |                            |
|---|-----------------|----------------------------|
| Recipiente de<br>0.2423 pies <sup>3</sup>               | 0.0068902       | m <sup>3</sup>             |
| <b>Peso unitario<br/>concreto de alta<br/>densidad.</b> | <b>Peso</b>     | <b>Peso volumétrico.</b>   |
|   | <b>Unitario</b> | <b>Unitario</b>            |
|   | <b>(Kg.)</b>    | <b>(kg./m<sup>3</sup>)</b> |

|                 |               |                 |
|-----------------|---------------|-----------------|
| Muestra 01      | 16.46         | 2388.90         |
| Muestra 02      | 16.30         | 2365.67         |
| Muestra 03      | 16.16         | 2345.36         |
| Muestra 04      | 16.32         | 2368.58         |
| Muestra 05      | 16.25         | 2358.42         |
|                 | 81.49         | 11826.93        |
| <b>Promedio</b> | <b>16.298</b> | <b>2365.386</b> |

Cuadro 39: Peso unitario de concreto fresco convencional  
Elaboración: los autores

#### 4.2.7.2 Peso unitario de concreto fresco con agregados de alta densidad

|  |                 |                            |
|--|-----------------|----------------------------|
| Recipiente de 0.2423 pies <sup>3</sup>   | 0.0068902       | m <sup>3</sup>             |
| Peso unitario concreto de alta densidad. | <b>Peso</b>     | <b>Peso volumétrico.</b>   |
|  | <b>Unitario</b> | <b>Unitario</b>            |
|  | <b>(Kg.)</b>    | <b>(kg./m<sup>3</sup>)</b> |
| Muestra 01                               | 24.14           | 3503.53                    |
| Muestra 02                               | 24.18           | 3509.33                    |
| Muestra 03                               | 24.22           | 3515.14                    |
| Muestra 04                               | 24.08           | 3494.82                    |
| Muestra 05                               | 24.11           | 3499.18                    |
|  | 120.73          | 17522.00                   |
| <b>Promedio</b>                          | <b>24.146</b>   | <b>3504.40</b>             |

Cuadro 40: Peso unitario de concreto fresco de alta densidad  
Elaboración: los autores

#### 4.2.7.3 Peso volumétrico de concreto endurecido

|                                       |             |             |
|---------------------------------------|-------------|-------------|
|                                       | Testigo A   | Testigo B   |
| Concreto de alta densidad             | 5.76        | 5.78        |
| Concreto convencional                 | 3.92        | 3.92        |
| Diferencias en peso (Kg.)             | 1.84        | 1.86        |
| % de incremento                       | <b>47%</b>  | <b>47%</b>  |
| Peso volumétrico (kg/m <sup>3</sup> ) | <b>3460</b> | <b>3470</b> |

Cuadro 41: Comparativo entre testigos de concreto de alta densidad y el concreto convencional  
Elaboración: los autores

#### 4.2.8 Calculo de resistencias f'c (Kg/cm<sup>2</sup>)

| Dimensiones de testigos | diámetro(cm)     | Área de Testigo(cm <sup>2</sup> )      | Altura(cm)                |                  |
|-------------------------|------------------|--|---------------------------|------------------|
|                         | 10.1             | 80.12                                  | 20.8                      |                  |
| Factores de calculo     | K                | Factor de corrección                   | Tiempo de Curado(días)    |                  |
|                         | 73.214           | 1.0051                                 | 7, 14,21 y 28 días        |                  |
|                         | Lectura Pantalla | Lectura corregida = Lectura*Factor - K | f'c (kg/cm <sup>2</sup> ) |                  |
| Testigo A (7 días )     | 17909            | 17927.12                               | <b>223.76</b>             | Promedio f'c 7d  |
| Testigo B (7 días )     | 19809            | 19836.81                               | <b>247.59</b>             | <b>235.68</b>    |
| Testigo C (14 días )    | 20673            | 20705.22                               | <b>258.43</b>             | Promedio f'c 14d |
| Testigo D (14 días )    | 20261            | 20291.12                               | <b>253.26</b>             | <b>255.85</b>    |
| Testigo H(21 días)      | 21865            | 21903.30                               | <b>273.38</b>             | Promedio f'c 21d |
| Testigo E (21 días)     | 22209            | 22249.05                               | <b>277.70</b>             | <b>275.54</b>    |
| Testigo I(28 días)      | 25566            | 25623.17                               | <b>319.81</b>             | Promedio f'c 28d |
| Testigo J (28 días)     | 26510            | 26571.99                               | <b>331.65</b>             | <b>325.73</b>    |

Cuadro 42: Resistencia del concreto de alta densidad obtenido a los 7, 14, 21 y 28 días

Elaboración: los autores

#### 4.2.9 Humedad y absorción

##### 4.2.9.1 Humedad y absorción de agregado grueso convencional

|                               |   |      |    |
|-------------------------------|---|------|----|
| MUESTRA 1                     |   |      |    |
| Peso seco al horno(1)         | = | 2992 | gr |
| Peso seco al aire(2)          | = | 3000 | gr |
| Peso de agregado sumergido(3) | = | 1888 | gr |

Cuadro 43: Pesos de agregado grueso convencional

Elaboración: los autores

| Peso Húmedo(gr) | Peso Seco (gr) | Contenido de humedad (%) | Promedio de humedad (%) |
|-----------------|----------------|--------------------------|-------------------------|
| 3000            | 2992           | 0.267                    | 0.234                   |
| 3000            | 2994           | 0.200                    |                         |

Cuadro 44: Humedad de agregado grueso convencional

Elaboración: los autores.

| Peso Seco al Horno(1) | Peso Piedra SSS(2) | Peso sumergido(3) | P.E. Aparente(1/(2-3)) | P.E. Superficie Seca Saturada SSS (2/(2-3)) | P.E. Nominal (1/(1-3)) | Absorción (((2-1)/1)*100) |
|-----------------------|--------------------|-------------------|------------------------|---|------------------------|---------------------------|
| 2985                  | 3000               | 1888              | 2.684                  | 2.698                                       | 2.721                  | 0.50                      |

Cuadro 45 : Absorción de agregado grueso convencional

Elaboración: los autores

#### 4.2.9.2 Humedad y absorción de agregado fino convencional

| MUESTRA 1             |   |     |    |
|-----------------------|---|-----|----|
| Peso seco al horno(1) | = | 493 | gr |
| Peso Seco al aire (2) | = | 500 | gr |

Cuadro 46: Peso de agregado fino convencional

Elaboración: los autores

| Peso Húmedo(gr) | Peso Seco (gr) | Contenido de humedad (%) | Promedio de humedad (%) |
|-----------------|----------------|--------------------------|-------------------------|
| 500             | 493            | 1.419                    | 1.523                   |
| 500             | 492            | 1.626                    |                         |

Cuadro 47: Contenido de humedad agregado fino convencional

Elaboración: los autores

| Peso frasco + H2O (1) | Peso seco al aire SSS(2) | Peso frasco+H2O+500(3) | Peso frasco+H2O+S SS(4) | Vol,masa +Vol,vacios (5) |
|-----------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1190.03               | 500                      | 1690.03                | 1594.71                 | 95.320                   |

Cuadro 48: Absorción de agregado fino convencional

Elaboración: los autores

| Peso Suelo Seco(6) | Vol, de la masa(5-(500-6) (7) | P.E. Aparente Bulk (6/5) | P.E. Nominal (6/7) | Absorción (%) (((500-6)/6)*100) |
|--------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------|---------------------------------|
| 498                | 93.320                        | 5.22                     | 5.34               | 0.40                            |

Cuadro 49: Absorción del agregado Fino convencional.

Elaboración: los autores

#### 4.2.9.3 Humedad y absorción de agregado grueso de Barita

| MUESTRA 1                      |   |      |    |
|--------------------------------|---|------|----|
| Peso seco al horno(1)          | = | 2998 | gr |
| Peso seco al aire(2)           | = | 3000 | gr |
| Peso de agregados sumergido(3) | = | 2311 | gr |

Cuadro 50: Pesos del agregado grueso de bario.

Elaboración: los autores

| Peso Húmedo(gr) | Peso Seco (gr) | Contenido de humedad (%) | Promedio de humedad (%) |
|-----------------|----------------|--------------------------|-------------------------|
| 3000            | 2998           | 0.07                     | 0.09                    |
| 3000            | 2997           | 0.10                     |                         |



Cuadro 51: Contenido de humedad de agregado grueso de Bario ASTM C-566.

Elaboración: los autores

| Peso Seco al Horno(1) | Peso seco al aire SSS(2) | Peso sumergido (3) | P.E. Aparente (1/(2-3)) | P.E. Superficie Seca Saturada SSS (2/(2-3)) | P.E. Nominal (1/(1-3)) | Absorción $\left(\frac{2-1}{1}\right)*100$ |
|-----------------------|--------------------------|--------------------|-------------------------|---|------------------------|--|
| 2991                  | 3000                     | 2311               | 4.341                   | 4.354                                       | 4.439                  | 0.30                                       |

Cuadro 52: Absorción del agregado grueso de Bario

Elaboración: los autores

#### 4.2.9.4 Humedad y absorción de agregado fino de Bario

| Peso Húmedo(gr) | Peso Seco (gr) | Contenido de humedad (%) | Promedio de humedad (%) |
|-----------------|----------------|--------------------------|-------------------------|
| 500             | 498            | 0.40                     | 0.50                    |
| 500             | 497            | 0.60                     |                         |

Cuadro 53: Contenido de humedad de agregado fino de Bario ASTM C-70.

Elaboración: los autores

| Peso frasco + H2O (1) | Peso seco al aire SSS(2) | Peso frasco+H2O+500(3) | Peso frasco+H2O+SSS(4) | Vol, masa +Vol, vacíos (5) |
|-----------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|
| 1190.03               | 400                      | 1590.03                | 1495.71                | 94.32                      |

Cuadro 54: Absorción del agregado fino de Bario.

Elaboración: los autores

| Peso Suelo Seco(6) | Vol, de la masa(5-(500-6) (7) | P.E. Aparente Bulk (6/5) | P.E. Nominal (6/7) | Absorción (%) (((500-6)/6)*100) |
|--------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------|---------------------------------|
| 398.60             | 94.31                         | 4.23                     | 4.25               | 0.35                            |

Cuadro 55: Absorción del agregado fino de Bario  
Elaboración: los autores

#### 4.2.9.5 Tabla comparativa de la resistencia del concreto al variar el componente baritina y la relación agua cemento

En la presente tesis se realizó el diseño de mezcla con los agregados tanto gruesos como finos solo con la roca de baritina; obteniendo así que los agregados fueron 100% con roca de baritina.

Por lo que para efectos de obtener la mejor trabajabilidad se recurrió a elaborar el diseño de mezcla con el slump mas optimo que debería de ser de 3 ½ pulgada.

Según estudios con respecto a la variación de la relación agua cemento respecto a la resistencia (Gonzales, 2010), concluye que se obtiene mayor resistencia al variar la relación agua cemento según el siguiente cuadro:

| EDAD (dias). | Resistencia a la compresión f'c (kg/cm <sup>2</sup> ) |                             |                         |
|--------------|---|-----------------------------|-------------------------|
|              | Concreto normal                                       | Mortero pesado con baritina |                         |
|              | Cemento/Agregado 1/4.3<br>AF/AG=47/53 y a/c=0.6       | C/B = 1/6<br>a/c = 0.6      | C/B = 1/4<br>a/c = 0.45 |
| 7            | 228   | 238                         | 323                     |
| 14           | 306   | 299                         | 430                     |
| 28           | 359   | 318                         | 461                     |

Cuadro 56: Resumen de la resistencia a la compresión del concreto y el mortero  
Fuente: (Gonzales, 2010).

Se puede observar que aumenta la resistencia a la compresión cuando la relación agua cemento disminuye.

### 4.3 Resultados de exposición de fuentes ionizantes

La exposición de rayos ionizantes a las placas de concreto convencional y concreto de alta densidad se realizaron en el Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas, en el área de radiología.

Los equipos empleados fueron una fuente de rayos x, cámara de ionización, sensores de medición, un electrómetro digital

Las muestras fueron 06 placas de concreto convencional y 06 placas de concreto de alta densidad de espesores variables.

Los resultados se dan en el siguiente cuadro.

| Placa | Espesor (cm) | K ( $\mu\text{Gy}$ ) | Trasmisión (%) | Atenuación % |
|-------|--------------|----------------------|----------------|--------------|
| 1     | 1.5          | 16.01                | 0.38999        | 95.54        |
| 2     | 1.5          | 15.99                | 0.38999        | 95.54        |
| 3     | 2            | 16.13                | 0.39998        | 96.52        |
| 4     | 2            | 16.14                | 0.39999        | 96.52        |
| 5     | 2.5          | 16.22                | 0.40001        | 96.72        |
| 6     | 2.5          | 16.26                | 0.40002        | 96.72        |

Cuadro 57: Exposición a fuentes ionizantes de placas de concreto convencional.

Elaboración: los autores

**La atenuación del concreto convencional promedio es de 96.26%**

| NRO PLACA | Espesor (cm) | K ( $\mu\text{Gy}$ ) | Trasmisión (%) | Atenuación % |
|-----------|--------------|----------------------|----------------|--------------|
| 1         | 1.5          | 0.44                 | 0.00863        | 99.99127     |
| 2         | 1.5          | 0.44                 | 0.00863        | 99.9913      |
| 3         | 2            | 0.39                 | 0.00766        | 99.99245     |
| 4         | 2            | 0.38                 | 0.00764        | 99.99248     |
| 5         | 2.5          | 0.3                  | 0.00591        | 99.99482     |
| 6         | 2.5          | 0.31                 | 0.00593        | 99.99485     |

Cuadro 58: Exposición a fuentes ionizantes de placas de concreto de alta densidad.

Elaboración: los autores

La atenuación del concreto de alta densidad promedio es de 99.9928%

Para lograr una atenuación de 99.99%, el concreto convencional tendría que tener un espesor de 18.98 cm. Contra uno de placa de alta densidad de 3 cm de espesor. (Gonzales, 2010)

#### DESCRIPCION DEL ENSAYO:

Irradiación de bloques de material de diferentes densidades con el fin de observación su atenuación a la radiación ionizante.

#### MATERIALES:

- ✓ Unidad de Cobalto-60
- ✓ Fuente de radiación:
  - Cobalto-60
  - Energía de 1,25 MV
- ✓ Cámara de ionización tipo Farmer
- ✓ Electrómetro PTW Unidos
- ✓ Bloques de:
  - Concreto armado de dimensiones 10,0cm x 10,0cm x 1.5, 2, 2.5 cm.
  - Baritina de dimensiones 10,0cm x 10,0cm x 1.5, 2, 2.5 cm.

#### PROCEDIMIENTO:

- a) Realizar conexiones entre cámara de ionización y electrómetro
- b) Distancia fuente de radiación y cámara 100,0cm
- c) Realizar emisión de radiación hacia la cámara por un periodo de 30seg. y obtener lectura de carga colectada por cámara de ionización.
- d) Retirar bloque de concreto armado.
- e) Colocar bloque de baritina entre cámara de ionización y fuente de radiación a una distancia de 10cm de la cámara, irradiar por un periodo de 30seg. y obtener lectura de carga colectada por la cámara de ionización.

## **CAPÍTULO V**

### **DISCUSIONES**

#### **5.1 Discusión**

##### **5.1.1 Con respecto a la hipótesis secundaria (1).**

Se elaboró un agregado fino con un peso unitario mayor al agregado fino convencional, obteniendo un valor de  $2,616.86 \text{ kg/m}^3$  como se observa en el cuadro 35; por lo tanto se acepta la hipótesis alterna.

##### **5.1.2 Con respecto a la hipótesis secundaria (2).**

Se elaboró un agregado grueso con un peso unitario mayor al agregado grueso convencional, obteniendo un valor de  $2,745.42 \text{ kg/m}^3$  en la combinación del huso 5 al 50% y el huso 67 al 50% como se observa en el cuadro 34. Por lo tanto se acepta la hipótesis alterna.

Con ello se realizó el diseño de mezcla, obteniéndose un concreto tanto en estado fresco como en estado endurecido de mayor peso volumétrico como se observa en los cuadros 53 y 54. Además a un rompimiento de siete días se obtuvo un  $f'c = 235.68 \text{ kg/m}^2$ , en una relación de agua/ cemento de 0.6.

##### **5.1.3 Con respecto a la hipótesis secundaria (3)**

Al identificar la roca de bario con bajos contenidos de sales y con un valor de abrasión menor a 22% se obtiene un concreto de alta densidad con las resistencias esperadas.

#### **5.1.4 Con respecto a la hipótesis secundaria (4)**

Al obtener una curva granulométrica dentro de los parámetros establecidos se logró obtener una combinación entre los agregados con el mayor peso unitario posible, controlando que estén dentro la curva granulométrica requerida.

#### **5.1.5 Con respecto a la hipótesis secundaria (5)**

Se comprobó que un concreto convencional para atenuar al 99.99% requiere tener más allá de 6 veces el espesor de un concreto de alta densidad.

## **CONCLUSIONES**

1. El diseño de las curvas granulométricas que estén dentro de los límites de la norma nos permitió estandarizar los pesos unitarios y poderlos controlar.
2. Al controlar los límites de las curvas granulométricas nos permitió poder controlar una mejor mezcla de los husos y así poder obtener el mayor peso unitario de tal manera que se emplea la mayor cantidad de agregados en un diseño de mezcla.
3. Al poder obtener un mayor peso unitario controlando los husos granulométricos se obtiene un concreto de mayor densidad.
4. Con los considerandos de obtener un concreto fresco y endurecido de mayor densidad, se obtuvieron un concreto que atenúa con mayor eficiencia que un concreto convencional.

## **RECOMENDACIONES**

1. Se debería de capacitar al personal de supervisión del Instituto de energía Nuclear, encargados del control de las fuentes ionizantes para que conozcan las propiedades de un concreto de alta densidad con la finalidad de prevenir enfermedades pre ocupacionales a los técnicos radiólogos y personas expuesta a dosis altas de radiación en sus centros donde laboran.
2. Se recomienda emplear los agregados elaborados a partir de la roca de bario y no de un agregado convencional; esto, cuando se requiera un concreto de alta densidad, ya que se comprobó que un concreto de mayor densidad atenúa con mayor eficiencia los rayos ionizantes que uno convencional.
3. Difundir los efectos nocivos para la salud cuando uno este expuesto a una fuente ionizante como son los rayos X y rayos gamma y como prevenirlos al protegerse de una manera adecuada.



## FUENTES DE INFORMACIÓN

### Bibliográficas

1. Burga, J. D. (1995). *Diccionario Geológico*. Lima.
2. Centro Superior de Estudios Nucleares. (2011). *Curso protección radiológica en radiología dental*. Lima.
3. Energia., M. d. (1997). *Principais depositos minerais do Brasil*. Brasilia.

### Hemerográficas

4. Diario Oficial El Peruano. (19 de Julio de 2003). Ley de Regulacion de Fuentes Ionizantes. *Ley 28028*. Lima, Lima, Peru.
5. Diario Oficial El Peruano. (20 de Abril de 2008). Decreto Supremo 039-2008. *Reglamento*. Lima, Lima, Peru.
6. Peruano, D. O. (2012). *Requisitos de protección radiológica y seguridad en medicina nuclear*. Lima.

7. Peruano., D. O. (2013). *IR.2003-2013 Requisitos de proteccion Radiologica en diagnóstico médico de rayos X*. Lima.

### **Tesis**

8. Gonzales, J. C. (2010). *Atenuacion de los rayos X para el diagnostico empleando placas de concreto normal y pesado con baritina pesado*. Lima: Universidad Nacional de Ingenieria.
9. Prado., A. A. (2008). *Concreto de Alta Densidad con Superplastificante*. Lima: Universidad Ricardo Palma.
10. Raguay, A. A. (2013). *Uso de barita en hormigones colados para protección radiológica*. Guatemala.: Universidad de San Carlos de Guatemala.

## **ANEXOS.**

**Anexo 1:** Glosario

**Anexo 2:** Fotos

**Anexo 3:** Matriz de Consistencia

## Anexo 1: Glosario

|                     |   |
|---------------------|---|
| Desecho radioactivo | Cualquier sustancia radiactiva, materia que la contenga o contaminado por dicha sustancia que habiendo sido utilizado con fines científicos, médicos, agrícolas, comerciales,                     |
| Dosimetría.         | Técnica para medir las radiaciones absorbidas por una persona, un objeto o un medio físico específico expuesto a las radiaciones  |
| Dosis absorbidas.   | Es la energía transmitida a la materia por la radiación ionizante por unidad de masa del material irradiado, en un punto de interés.  |
| Energía nuclear.    | Energía liberada en las reacciones o transiciones nucleares, sean naturales o inducidas. Para los efectos de esta ley, los términos energía atómica y energía nuclear se consideran equivalentes. |
| Exposición          | Es la suma de cargas eléctricas de todos los iones de un mismo signo producidos en el aire, dividida por la masa de un volumen de aire considerado, cuando todos los electrones                   |

Concreto.

Es un material compuesto empleado en construcción formado esencialmente por un aglomerante al que se añade: partículas o fragmentos de un agregado, agua y aditivos específicos.

Instalación radiactiva.

Recinto o dependencia habilitada para producir, tratar, investigar, manipular, almacenar o utilizar sustancias radiactivas u operar equipos generadores de radiaciones ionizantes.

Irradiar.

Someter, a las personas, objetos o medios físicos específicos a la acción de las radiaciones ionizantes.

## Anexo 2: Fotos

Foto 1: Hallando el peso unitario **suelto** del huso 5.



Foto 2: Hallando el peso unitario **compactado** del huso 5.



Foto 3: Hallando peso unitario **compactado** del huso 8.



Foto 4: Hallando peso unitario **compactado** del huso 67.



Foto 5: Hallando peso unitario **suelto** de combinación husos 5(40%) – 67 (60%) Muestra 1.



Foto 6: Hallando peso unitario **suelto** de combinación husos 5(40%) – 67 (60%). Muestra 2.



Foto 7: Hallando peso unitario **suelto** de combinación husos 5(50%) - 67 (50%). Muestra 1.



Foto 8: Hallando peso unitario **compactado** de combinación 5(50%) - 67(50%). Muestra 2.



Foto 9: Hallando peso unitario **compactado** de combinación 5(50%) - 67(50%).

Muestra 3.





Foto 10: Hallando peso específico con el equipo Le Chetelier.



Foto 11: Elaboración placas de alta densidad.



Foto 12.- Poza de curado de placas.



Foto 13: Mesa de contrataste



Foto 14: Placas 20 x 20 cm convencionales y de alta densidad.



Foto 13.-Equipo de emisión  
de fuente ionizante.

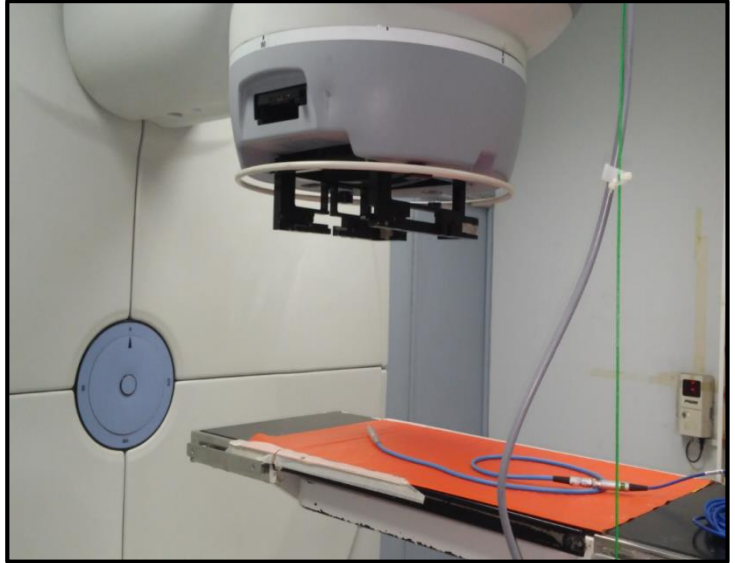


Foto 14: Calibrando altura  
de disparo.

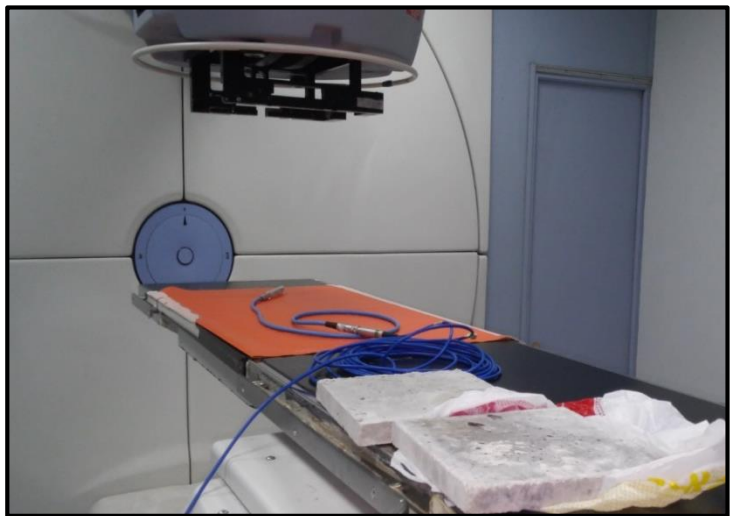
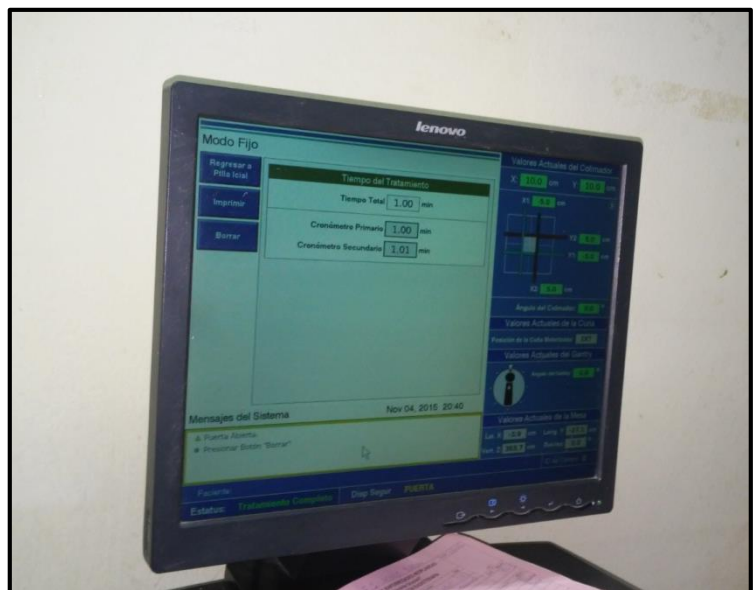


Foto 15.- Lectura de blindaje



Foto 16.- Parámetros de atenuación



Anexo 3 Matriz de Consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA: "ELABORACION DE AGREGADOS DE BARITA PARA EL DISEÑO DE CONCRETOS DE ALTA DENSIDAD PARA LA ATENUACION DE RAYOS IONIZANTES"

| PROBLEMA  | OBJETIVOS   | HIPÓTESIS  | VARIABLES   |
|---|---|--|---|
| <p><b>General</b></p> <p>¿Cómo diseñar un concreto de alta densidad que incremente la atenuación de rayos ionizantes?</p> <p><b>Específicos</b></p> <p>¿Cómo obtener a partir de la roca de baritina; el agregado fino que permita elaborar un diseño óptimo de concreto de alta densidad?</p> <p>¿Cómo obtener el agregado grueso con el mineral de baritina y que cumpla las normas que le permitan estar dentro del rango de una curva granulométrica que este dentro de un huso de diseño según requiera el tamaño nominal que corresponda al diseño?</p> <p>¿Cómo obtener la roca de bario, la cual tenga las propiedades óptimas para su uso en la construcción como: los límites mínimos permisibles tanto en la prueba de los ángeles y la concentración de sales en el material?</p> <p>¿Cómo obtener un concreto de alta densidad con el huso controlado tanto del agregado grueso como el agregado fino elaborado con baritina?</p> <p>¿Cómo obtener un concreto normal con todas las características técnicas de los agregados y, con ello, comparar su atenuación con respecto a un concreto de alta densidad?</p> | <p><b>General</b></p> <p>Realizar un diseño un concreto de alta densidad que incremente la atenuación de rayos ionizantes.</p> <p><b>Específicos:</b></p> <p>Obtener un agregado fino que tenga las características normadas dentro de una curva granulométrica.</p> <p>Obtener el agregado grueso con el mineral de baritina y que cumpla las normas que le permitan estar dentro del rango de una curva granulométrica que este dentro de un huso de diseño según requiera el tamaño nominal que corresponda al diseño.</p> <p>Obtener la roca de bario, la cual tenga las propiedades óptimas para su uso en la construcción como: los límites mínimos permisibles tanto en la prueba de los ángeles y la concentración de sales en el material.</p> <p>Obtener un concreto de alta densidad con el huso controlado tanto del agregado grueso como el agregado fino elaborado con baritina.</p> <p>Obtener un concreto normal con todas las características técnicas de los agregados y, con ello, comparar su atenuación con respecto a un concreto de alta densidad.</p> | <p><b>General</b></p> <p>Al diseñar de concreto con los agregados de baritina de alta densidad, se incrementa la atenuación de los rayos ionizantes.</p> <p><b>Específicos:</b></p> <p>Al obtener los agregados finos de alta densidad a partir de la roca de baritina para elaborar el concreto de alta densidad se incrementa la atenuación los rayos ionizantes.</p> <p>Al obtener un mayor peso unitario suelto y compactado con los agregados gruesos de alta densidad, se garantiza el uso de menor cantidad de cemento y por lo tanto se atenúa con mayor eficiencia los rayos ionizantes.</p> <p>Al obtener las rocas de baritina que estén dentro del rango permitido de las normas en las propiedades físicas como la prueba de los ángeles y los límites de sales atenúan los rayos ionizantes.</p> <p>Al obtener una distribución granulométrica dentro de la norma para el control de los agregados disminuye la atenuación de los rayos ionizantes.</p> <p>Al obtener un concreto con los agregados tradicionales deben atenuar en menor proporción los rayos ionizantes, en comparación con el concreto de alta densidad.</p> | <p><b>Variables Independiente:</b></p> <p>Densidad de la roca de Bario (Baritina).(<i>cuantitativa continua</i>)</p> <p>Granulometría obtenida de la roca de Bario.(<i>cuantitativa continua</i>)</p> <p>Grado de concentración de sales en agua.(<i>cuantitativa continua</i>)</p> <p>Relación agua/cemento (<i>cuantitativa continua</i>).</p> <p><b>Variables Dependiente:</b></p> <p>El grado de atenuación del concreto (<i>cuantitativa continua</i>).</p> <p>Densidad del concreto (<i>cuantitativa continua</i>).</p> |