

**ELABORACIÓN DE BLOQUES DE MORTERO TIPO ESTRUCTURAL  
MEDIANTE SECADO NATURAL EMPLEANDO LA CALAMINA PROCEDENTE  
DE TENARIS TUBOCARIBE S.A. COMO ADITIVO**

**KELLY JOHANNA ORDOÑEZ MEJIA  
LILIANA VILLANUEVA LOPEZ**

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA QUIMICA  
CARTAGENA DE INDIAS D.T. H Y C  
2012**

**ELABORACIÓN DE BLOQUES DE MORTERO TIPO ESTRUCTURAL  
MEDIANTE SECADO NATURAL EMPLEANDO LA CALAMINA PROCEDENTE  
DE TENARIS TUBOCARIBE S.A. COMO ADITIVO**

**KELLY JOHANNA ORDOÑEZ MEJIA  
LILIANA VILLANUEVA LOPEZ**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero  
Químico**

**Tutor  
ADALBERTO MATUTE  
Ingeniero Químico**

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA QUIMICA  
CARTAGENA DE INDIAS D.T. H Y C  
2012**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del Jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

Cartagena de Indias, D. T y C, 16 de Mayo de 2012

## DEDICATORIA

**ADIOS**, que me da la fortaleza necesaria para seguir adelante cada día, que me ayuda e ilumina para alcanzar mis metas y superar los obstáculos que se puedan presentar, que siempre me acompaña y guía mi camino. A el que me protege con su amor incalculable y me permite crecer diariamente como persona y como profesional.

A mis tíos, **Nohara Ordoñez** y **Jan Nieuwhof** quienes me brindaron una mejor calidad de vida, me enseñaron a ver las cosas de la forma correcta y que ayudaron cumplir una de mis metas. A ustedes les dedico este triunfo, gracias por todo su apoyo.

A mi Abuela, **Rosa Ordoñez**, quien está allí cuando más te necesito, quien siempre está muy pendiente de mí y que me apoyas incondicionalmente.

A mi Padre, **Jorge Ordoñez**, hombre trabajador que creyó en mí y que me motivo a salir adelante sin importar las adversidades.

A **Ronny Ordoñez**, un tío y un hermano que cree firmemente en mí, que me motiva día a día para seguir adelante. A él, porque me inspira y me conduce al camino correcto.

A mi novio, **Álvaro Flórez**, un gran apoyo y un amor incondicional. Eres un hombre muy comprensivo, paciente y siempre estas allí para aconsejarme.

A toda mi familia que han seguido mi carrera junto conmigo, y me acompañan en el transcurso de mi vida. A mis amigos que han sido apoyo, alegrías y compañía constante.

*KELLY JOHANNA ORDOÑEZ MEJÍA*

## **DEDICATORIA**

Dedico este triunfo a mis padres; los seres que más amo en la vida y los cuales son mi impulso para seguir adelante con cada meta propuesta en esta lucha constante que es la vida.

*LILIANA VILLANUEVA LÓPEZ*

## **AGRADECIMIENTOS**

A DIOS por brindarme oportunidades que permiten mi crecimiento personal y profesional, por ser todo y actuar en todo.

A Mis tíos, Nohara Ordoñez y Jan nieuwhof, que me brindaron una oportunidad muy linda, no me alcanzan las palabras para agradecerle por todo lo que hicieron por mí en el transcurso de mi carrera profesional.

A Ronny que me apoyo en el momento más oportuno.

A la Empresa Tenaris Tubocaribe S.A por elegirnos para participar en esta proyecto.

A LA UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA CARTAGENA, por formarme como una profesional preparada para afrontar retos y grandes metas.

Al Ingeniero Adalberto Matute, por motivar y apoyar a los estudiantes a seguir adelante.

A mi primo Jimmy Ordoñez y la Sr. Nayade Cohen por brindarme su ayuda en el transcurso de mi carrera profesional.

A mi novio Álvaro Flórez que siempre estuvo muy atento y dispuesto para colaborarme en todo. Gracias

A toda mi familia, a todos mis amigos, en especial a Bernardo Castro, Nataly Escobar y Mara Ospina, un excelente equipo de trabajo y unos excelentes amigos. Gracias por todo.

Todo se puede hacer, si los hacemos con el corazón, si lo hacemos con fuerza y actitud positiva, si en algún momento sientes desvanecer recuerda que Dios es nuestra fortaleza y en el todo se puede, ¡DIOS nos bendiga!.

***KELLY JOHANNA ORDOÑEZ MEJÍA***

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios; ese ser supremo que me llena de su amor incondicional, me bendice todos los días, me llena de sabiduría, amor, protección y fortaleza para salir adelante solucionando todas las dificultades que se presentan en el camino para alcanzar la felicidad. Él es el componente fundamental en todo lo que emprendo para lograr el éxito.

A mis padres por su ejemplo de superación, amor, comprensión, enseñanza, constancia y apoyo incondicional para hacer de mí una persona íntegra y valiosa.

A mi hermano Vladimir Villanueva y colega de profesión, por aconsejarme en momentos de decisiones queriendo siempre lo mejor para mí.

A mis familiares que de alguna u otra manera han aportado de manera positiva y significativa a mi vida para crecer como persona y como profesional.

A mis amigos que siempre me han acompañado en los buenos y malos momentos de mi vida, aportando siempre una sonrisa para cambiar mis tristezas por alegrías.

A la Sra. Olga Matute quien me apoyo y estuvo presente en todos mis sacrificios para salir adelante con mi carrera.

A mi compañera de tesis; Kelly Ordoñez por darme la oportunidad de hacer parte de este proyecto, fue gratificante trabajar en equipo.

A la Universidad de San Buenaventura; Institución que me acogió para prepararme como una gran profesional con excelente calidad humana y capacidad para afrontar cada reto que se me presente en el ejercicio de la profesión.

Al Ingeniero Adalberto Matute, que como tutor siempre estuvo atento a cualquier inquietud presentada y como maestro por brindar sus valiosos conocimientos los cuales han sido muy enriquecedores.

A la empresa BLOQUERA PERIFERIA, a su representante legal Sr Adolfo malo y a sus trabajadores por colaborarnos en la ejecución del proyecto.

Gracias a Todos ustedes que hicieron posible este logro.

*LILIANA VILLANUEVA LÓPEZ*

Cartagena de indias, 08 de abril del 2012

**Arquitecto**  
**LEOPOLDO VILLADIEGO CONEO**  
Decano de la facultad de ingeniería, arquitectura, arte y diseño  
Universidad de san buenaventura  
Cartagena

Cordial saludo:

Con la presente les avalamos que las estudiantes Kelly Ordoñez Mejía con CC:1050952112 y Liliana Villanueva López con CC:1143343231 se encuentran desarrollando el proyecto de grado "EVALUACION DE LA CALAMINA PROCEDENTE DE TENARIS TUBOCARIBE COMO COADYUVANTE PARA LA PRODUCCION DE BLOQUES DE CONCRETO TIPO ESTRUCTURAL MEDIANTE SECADO NATURAL" donde le brindamos todo el apoyo referente a la información primaria correspondiente a: el proceso de obtención de la calamina y análisis de laboratorios, los cuales son el soporte principal de este proyecto. Además, el suministro de muestras de calamina para que se lleve a cabo la alternativa de uso planteada en el proyecto.

Cordialmente,



**EDWIN D. CASTELLANOS E.**  
Coordinador Ambiental Área Andina  
Tenaris TuboCaribe

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	3
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	5
1.1 PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO	5
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	6
1.3 JUSTIFICACIÓN	6
1.4 OBJETIVOS	7
1.4.1 Objetivo general	7
1.4.2 Objetivos específicos	8
2. MARCO DE REFERENCIA	9
2.1 MARCO HISTÓRICO	9
2.2 INVESTIGACIONES PREVIAS	10
2.3 MARCO TEÓRICO	14
2.3.1 Generalidades de la calamina	14
2.3.2 Generalidades de los bloques	15
2.3.3 Bloques de mortero	24
2.4 MARCO LEGAL	34
2.5 MARCO CONCEPTUAL	35
3. DISEÑO METODOLÓGICO	36
3.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	36
3.2 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	36
3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN	36
3.4 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	37
3.4.1 Fuentes primarias	37
3.4.2 Fuentes secundarias	37
3.5 HIPÓTESIS	37
3.5.1 Hipótesis Alternativa	37
3.5.2 Hipótesis Nula	37
3.6 VARIABLES	38
3.6.1 variables independientes	38
3.6.2 variables intervinientes	38
3.6.3 variables dependientes	38
3.7 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	38
3.8 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	39
4. RESULTADOS	40
4.1 ANALISIS DE LA CALAMINA	40
4.2 PRUEBA DE GRANULOMETRÍA PARA LA ARENA DE PALMARITO	41
4.3 DISEÑO EXPERIMENTAL	53
4.4 PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	53
4.5 GRÁFICAS DE LAS RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN POR MUESTRA	54

4.6 RESULTADOS COMPARATIVOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN POR EDAD DE SECADO Y POR MUESTRA	57
5. CONCLUSIONES	60
6. RECOMENDACIONES	61
REFERENCIAS	
ANEXOS	

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 1.</b> Características del Cemento Portland	18
<b>Tabla 2.</b> Composición Típica de los Compuestos de los Cementos Portland	22
<b>Tabla 3.</b> Propiedades Fisicoquímicas de la Calamina	40
<b>Tabla 4.</b> Composición Química de la Calamina	40
<b>Tabla 5.</b> Normas utilizadas en la Granulometría del Agregado Fino (Arena)	41
<b>Tabla 6.</b> NTC 174	42
<b>Tabla 7.</b> Características de la Arena del Proceso de Tamizado	42
<b>Tabla 8.</b> Análisis Granulométrico de la Arena Tamizada.	43
<b>Tabla 9.</b> Clasificación de la Arena según el Tamaño del Grano	43
<b>Tabla 10.</b> Resultados del tipo de Arena de acuerdo al porcentaje retenido	44
<b>Tabla 11.</b> Resultados de la Arena por Tamiz	44
<b>Tabla 12.</b> Clasificación del tipo de arena según módulo de finura	45
<b>Tabla 12.1.</b> Caracterización de la Arena de Palmarito	45
<b>Tabla 13.</b> Dosificación de la Mezcla de Elaboración de los Bloques suministrada por la Bloquera	47
<b>Tabla 14.</b> Dosificación de la Mezcla de Elaboración de los Bloques escala piloto por cada especímenes.	47
<b>Tabla 15.</b> Dosificación de la Mezcla de Elaboración de los Bloques	48
<b>Tabla 16.</b> Dosificación de la Calamina de Elaboración de los Bloques	49

<b>Tabla 17.</b> Cantidades Totales de Especímenes de mortero por cada Prueba	50
<b>Tabla 18.</b> peso de los bloques secos en diferentes porcentajes de calamina	50
<b>Tabla 19.</b> Datos de Resistencia a los 7 y 14 días de Secado de los Cilindros	46 53
<b>Tabla 20.</b> Datos de Resistencia a los 7 y 14 días de Secado de los Bloques #4	53
<b>Tabla 21.</b> Datos de Resistencia a los 7 y 14 días de Secado de los Bloques #6	54

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
<b>Figura 1.</b> Calamina	14
<b>Figura 2.</b> Parte de una Unidad de Mampostería	25
<b>Figura 3.</b> Parte de un Bloque	25
<b>Figura 4.</b> Bloques de Tabiques recortados	26
<b>Figura 5.</b> Curva Granulométrica de Arena de Palmarito N° de Tamiz vs %que pasa	45
<b>Figura 6.</b> Porcentaje de Calamina vs Resistencia del Cilindro a los 7 y 14 días de secado	54
<b>Figura 7.</b> Porcentaje de Calamina vs Resistencia de los Bloques #4 a los 7 y 14 días de secado	55
<b>Figura 8.</b> Porcentaje de Calamina vs Resistencia de los Bloques #6 a los 7 y 14 días de secado	56
<b>Figura 9.</b> Curvas del Porcentaje de Calamina vs Resistencia de los Bloques #6 a los 7 y 14 días de secado	57
<b>Figura 10.</b> Curvas del Porcentaje de Calamina vs Resistencia del cilindro a los 7 y 14 días de secado	58
<b>Figura 11.</b> Curvas del Porcentaje de Calamina vs Resistencia de los Bloques #4 a los 7 y 14 días de secado	59

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
<b>Anexo A.</b> Cronograma	64
<b>Anexo B.</b> Presupuesto	65
<b>Anexo C.</b> Proceso de Fabricación de los Bloques	66
<b>Anexo D.</b> Prueba de Resistencia para los especímenes	69
<b>Anexo E.</b> Hoja de Seguridad de la Calamina	72
<b>Anexo F.</b> Diagrama de flujo del proceso de producción de bloques	75

## INTRODUCCIÓN

La acumulación de residuos en la zona industrial es uno de los problemas que ha persistido en la historia y que hasta hoy sigue causando consecuencias devastadoras para el medio ambiente, debido a que el hombre no se ha preocupado lo suficiente por solucionar este problema.

El resultado de esa generación de residuos además de ser un problema para el medio ambiente, es un problema para toda empresa ya que para estas constituye gastos y pérdidas significativas de materia primas en sus procesos, puesto que son producciones a gran escala.

Debido a esto se hace necesario generar ideas que permitan dar soluciones a este tipo de problema, como lo es el aprovechamiento de los residuos a través de la optimización de los procesos y de esta manera lograr incrementar las ganancias para estas organizaciones y minimizar los egresos asociados a pérdidas.

Con las circunstancias anteriores mencionadas para esta problemática se hace necesaria la intervención de los ingenieros Químicos; quienes son capaces de idear e implementar alternativas para transformar los residuos en productos útiles, generando un bien común tanto para la empresa como para la sociedad y el medio ambiente.

Con esta investigación se pretende dar solución a esta problemática en un caso específico que actualmente se está presentando en la empresa Tenaris Tubocaribe, como lo es la generación a gran escala de un residuo sólido llamado calamina; lo cual se ha convertido en un grave problema puesto que les está generando gastos a la empresa.

Se pretende recuperar el residuo de calamina haciendo uso de esta como aditivo en la elaboración de bloques de mortero tipo estructural, por lo tanto se evaluarán las propiedades físicas y composición química de la calamina, con el propósito de establecer qué porcentaje de ella se puede adicionar en el proceso de elaboración de bloques y luego determinarle la prueba de resistencia a compresión.

Debido a lo anterior se estudia entonces en el primer capítulo la descripción de la problemática que posee la empresa Tenaris Tubocaribe S.A con el almacenamiento del residuo sólido llamado calamina y que es de gran preocupación para esta organización, por lo tanto los objetivos del proyecto se enmarcan en la recuperación del residuo de calamina usándolo como aditivo para darle valor agregado a los bloques de mortero.

En el segundo capítulo se hace una recopilación de información que muestra antecedentes desde sus primeros indicios hasta hoy sobre el origen de los bloques o unidades de mampostería y la utilidad que estos han generado en la

industria de la construcción. También se detallan investigaciones previas ante el tema central del proyecto como lo es el aprovechamiento de residuos, por lo tanto estas investigaciones se basan en la descripción de la utilidad que han tenido ciertos tipos de residuos en la elaboración de elementos de construcción principalmente los bloques y finalmente una serie de conceptos claves y normas usadas para el desarrollo del proyecto.

En el tercer capítulo se describe la metodología de la investigación utilizada para llevar a cabo el diseño experimental, a través del cual se manipulan y operacionalización de las variables como la variación de los porcentajes de calamina en la mezcla del mortero y la resistencia a la compresión como prueba para evaluar la calidad de los bloques, teniendo en cuenta esto resultados se lleva a cabo el procesamiento de la información.

Por último en el cuarto capítulo se muestran todos los resultados obtenidos, iniciando con la evaluación de la calamina y sus propiedades fisicoquímicas, seguidamente la caracterización del agregado correspondiente a la arena de palmarito y finalmente realizando las pruebas de resistencia a los bloques de mortero para evaluar si la calamina funciona como aditivo en la mezcla de elaboración de estos.

# **ELABORACION DE BLOQUES DE MORTERO TIPO ESTRUCTURAL MEDIANTE SECADO NATURAL EMPLEANDO LA CALAMINA PROCEDENTE DE TENARIS TUBOCARIBE S.A. COMO ADITIVO**

## **1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Actualmente en toda organización productiva se hace necesario optimizar los procesos, para maximizar los ingresos y en especial minimizar los egresos directamente asociados a las pérdidas, desde este escenario se hace necesaria la intervención de Ingenieros químicos para crear alternativas que permitan aprovechar al máximo los derivados de un proceso incluyendo sus residuos y así ofrecer un producto útil.

La compañía TENARIS – TUBOCARIBES.A localizada en Turbaco Km. 1 en el parque industrial Carlos Vélez Pombo y dedicada a la producción de tubos de acero y servicios para perforación, viene desde hace varios años haciendo una revisión integral de los procesos y procedimientos en cada una de las líneas de producción y de los ingresos operacionales de la compañía. Por consiguiente, se encuentra que en el proceso de terminado, específicamente en el paso del temple que consiste en calentar la lamina de acero por encima de la temperatura crítica superior y es enfriado bruscamente, se obtiene la homogenización del grano de acero, y como resultado una pieza mucho más dura pero frágil (“efecto similar a un vidrio que esta duro pero si lo golpeas se quiebra”).

Durante este proceso se desprenden partículas del mismo material en formas de escamas lo que se conoce como descarbonización u oxidación del acero (a las escamas también se les llama calamina) y son consideradas como un residuo solido, la disposición final de este residuo es un grave problema para el medio ambiente debido a que le genera gasto a la empresa al contratar a la entidad INGEAMBIENTE S.A para el manejo adecuado de 1.074,86 toneladas<sup>1</sup> anuales del residuo y así evitar o minimizar el impacto ambiental.

La calamina es un residuo de pequeñas partículas que no son fácil de degradarse y estas se emiten a la atmosfera , además, se generan grandes cantidades de lodo generando acumulación que puede conllevar a que esta sea vertida afectando recurso de aire, agua y suelo por lo tanto se hace necesario ser reutilizada para contribuir a la disminución tanto del impacto ambiental como impacto económico en la elaboración de los bloques de mortero, ya que la calamina en su composición química posee fuente de hierro que puede aportar valor agregado significativo a este material.

---

<sup>1</sup>TENARIS TUBOCARIBE S.A, Empresa dedicada a la producción de acero. Análisis estadístico anual de generación de calamina.

La calamina está constituida por óxido férrico, óxido ferroso, grasas y aceites; debido a esta composición es posible recuperar este residuo y utilizarlo como un aditivo importante en la elaboración de bloques de mortero. Por lo tanto, se pretende evaluar las propiedades fisicoquímicas de la calamina con el propósito de establecer qué porcentaje de esta se puede adicionar en el proceso de producción de bloques y luego determinarle a estos las pruebas de resistencia a la compresión con el objetivo de analizar la calidad y las ventajas de este subproducto.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cómo se verá afectada la resistencia de la compresión de los bloques de mortero tipo estructural al adicionar la calamina; subproducto de la producción de tubos de acero en Tenaris TuboCaribe S.A en la mezcla de elaboración de estos?

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

A nivel mundial, el tema del manejo de los residuos sólidos han tomado gran importancia debido a las condiciones ambientales actuales del planeta, razón por la cual, el hombre ha emprendido la búsqueda y el desarrollo de nuevas alternativas que disminuyan el impacto ocasionado por el manejo de los residuos. No obstante, el medio ambiente es quien se ve afectado por la mayoría de las actividades realizadas por el hombre en su vida cotidiana y como consecuencia del continuo aumento de la población, cambio en las costumbres alimenticias y de consumo de las últimas décadas, se han generado un aumento en la producción de los residuos sólidos urbanos que hoy en día se le suman a los plásticos y otros materiales, que debido a su fabricación no se logran descomponer fácilmente en la naturaleza y por el contrario lo deterioran contaminando las aguas, suelo y aire.

El Ingeniero Químico, tiene por objetivo lograr el desarrollo tecnológico y la optimización de los procesos industriales, El Ingeniero Químico Bonaventuriano tiene como deber desempeñarse como un administrador de recursos y velar por la conservación del ecosistema. Por tal motivo, al identificar las causas de los impactos negativos que ocasionan algunos residuos sólidos al ambiente, la Universidad de San Buenaventura y la comunidad desde un punto de vista ingenieril, favorecerá al desarrollo amplio y de carácter crítico el Programa de Recuperación de la residuos, promoviendo una cultura ambientalista de proyección social, posicionando a la Universidad de San Buenaventura como una entidad promotora de la conservación de los recursos naturales.

La empresa TENARIS–TUBOCARIBE S.A cuenta además con plantas productoras de tubos de acero; sin embargo, la planta con la más alta tecnología y es considerada como una de las plantas más eficientes e integradas de su tipo

en el mundo. Posee una capacidad de producción de 163.000 toneladas de tubos de acero con y sin costura y produce una amplia gama de productos para el mercado y exporta sus productos a Latinoamérica, Estados Unidos y Canadá.<sup>2</sup>

En el desarrollo de este proyecto se realiza procesos de investigación básico y aplicados ya que se quiere producir un mejoramiento de conocimiento, partiendo de aquellos ya existente que forma parte del saber humano, buscando el bienestar social de la comunidad. Por otra parte, se pretende: disminuir el impacto ambiental que generan los residuos sólidos urbanos; aprovechar todos los subproductos reciclables como es el óxido de hierro; y generar empleo directo e indirecto.

Este proyecto es pertinente porque adopta y cumple con los programas de formación y modalidad investigativa evaluados por la Universidad San Buenaventura Teniendo en cuenta los lineamientos expuestos en las políticas del proyecto educativo Bonaventuriano “la investigación como una actividad presente en todas las áreas del saber que posibilita la formación de docentes y estudiantes, el desarrollo en ciencia y tecnología y en las disciplinas sociales, humanas y artísticas, el conocimiento, interpretación y solución de los problemas de la sociedad”<sup>3</sup>, De igual manera, “La investigación básica y aplicada se orienta a producir nuevos conocimientos, a comprobar aquellos que forman parte del saber y de las actividades del hombre referidos a contextos específicos, a facilitar el proceso pedagógico y al desarrollo de la ciencia y la tecnología<sup>4</sup>”; por medio de estos lineamientos es pertinente trabajar en este tema de investigación y lo primordial que es este para el desarrollo integral e intelectual de un estudiante Bonaventuriano haciendo un uso adecuado de la ciencia y tecnología que permita generar soluciones para el problema ambiental que se vive actualmente en la empresa Tenaris Tubocaribe S.A con la acumulación de calamina como residuo solido.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo general**

Elaborar bloques de mortero tipo estructural empleando la “calamina” subproducto de la producción de tubos de acero de Tenaris TuboCaribe S.A para determinar si esta aporta resistencia a la compresión a los bloques.

---

<sup>2</sup>TENARIS TUBOCARIBE S.A. consultado en septiembre del 2011, disponible en:  
<http://www.tenaris.com/colombia/es/default.aspx>

<sup>3</sup>Autor corporativo: Proyecto Educativo Bonaventuriano (Universidad de San Buenaventura.) 62p.

<sup>4</sup>Ibid. 62p.

### **1.4.2Objetivos específicos**

Evaluar las propiedades fisicoquímicas y la composición de la calamina para establecer los porcentajes de óxido de hierro en este subproducto.

Caracterizar la arena a utilizar para la elaboración de los bloques.

Establecer un diseño experimental para la dosificación de la calamina como aditivo en la elaboración de bloques de mortero.

Realizar la prueba de resistencia a la compresión de los bloques, para evaluar la calidad de los bloques.

Establecer el porcentaje óptimo de calamina a través de los resultados de resistencia a la compresión a obtener.

## 2. MARCO DE REFERENCIA

### 2.1 MARCO HISTÓRICO

La perfección del mortero o cemento de los antiguos ha pasado a proverbio. Los egipcios no lo empleaban en la construcción de los grandes edificios de piedra. Sin embargo, como observó Jacques-Joseph Champollion, entre los bloques calizos del revestimiento de la Gran Pirámide se utilizó una especie de mortero, posiblemente para facilitar su deslizamiento y óptimo ajuste al colocarlos.

Existen muchos ejemplos que acreditan el uso que hacían de ellos los antiguos, del yeso, la cal, los betunes, etc. Los griegos y los etruscos conocían asimismo su uso. Se habla de un depósito para agua en Esparta construido con guijarros y argamasa, y las grutas sepulcrales de Tarquinio están embarradas de un estuco pintado. La necesidad habría hecho adaptar el uso del mortero y de los cementos a todos los pueblos.<sup>5</sup>

La utilización del mortero de concreto por los Romanos data desde a principios del año 200 a.c. con la finalidad de dar forma a las piedra usadas en la construcción de edificios en esa época. Durante el reinado del emperador romano Calígula en el año 37-41 d.c., pequeños bloques de concreto prefabricados fueron usados como material de construcción en la región cerca de lo que hoy se conoce como Nápoles, Italia. Sin embargo, mucha de la tecnología desarrollada por los romanos se perdió tras la caída del imperio en el siglo V. No fue sino hasta 1824 que el Inglés Joseph Aspdin, desarrollo el cemento Pórtland, que llego a ser un componente esencial del concreto moderno.<sup>6</sup>

El primer bloque de concreto fue diseñado en 1890 por Harmon S. Palmer en los Estados Unidos. Después de 10 años de experimentación, Palmer patentó el diseño en 1900. Los bloques de Palmer fueron de 20.3 x 25.4 x 76.2 cm. En 1905, aproximadamente 1500 compañías estadounidenses se encontraban manufacturando bloques de concreto. Estos bloques eran sólidos sumamente pesados en los que se utilizaba la cal como material cementante. La introducción del cemento Portland y su uso intensivo, abrió nuevos horizontes a este sector de la industria.

A principios del siglo XX aparecieron los primeros bloques huecos para muros; la ligereza de estos nuevos bloques significa, por sus múltiples ventajas, un gran adelanto.

---

<sup>5</sup>TORRES, Ana. Consultado el 7 de mayo del 2012, disponible en:

<http://www.buenastareas.com/ensayos/Morteros-y-Concretos/3511591.html>

<sup>6</sup> COLEGIO DE ESTUDIOS CIENTIFICO Y TECNOLOGIAS DE ESTADO DE CHIAPAS. Elaboración de bloques de concreto utilizando vibrobloquera. Austera de tarimas.4p

Las primeras máquinas que se utilizaban en la entonces incipiente industria se limita a simples moldes metálicos, en los cuales se compacta la mezcla manualmente; este método de producción se siguió utilizando hasta los años veinte, época en que aparecieron máquinas con martillos accionados mecánicamente, más tarde se descubrió la conveniencia de la compactación lograda basándose en vibración y compresión; actualmente, las más modernas y eficientes máquinas para la elaboración de bloques de concreto utilizan el sistema de vibro compactación.

## 2.2 INVESTIGACIONES PREVIAS

El artículo científico “Elaboración de materiales de construcción a partir de residuos mineros, propiedades y perspectivas” el cual describe la actividad minera y los residuos sólidos que estos generan los cuales son conocidos popularmente como jales. Los jales poseen un elevado contenido de pirita ( $\text{FeS}_2$ ) y por ende están sujetas a reacciones químicas; Ante este panorama, es importante procesar los jales para utilizarlos en la construcción.<sup>7</sup>

Los materiales de construcción elaborados con estos residuos fueron ladrillos y celosías a los cuales se le hicieron pruebas mecánicas y pruebas físicas para compararlo con ladrillos convencionales, con el fin de saber la utilidad para proceder a sus aplicaciones prácticas en la industria de la construcción.

Las principales conclusiones de este artículo lo cual permite establecer que los residuos sólidos Jales pueden ser reutilizados para un nuevo producto es: Existe una amplia variedad de posibilidades de utilizar jales en combinación con otros residuos sólidos para su aplicación en la industria de la construcción o para la elaboración de material cerámico. Los ladrillos obtenidos, tuvieron excelentes propiedades físicas y mecánicas, como es una mayor resistencia a la compresión que los ladrillos convencionales.

El artículo científico titulado “Caracterización de escoria siderúrgica por difracción de rayos x” fue publicado en el año 2006 en la revista Elementos: ciencia y cultura de la Universidad autónoma de Puebla, México, por los investigadores: MONTALVO, Rocío; ZEBALLOS, Elvira.<sup>8</sup>

Se tomaron de la escoria procedente del proceso y se procedió a realizar la caracterización mediante difracción de rayos x, usando el programa DBWS-9807<sup>a</sup> basado en el método Rietveld de refinamiento de estructuras, para la identificación de los elementos químicos presentes en las muestras se usó espectrofotometría

---

<sup>7</sup>TORRES, Jaime y otros. Elaboración de materiales de construcción a partir de residuos mineros, propiedades y perspectivas.

<sup>8</sup> MONTALVO, Rocío y otros .Caracterización de escoria siderúrgica por difracción de rayos X. Septiembre, 2006.

de fluorescencia, la sílice presente se estudio por el método de vía húmeda en medios ácidos a fin de verificar sus propiedades como subproducto reciclable.

Sus principales conclusiones fueron: las técnicas empleadas para la caracterización de escoria siderúrgica de alto horno mostraron ser eficientes y por lo tanto recomendables para este tipo de estudios, a partir de los resultados obtenidos por refinamiento Rietveld, se verifica que la exactitud en las medidas de las intensidades de reflexión es fundamental para el análisis cuantitativo.

En el artículo del Boletín De La Cerámica Española Y Vidrio “Adición de una escoria geotérmica ultra fina sobre morteros de escoria de alto horno activadas por álcalis” Publicado en el año 2002; ESCALANTE, J. I.; MENDOZA, G; MANCHA, H, realizaron investigaciones en morteros con ligante de escoria de alto horno activada por álcalis. La escoria se reemplazó de 0 a 30% con una escoria geotérmica (EG) ultra fina predominantemente silícea. Los agentes activantes empleados fueron vidrio soluble y NaOH, agregando 4% de cal comercial como activante para promover la actividad puzolánica de ambas escorias.<sup>9</sup>

Las mediciones de agua no evaporable indicaron que la presencia de la EG incrementó la reactividad de los sistemas cementicios. Asimismo, para la activación con NaOH, la adición de 5-10% de EG favoreció la reducción de la porosidad (por microscopía electrónica de barrido) y la resistencia a la compresión. Al respecto de la activación con vidrio soluble, se observaron las micro estructuras más compactas, sin embargo durante el mezclado y moldeado de morteros con EG se notó la formación de burbujas de aire atrapadas lo que redujo finalmente las propiedades mecánicas al respecto a los morteros sin EG. Después de 90 días no se observó la presencia de cal en la microestructura, lo que indicó que fue consumida por ambas escorias.

En 2008 los investigadores ESPINOZA, L.; ESCALANTE, I, de la Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua realizaron la investigación titulada “Comparación de las propiedades del concreto utilizando escoria de alto horno como reemplazo parcial y total del cemento portland ordinario” Se realizó una investigación con dos tipos de concreto siguiendo la norma ACI 211.1:<sup>10</sup>

Concretos sustituidos al 30, 50 y 70 % con escoria de alto horno (EAH) y b) concretos 100 % EAH activada con 4, 6 y 8 % de óxido de sodio (Na<sub>2</sub>O) en forma de silicato de sodio de módulo 2.0. Todos los sistemas se caracterizaron mecánicamente de 1 a 28 días. Se utilizó microscopía electrónica de barrido y espectroscopia por dispersión de energía para analizar la microestructura, grado

---

<sup>9</sup>ESCALANTE, J y otros. Adición e una escoria geotérmica ultra fina sobre morteros de escoria de alto hornos activadas por álcalis.

<sup>10</sup> ESPINOZA, Lester y ESCALANTE, Iván. Comparación de las propiedades del concreto utilizando escoria de alto horno como reemplazo parcial y total del cemento Pórtland ordinario.

de avance de la reacción y productos formados. La sustitución parcial del cemento Portland (CPO) por EAH no fue benéfica para las propiedades mecánicas, contrario a la sustitución total por EAH activada, la cual resultó en propiedades mecánicas superiores que las de concretos de puro CPO. La activación de la escoria con 8 % de  $\text{Na}_2\text{O}$  resultó más efectiva, seguido de 6 y 4 % de  $\text{Na}_2\text{O}$ .

En la investigación titulada “Nuevos concretos para el aprovechamiento de un subproducto industrial”, la cual fue presentada en el 2006 a el Congreso Iberoamericano de Metalurgia y Materiales, Habana, Cuba; por el grupo de trabajo de la Universidad del Valle conformado por MEJÍA, R; Bernal, S; Rodríguez, E, en este artículo se evaluó el desempeño de concretos a base de polímeros inorgánicos (Geoconcretos) obtenidos a partir de la activación alcalina de una escoria siderúrgica de alto horno colombiana, que posee un coeficiente de basicidad de 1.01 ( $M_b = \text{CaO} + \text{MgO} / \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ ).

Como activadores alcalinos para la producción de los geoconcretos se empleó Hidróxido de Sodio ( $\text{NaOH}$ ) y waterglass ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O} + \text{NaOH}$ ). Se determinó la resistencia mecánica a diferentes edades de curado, junto con algunas propiedades de durabilidad. Los resultados fueron comparados con mezclas de referencia de concreto de Cemento Pórtland, con cantidad de cementante ( $340\text{Kg}/\text{m}^3$ ) y relaciones agua/cementante equivalentes a los concretos activados alcalinamente. Se obtuvieron resistencias a la compresión a 28 días de curado de 35, 20 y 26 MPa para los concretos activados con waterglass,  $\text{NaOH}$  y el de referencia respectivamente.

Los valores de porosidad y permeabilidad de los concretos activados resaltan su potencial durabilidad, lo cual pudo evidenciarse en presencia de agentes agresivos, tales como cloruros y sulfatos. La relación agua/cemento y (agua + soluciones activantes)/escoria fueron acondicionadas para lograr un asentamiento entre 75 y 100 mm. La proporción de agregados gruesos y finos fue de 55% y 45% respectivamente. En ningún caso se incorporó aditivos en la mezcla.

Los geoconcretos producidos corresponden a un concreto de AAS activado con  $\text{NaOH}$  (AASC-N) y un concreto activado con waterglass (AASC-W) a una concentración del 5% y 4% de  $\text{Na}_2\text{O}$  respectivamente, con relación al peso de escoria.

Con base en los resultados obtenidos para cada una de las cuestiones antes mencionadas los autores concluyeron: Los concretos activados con waterglass presentaron las mejores propiedades de resistencia mecánica, seguido del concreto de referencia y AAS activado con  $\text{NaOH}$ .

- A pesar de que el concreto de AAS activado con  $\text{NaOH}$  reportó menores resistencias a edades avanzadas de curado, su estructura más densa y menos porosa lo cataloga como un concreto más durable que el concreto de OPC.

- El tipo de activador alcalino empleado para la elaboración de geoconcretos a partir de una escoria siderúrgica de alto horno, no es un factor que afecte significativamente los valores de porosidad, succión capilar y permeabilidad a los iones cloruros, sin embargo se ve una diferencia notoria entre estos dos materiales cuando son expuestos a una solución de sulfato de sodio, donde el concreto activado con NaOH presenta una mayor expansión y una mayor pérdida de resistencia mecánica.

La investigación titulada “Influencia de la incorporación de escoria en las características de los cementos resultantes”, se presentó a la Universidad Tecnológica Nacional de Argentina, en el año 2006 como proyecto de tesis por los señores: BATIC, O.R.; SOTA, J.D; FALCONE, D.D. Se caracterizó la escoria mediante análisis químico, luego se determinaron los tiempos de fraguado utilizando el método Vicata en muestras con porcentajes de escoria de 35 y 45%, se analizó la resistencia a compresión del mortero y finura del cemento compuesto. También fue determinado el % de expansión mediante el método IRAM 1674 y 1637. La resistencia a la corrosión fue evaluada mediante la acción externa de sulfatos.<sup>11</sup>

Sus principales conclusiones fueron: La escoria granulada de alto horno constituye un material que, mediante estudios tecnológicos, puede ayudar a resolver diferentes dificultades en el hormigón fresco y en el endurecido. Existe suficiente experiencia a nivel internacional y local para orientar los estudios previos en los porcentajes convenientes que se deben usar para lograr los objetivos deseados.

Es indispensable disponer de los resultados de las experiencias previas antes de aplicarlos a las obras. Es necesario realizar controles permanentes durante la producción para verificar la regularidad. Se observa que al introducir variaciones en la composición de la escoria, en los porcentajes, en la metodología o industrialización pueden aparecer consecuencias no deseadas.

Como se observa en los resultados de algunas experiencias mostradas, los reemplazos de diferentes porcentajes, conducen a respuestas diferentes; por lo que si se desean resultados homogéneos en obra es necesario limitar los ámbitos de variación.

---

<sup>11</sup>BATIC, O.R y otros. Influencia de la incorporación de escoria en las características de los cementos resultantes. Universidad tecnológica Nacional, 2006.11p

## 2.3 MARCO TEÓRICO

### 2.3.1 Generalidades de la calamina

#### Definición

La calamina es una capa dura y lisa, de color gris azulado, que se forma de inmediato sobre los productos de acero que resulta del proceso de tratamientos térmico, Además es un material no corrosivo su pH es de 6 unidades y su humedad es de 0.63%.<sup>12</sup>

**Figura 1. Calamina**



**Fuente:** Tenaris TuboCaribe S.A.

#### Proceso de obtención

La calamina se obtiene durante el proceso de terminado específicamente en el paso del temple que consiste en calentar la lamina de acero por encima de la temperatura crítica superior y es enfriado bruscamente, se obtiene la homogenización del grano de acero, y como resultado una pieza mucho más dura pero frágil (“efecto similar a un vidrio que esta duro pero si lo golpeas se quiebra”). Durante este proceso se desprenden partículas del mismo material en formas de escamas lo que se conoce como descarbonización u oxidación del acero (a las escamas también se les llama calamina) y son consideradas como un residuo solido.

### 2.3.2 Generalidades de los bloques

En la Ingeniería Civil, y a propósito de los materiales de construcción, se ha dado a lo largo de las últimas décadas un importante desarrollo de la tecnología del

---

<sup>12</sup>TENARIS TUBOCARIBES S.A. Análisis de laboratorio de la calamina. Consultado en septiembre de 2011.

concreto, toda vez que éste ha sido un material que ha permitido un invaluable avance de las técnicas constructivas gracias a los niveles de resistencias alcanzados, y a que dicho material ha mostrado que siendo trabajado bajo condiciones técnicas adecuadamente controladas, es un material de gran durabilidad. El mortero, por su parte, aun cuando se le podría considerar como una clase especial de concreto, que sólo contiene agregados finos, pero que en sus componentes es básicamente igual a aquel, no ha experimentado el mismo grado de desarrollo práctico, o por lo menos ha sido considerado injustamente como de 'clase inferior', a pesar de su indiscutible utilidad y de su universalidad de usos en las obras.<sup>13</sup>

## ✚ **Materiales empleados en la fabricación de bloques de mortero**

### ➤ **Agregados**

La palabra agregados se refiere a cualquier combinación de arena, grava o roca triturada en su estado natural o procesado. Son minerales comunes, resultado de las fuerzas geológicas erosivas del agua y del viento. Son generalmente encontrados en ríos y valles, donde han sido depositados por las corrientes de agua.

Los depósitos de arena y grava están constituidos por materiales que han sido separados más o menos de otros. La diferencia básica entre las arenas y las gravas, de acuerdo a una clasificación geológica comúnmente aceptada, es el tamaño del grano. Generalmente las fracciones entre 1/16 y 5 mm se denominan arenas y el material mayor de 5 mm se llama grava.

En general los agregados pétreos se clasifican en 4 grandes grupos: Depósito aluviales, materiales de arrastre, las calizas y los ígneos y metamórficos. Los agregados constituyen alrededor del 75% en volumen y 70% a 85% en peso, de una mezcla típica de concreto. Los agregados son usados principalmente en la fabricación de mezclas de concreto, asfalto, mortero, como bases y sub-bases en la construcción de vías, drenajes o balasto para vías de ferrocarril.

Los agregados son productos minerales imprescindibles para la sociedad. En general son materiales de bajo costo, abundantes en la naturaleza, por lo que deben estar situados cerca a los centros de consumo, teniendo en cuenta su alta sensibilidad a los costos de transporte.

---

<sup>13</sup>SALAMANCA Correa, Rodrigo. "Dosificación de morteros, diseño de mezclas de mortero". Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 1984. 1p

La producción de agregados a partir de graveras o canteras requiere previamente la realización de un proyecto de explotación de la misma. Las etapas que se llevan a cabo para la extracción de este mineral, inicia con la exploración en donde se localiza el depósito que puede abastecer al mercado a un precio competitivo. Posteriormente se realiza la extracción de los agregados, utilizando maquinaria pesada, los cuales son llevados a la planta de beneficio para su lavado, trituración y clasificación, quedando así listos para el envío a los centros de consumo.<sup>14</sup>

Paralelo al desarrollo de la actividad minera, se llevan a cabo los procesos de rehabilitación y recuperación morfológica y ambiental del suelo, para finalmente darle a este otros usos como la agricultura, la ganadería, la recreación, urbanización o cualquier otro uso industrial.

### ➤ **Granulometría para agregados**

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por análisis de tamices (norma ASTM C 136). El tamaño de partícula del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre aberturas cuadradas. Los siete tamices estándar ASTM C 33 para agregado fino tiene aberturas que varían desde la malla No. 100(150 micras) hasta 9.52 mm.

Los números de tamaño (tamaños de granulometría), para el agregado grueso se aplican a las cantidades de agregado (en peso), en porcentajes que pasan a través de un arreglo de mallas. Para la construcción de vías terrestres, la norma ASTM D 448 enlista los trece números de tamaño de la ASTM C 33, más otros seis números de tamaño para agregado grueso. La arena o agregado fino solamente tiene un rango de tamaños de partícula.

La granulometría y el tamaño máximo de agregado afectan las proporciones relativas de los agregados así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto.<sup>15</sup>

Los tamices son básicamente unas mallas de aberturas cuadradas, que se encuentran estandarizadas por la Norma Técnica Colombiana # 32.

La serie de tamices utilizados para agregado grueso son 3", 2", 1½", 1", ¾", ½", # 4 y para agregado fino son # 4, # 8, # 16, # 30, # 50, # 100, # 200.

La serie de tamices que se emplean para clasificar agrupados para concreto se ha establecido de manera que la abertura de cualquier tamiz sea aproximadamente la

---

<sup>14</sup> ANÓNIMO. ¿ Que son los agregados?. Consultado el mes de julio de 2011, disponible en <http://www.asogravas.org/Inicio/Agregados.aspx>

<sup>15</sup> ANÓNIMO. La granulometría. Consultado el mes de julio de 2011, disponible en <http://www.arqhys.com/granulometria.html>

mitad de la abertura del tamiz inmediatamente superior, o sea, que cumplan con la relación 1 a 2.

La operación de tamizado debe realizarse de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana # 77 sobre una cantidad de material seco. El manejo de los tamices se puede llevar a cabo a mano o mediante el empleo de la máquina adecuada.

El tamizado a mano se hace de tal manera que el material se mantenga en movimiento circular con una mano mientras se golpea con la otra, pero en ningún caso se debe inducir con la mano el paso de una partícula a través del tamiz; Recomendando, que los resultados del análisis en tamiz se coloquen en forma tabular.<sup>16</sup>

### ➤ **Cemento Portland**

El Cemento Portland, uno de los componentes básicos para la elaboración del concreto, debe su nombre a Joseph Aspdin, un albañil inglés quien en 1824 obtuvo la patente para este producto. Debido a su semejanza con una caliza natural que se explotaba en la Isla de Portland, Inglaterra, lo denominó Cemento Pórtland.<sup>17</sup>

Los cementos Portland son cementos hidráulicos compuestos principalmente de silicatos de calcio hidráulicos, esto es, fraguan y endurecen al reaccionar químicamente con el agua. En el curso de esta reacción, denominada hidratación, el cemento se combina con el agua para formar una pasta, y cuando le son agregados arena y grava triturada, se forma lo que se conoce como el material más versátil utilizado para la construcción: el concreto.

El clinker, la materia prima para producir el cemento, se alimenta a los molinos de cemento junto con mineral de yeso, el cual actúa como regulador del fraguado. La molienda conjunta de éstos materiales produce el cemento. Las variables a controlar y los porcentajes y tipos de materiales añadidos, dependerán del tipo de cemento que se requiera producir.

El tipo de materias primas y sus proporciones se diseñan en base al tipo de cemento deseado.

La norma ASTM C 150 establece ocho diferentes tipos de cemento, de acuerdo a los usos y necesidades del mercado de la construcción.

---

<sup>16</sup> ANÓNIMO. Ensayo de granulometría .Consultado el mes de julio de 2011, disponible en [http://www.construaprende.com/Lab/19/Prac19\\_1.html](http://www.construaprende.com/Lab/19/Prac19_1.html)

<sup>17</sup> ANÓNIMO. Clasificación del cemento .Consultado el mes de julio de 2011, disponible en [http://www.construaprende.com/Lab/19/Prac19\\_1.html](http://www.construaprende.com/Lab/19/Prac19_1.html)

➤ **Clasificación de los cementos**

Tipo, nombre y aplicación:

I: Normal. Para uso general, donde no son requeridos otros tipos de cemento.

IA: Normal. Uso general, con incluso de aire.

II: Moderado. Para uso general y además en construcciones donde existe un moderado ataque de sulfatos o se requiera un moderado calor de hidratación.

IIA: Moderado. Igual que el tipo II, pero con incluso de aire.

III: Altas resistencias. Para uso donde se requieren altas resistencias a edades tempranas.

IIIA: Altas resistencias. Mismo uso que el tipo III, con aire incluido.

IV: Bajo calor de hidratación. Para uso donde se requiere un bajo calor de hidratación.

V: Resistente a la acción de los sulfatos. Para uso general y además en construcciones donde existe un alto ataque de sulfatos.<sup>18</sup>

**Tabla1. Características de los cementos Portland\***

Tipo*	Descripción	Características Opcionales
I	Uso General	1, 5
II	Uso general; calor de hidratación moderado y resistencia moderada a los sulfatos	1, 4, 5
III	Alta resistencia inicial	1, 2, 3, 5
IV	Bajo calor de hidratación	5
V	Alta resistencia a los sulfatos	5, 6
Características Opcionales 1. Aire incluido, IA, IIA, IIIA. 2. Resistencia moderada a los sulfatos: C3A máximo, 8%. 3. Alta resistencia a los sulfatos: C3A máximo, 5%. 4. Calor de hidratación moderado: calor máximo de 290 kJ/kg (70cal/g) a los 7 días, o la suma de C3S y C3A, máximo 58%. 5. Alcali bajo: máximo de 0.60%, expresado como Na2O equivalente. 6. El límite de resistencia Alternativa de sulfatos está basado en el ensayo de expansión de barras de mortero.		

(\*) Para cementos especificados en la ASTM C 150.

**Fuente:** <http://apuntesingenierocivil.blogspot.com/2010/10/tipos-de-cemento-portland.html>

• Tipo I

Este tipo de cemento es de uso general, y se emplea cuando no se requiere de propiedades y características especiales que lo protejan del ataque de factores agresivos como sulfatos, cloruros y temperaturas originadas por calor de hidratación.

<sup>18</sup>ANÓNIMO. Cemento y su clasificación. Consultado el mes de julio de 2011, disponible en <http://www.arquba.com/monografias-de-arquitectura/cemento-portland-usos-y-aplicaciones/>.

Entre los usos donde se emplea este tipo de cemento están: pisos, pavimentos, edificios, estructuras, elementos prefabricados.

- Tipo II

El cemento Portland tipo II se utiliza cuando es necesario la protección contra el ataque moderado de sulfatos, como por ejemplo en las tuberías de drenaje, siempre y cuando las concentraciones de sulfatos sean ligeramente superiores a lo normal, pero sin llegar a ser severas (En caso de presentarse concentraciones mayores se recomienda el uso de cemento Tipo V, el cual es altamente resistente al ataque de los sulfatos).

Genera normalmente menos calor que el cemento tipo I, y este requisito de moderado calor de hidratación puede especificarse a opción del comprador. En casos donde se especifican límites máximos para el calor de hidratación, puede emplearse en obras de gran volumen y particularmente en climas cálidos, en aplicaciones como muros de contención, pilas, presas, etc.

La Norma ASTM C 150 establece como requisito opcional un máximo de 70 cal/g a siete días para este tipo de cemento.

- Tipo III

Este tipo de cemento desarrolla altas resistencias a edades tempranas, a 3 y 7 días. Esta propiedad se obtiene al molerse el cemento más finamente durante el proceso de molienda. Su utilización se debe a necesidades específicas de la construcción, cuando es necesario retirar cimbras lo más pronto posible o cuando por requerimientos particulares, una obra tiene que ponerse en servicio muy rápidamente, como en el caso de carreteras y autopistas.

- Tipo IV

El cemento Portland tipo IV se utiliza cuando por necesidades de la obra, se requiere que el calor generado por la hidratación sea mantenido a un mínimo. El desarrollo de resistencias de este tipo de cemento es muy lento en comparación con los otros tipos de cemento. Los usos y aplicaciones del cemento tipo IV están dirigidos a obras con estructuras de tipo masivo, como por ejemplo grandes presas.

La hidratación inicia en el momento en que el cemento entra en contacto con el agua; el endurecimiento de la mezcla da principio generalmente a las tres horas, y el desarrollo de la resistencia se logra a lo largo de los primeros 30 días, aunque éste continúa aumentando muy lentamente por un período mayor de tiempo.

En la fabricación del cemento se utilizan normalmente calizas de diferentes tipos, arcillas, aditivos –como el mineral de hierro cuando es necesario- y en ocasiones

materiales silicosos y aluminosos. Estos materiales son triturados y molidos finamente, para luego ser alimentados a un horno rotatorio a una temperatura de 1,400 grados centígrados y producir un material nodular de color verde oscuro denominado CLINKER.

- Cementos Hidráulicos Mezclados

Estos cementos han sido desarrollados debido al interés de la industria por la conservación de la energía y la economía en su producción.

La norma ASTM C 595 reconoce la existencia de cinco tipos de cementos mezclados:

Cemento Portland de escoria de alto horno – Tipo IS.

Cemento Portland puzolana – Tipo IP y Tipo P.

Cemento de escoria – Tipo S.

Cemento Portland modificado con puzolana – Tipo I (PM).

Cemento Portland modificado con escoria – Tipo I (SM).

- Tipo IS

El cemento Portland de escoria de alto horno se puede emplear en las construcciones de concreto en general. Para producir este tipo de cemento, la escoria del alto horno se muele junto con el clinker de cemento Portland, o puede también molerse en forma separada y luego mezclarse con el cemento. El contenido de escoria varía entre el 25 y el 70% en peso.

- Tipo IP y Tipo P

El cemento Portland IP puede ser empleado en construcciones en general y el tipo P se utiliza en construcciones donde no sean necesarias resistencias altas a edades tempranas. El tipo P se utiliza normalmente en estructuras masivas, como estribos, presas y pilas de cimentación. El contenido de puzolana de estos cementos se sitúan entre el 15 y el 40 % en peso.

- Tipo S

El cemento tipo S, de escoria, se usa comúnmente en donde se requieren resistencias inferiores. Este cemento se fabrica mediante cualquiera de los siguientes métodos:

- 1) Mezclando escoria molida de alto horno y cemento Portland.
- 2) Mezclando escoria molida y cal hidratada.
- 3) Mezclando escoria molida, cemento Portland y cal hidratada.

El contenido mínimo de escoria es del 70% en peso del cemento de escoria

- Tipo I (PM)

El cemento Portland tipo I (PM), modificado con puzolana, se emplea en todo tipo de construcciones de concreto. El cemento se fabrica combinando cemento Portland o cemento Portland de escoria de alto horno con puzolana fina. Esto se puede lograr:

- 1) Mezclando el cemento Portland con la puzolana
- 2) Mezclando el cemento Portland de escoria de alto horno con puzolana
- 3) Moliendo conjuntamente el clinker de cemento con la puzolana
- 4) Por medio de una combinación de molienda conjunta y de mezclado.

El contenido de puzolana es menor del 15% en peso del cemento terminado.

- Tipo I (SM)

El cemento Portland modificado con escoria, TIPO I (SM), se puede emplear en todo tipo de construcciones de concreto. Se fabrica mediante cualquiera de los siguientes procesos:

- 1) Moliendo conjuntamente el clinker con alguna escoria granular de alto horno
- 2) Mezclando escoria molida y cal hidratada
- 3) Mezclando escoria, cemento Portland y cal hidratada

El contenido máximo de escoria es del 25% del peso del cemento de escoria.

A todos los cementos mezclados arriba mencionados, se les puede designar la inclusión de aire agregando el sufijo A, por ejemplo, cemento TIPO S-A.

Además, en este tipo de cementos, la norma establece como requisito opcional para los cementos tipo I (SM), I (PM), IS, IP y los denominados con sufijo MS o MH lo siguiente: moderada resistencia a los sulfatos y/o moderado calor de hidratación y en caso del tipo P y PA, moderada resistencia a los sulfatos y/o bajo calor de hidratación.

La Norma ASTM C 1157 establece los requisitos de durabilidad para los cementos hidráulicos cuando se utilicen en aplicaciones especiales o para uso general. Por ejemplo, donde se requieran altas resistencias tempranas, moderada a alta resistencia a los sulfatos, moderado o bajo calor de hidratación y opcionalmente baja reactividad con los agregados reactivos a los álcalis

### ➤ **Composición química del cemento**

El cemento obtenido tiene una composición del tipo:

64% óxido de calcio  
 21% óxido de silicio  
 5,5% óxido de aluminio  
 4,5% óxido de hierro  
 2,4% óxido de magnesio  
 1,6% sulfatos  
 1% otros materiales, entre los cuales principalmente agua.

Cuando el cemento Portland es mezclado con agua, se obtiene un producto de características plásticas con propiedades adherentes que solidifica en algunas horas después y endurece progresivamente durante un período de varias semanas hasta adquirir su resistencia característica. El endurecimiento inicial es producido por la reacción del agua, yeso y aluminato tricálcico, formando una estructura cristalina de calcio-aluminio-hidrato, estringita y monosulfato.

El sucesivo endurecimiento y el desarrollo de fuerzas internas de tensión derivan de la reacción más lenta del agua con el silicato tricálcico formando una estructura amorfa llamada calcio-silicato-hidrato. En ambos casos, las estructuras que se forman envuelven y fijan los granos de los materiales presentes en la mezcla. Una última reacción produce el gel de silicio (SiO<sub>2</sub>). Las tres reacciones generan calor. Con el agregado de materiales particulares al cemento (calcáreo o cal) se obtiene el cemento plástico, que fragua más rápidamente y es más fácilmente trabajable. Este material es usado en particular para el revestimiento externo de edificios. La calidad del cemento Portland deberá estar de acuerdo con la norma ASTM C 150.

**Tabla 2. Composición típica de los compuestos de los cementos portland**

Tipo de cemento	Compuesto %						Perdida por Calcinación %	CaO Libre %
	C3S	C2S	C3A	C4AF	MgO	SO3		
I	55	19	10	7	2.8	2.9	1	1
II	51	24	6	11	2.9	2.5	0.8	1
III	57	19	10	7	3	3.1	1	1.6
IV	28	49	4	12	1.8	1.9	0.9	0.8
V	38	43	4	9	1.9	1.8	0.9	0.8

**Fuente:** <http://apuntesingenierocivil.blogspot.com/2010/10/tipos-de-cemento-portland.html>

## AGUA

Siempre será preferible cualquier agua natural potable, sin sabor u olor pronunciado. Sin embargo, algunas aguas no potables pueden aprovecharse para la elaboración de este material (concreto), en especial si los cubos de mortero producidos con ésta alcanzan resistencia a los siete días similares al menos a 90% de especímenes testigo fabricados con agua potable o destilada. Así, las impurezas excesivas en el agua no sólo pueden afectar el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto, sino que también pueden provocar eflorescencia, manchas, corrosión del refuerzo, inestabilidad volumétrica y una menor durabilidad.

De este modo, el agua con menos de dos mil partes de millón (ppm) de sólidos disueltos totales generalmente pueden ser utilizada de manera satisfactoria para elaborar concreto, pero la que contenga más de dos mil ppm de sólidos disueltos deberá ser ensayada para investigar su repercusión sobre la resistencia y el tiempo de fraguado.<sup>19</sup>

### ➤ **Calidad del agua**

Se recomienda utilizar agua potable ya que esta es fundamental para la elaboración del concreto y del mortero de pega. El agua debe ser clara y de apariencia limpia, libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, sales, materiales orgánicos y otras sustancias que puedan ser dañinas para el concreto el refuerzo. Si contiene sustancias que le produzcan color, olor o sabor inusuales, objetables que causen sospecha, el agua no se debe usar a menos que existan registros de concretos elaborados con ésta, o información que indique que no perjudica la calidad del concreto. El agua para elaborar el concreto puede tomarse de fuentes naturales y, por lo tanto no puede contener elementos orgánicos indeseables o contenidos inaceptables de sales inorgánicas, Las aguas superficiales, en particular, a menudo contienen materia en suspensión, como aceite, arcilla, sedimentos, hojas y otros desechos vegetales, y puede ser inadecuado emplearlas sin tratamiento físico preliminar, como filtración o sedimentación para que dicha materia en suspensión se elimine.<sup>20</sup>

El agua de mar se ha empleado para producir concreto de cemento Portland, pero existe una tendencia para que éste cause humedad superficial y eflorescencia. Su uso puede causar, también, una moderada reducción de la resistencia. El agua de mar no debe emplearse en concreto reforzado o pre esforzado ni en concreto hecho con cemento de alto contenido de alúmina.

---

<sup>19</sup>ANÓNIMO. Bloques para hacerlos mejor .Consultado el mes de agosto de 2011, disponible en <http://www.imcyc.com/ct2006/marzo06/POSIBILIDADES.pdf>

<sup>20</sup>NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 3459. Agua para la elaboración de concreto

### 2.3.3 BLOQUES DE MORTERO

#### Definición

Los bloques o unidad de mampostería de perforación vertical son elementos constructivos prefabricados, de mortero o concreto en forma de prisma recto y con una o más perforaciones verticales que superan el 25% de su área bruta, formados a partir de moldeo (manualmente o con maquinaria) en matrices o moldes, utilizando como materia prima agregado grueso, cemento, agregado fino y agua en proporciones tales que generan una mezcla trabajable en el molde.

Los bloques de Mortero se obtienen de la mezcla de [cemento + arena + agua/o. Él puede tener función estructural, o no tenerla. Los pañetes, por ejemplo, no poseen función estructural; los morteros usados en mampostería (pega o relleno), o los usados para fundir elementos estructurales, sí poseen tal función.

De acuerdo con su origen, los morteros pueden ser premezclados en planta, premezclados secos, o elaborados en obra. De acuerdo con su dosificación ha sido costumbre hablar de morteros de relación l: n (1:3 Ó 1:4, etc.), queriendo indicar partes de cemento: arena; sin embargo, bajo esta denominación se ha incurrido casi siempre en un error implícito por lo siguiente:

- No es claro si se trata de partes en masa o en volumen.
- Varios morteros con la misma relación 1: n, y con igual manejabilidad, pueden arrojar diferentes resistencias a compresión a los 28 días, en razón de la granulometría de la arena utilizada.

Como quiera que uno de los usos fundamentales de los morteros es el referido a la mampostería, se definen entonces por las normas las siguientes categorías:

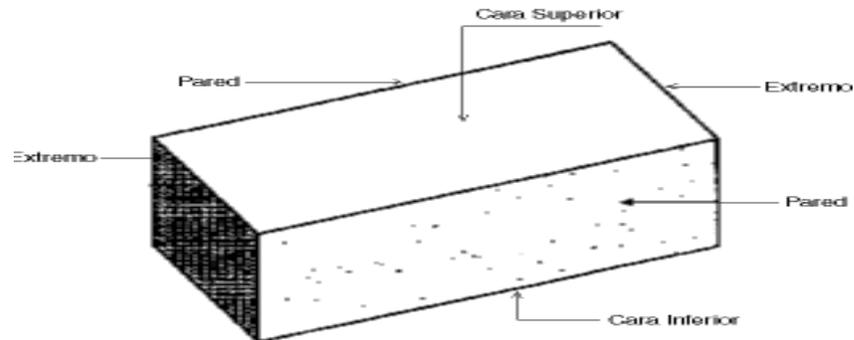
- Morteros premezclados húmedos: son los morteros constituidos por materiales cementantes, agregados, agua y eventualmente aditivos, los cuales son proporcionados y mezclados en planta. Puede tratarse de morteros convencional, es decir morteros de larga vida que permiten su almacenamiento en estado fresco hasta 48 horas, de forma que su proceso de fraguado sólo se inicia una vez entra en contacto con las unidades de mampostería.
- Morteros remezclados secos: son los morteros constituidos por materiales cementantes, agregados secos y aditivos en polvo, los cuales son proporcionados y mezclados en planta. El proceso de mezclado del mortero seco debe concluirse en el sitio de la obra, con la adición controlada de agua, siguiendo recomendaciones del fabricante.

-

## ✚ Partes de un bloque

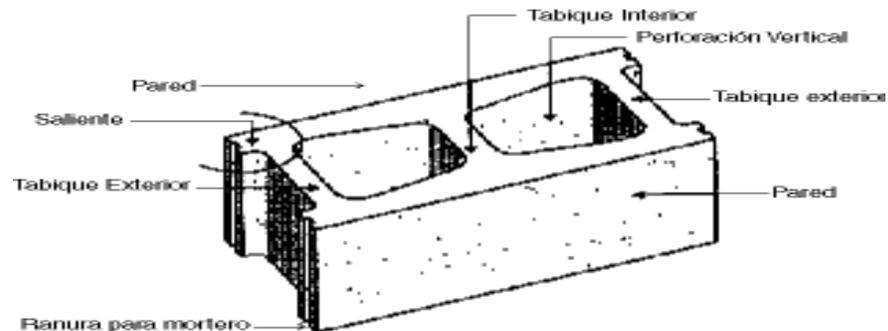
Cada parte de la estructura de un bloque posee un nombre con lo cual son identificados en el léxico de la construcción así:<sup>21</sup>

**Figura 2. Partes de una unidad de mampostería.**



**Fuente:** Manual de construcción de mampostería de concreto. Instituto Colombiano de productores de cemento.

**Figura 3. Partes de un bloque**



**Fuente:** Manual de construcción de mampostería de concreto. Instituto Colombiano de productores de cemento.

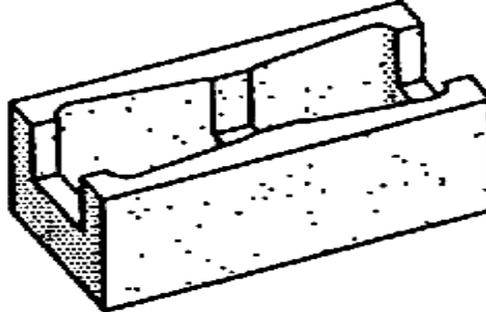
## ✚ Utilización

El bloque es la unidad por excelencia para la construcción de mamposterías estructurales, debido a la posibilidad de reformar el muro en ambos sentidos de su plano, colocando barras en las celdas que conforman las perforaciones, alambres

<sup>21</sup> HERRERA, Angélica y Madrid, Germán. Manual de construcción de mampostería de concreto. Instituto Colombiano productores de cemento

en sus juntas o barras en vigas horizontales generadas con bloques de tabiques recortados.<sup>22</sup>

**Figura 4. Bloques de tabiques recortados**



**Fuente:** Manual de construcción de mampostería de concreto. Instituto Colombiano de productores de cemento.

#### **✚ Tipos de bloques**

Los bloques se clasifican en dos tipos tales como:

- **Bloques estructurales**

Este tipo de bloques son estructurales puesto que constituyen muros que deben resistir cargas.<sup>23</sup>

- **Bloques no estructurales**

Este tipo de bloques son no estructurales puesto que constituyen elementos de cierre.

#### **✚ Dimensiones de los bloques**

Las dimensiones de una unidad de mampostería están definidas como su espesor, su altura y su longitud. Para cada una de ellas existen tres tipos de dimensiones, según el propósito: las dimensiones reales son las medidas directamente sobre la unidad en el momento de evaluar su calidad; las dimensiones estándar son las designadas por el fabricante en su catálogo o pliego (dimensiones de producción) y las dimensiones nominales son iguales a las dimensiones estándar más el espesor de una junta de pega, o sea 10 mm. Como ejemplo, un bloque de dimensiones nominales (espesor, altura, longitud, en mm) 200 x 200 x 400, tendrá

<sup>22</sup> HERRERA, Angélica y MADRID, Germán. Manual de construcción de mampostería de concreto. Instituto Colombiano productores de cemento

<sup>23</sup> ANÓNIMO. Bloques de concreto. Consultado el mes de agosto de 2011, disponible en [http://www.asocem.org.pe/bivi/RE/DT/CC/bloques\\_concreto.pdf](http://www.asocem.org.pe/bivi/RE/DT/CC/bloques_concreto.pdf)

unas dimensiones estándar de 190 x 190 x 390, pero sus dimensiones reales podrán ser de algo como 191 x 189 x 392.<sup>24</sup>

### **Proceso de fabricación de los bloques**

El proceso de fabricación de bloques de mortero se inicia con la elección del tipo de equipo de producción y del proceso de curado, almacenamiento y despacho, que sea adecuado en escala, tecnología y costos al medio o al proyecto que se va a emprender.

Luego viene la selección de agregados de buena calidad, limpios, y con la granulometría indicada según las dimensiones de las unidades (paredes y tabiques) y la resistencia y la textura esperadas.

Adicionalmente es necesario elegir con cuidado los otros materiales que se van a utilizar: el o los cementos, con base en sus características de ganancia de resistencia, resistencia final y color; los aditivos, a partir de sus características y compatibilidad con los cementos, y los pigmentos, según su forma de embalaje (polvo, gránulos, suspensión), el sistema de incorporación de los mismos a la mezcla y la relación costo/poder pigmentante que tengan.

Es indispensable formular una dosificación de todos estos materiales y del agua, de acuerdo a las características esperadas para el producto terminado. Esto se debe hacer con base en experiencias previas o en guías de los productores de equipo, pues no se puede encargar una dosificación de mezclas convencional (como para concreto estructural), dada la naturaleza seca de la mezcla y las diferencias radicales en el vibrado y compactación de la misma dentro de los equipos.<sup>25</sup>

- Almacenamiento de las materias primas

Las principales materias primas usadas para producir estos bloques de concreto son el cemento, la arena y diversos agregados entregados por lo general a la fábrica por camión o tren. El cemento es trasladado de manera neumática a los almacenes equipados con colectores de polvo. Cuando la arena y los agregados llegan, normalmente, se apilan en los patios, y después son movidos con forme se van necesitando a las tolvas. La forma más común de trasladar los materiales de las pilas a las tolvas es con un cargador frontal.

---

<sup>24</sup> HERRERA, Angélica y Madrid Germán. Manual de construcción de mampostería de concreto. Instituto Colombiano productores de cemento.

<sup>25</sup> HERRERA, Angélica y MADRID, Germán. Manual de construcción de mampostería de concreto. Instituto Colombiano productores de cemento.

Algunas fábricas emplean cintas o bandas de transporte y acumuladores o transportadores verticales. Entre los agregados usados para producir los bloques de peso normal están específicamente la arena, la grava y la piedra triturada. Los dos primeros elementos pueden ser naturales o producidos por una trituradora en la fuente de abastecimiento.

Los agregados para elaborar bloques ligeros son pizarra expandida y quemada, arcilla, escoria de los altos hornos, fly ash (cenizas volantes de carbón de hulla, mineral, de altos hornos), cenizas de carbón natural y materiales naturales, como las piedras pómez, toba y escoria, mezcladas con arena.

Los agregados ligeros pueden reducir el peso de los bloques de 20 a 45% cuando se comparan con el de los normales, sin que signifique sacrificar sus propiedades estructurales, pues éstos conservan las propiedades superiores de resistencia al fuego y alisamiento. Como estas unidades emplean agregados especiales, a menudo cuestan más que los bloques de peso normal. De cualquier manera, esto depende de la disponibilidad de agregados ligeros y de la cercanía de la fuente de abastecimiento a las fábricas.

Por otra parte, los ingredientes cementicios son el cemento, el fly ash y otros elementos puzolánicos. Algunas plantas utilizan cementos más costosos de «resistencia temprana» (high-early strength) para reducir sus precios totales. El fly ash y otros elementos puzolánicos son más económicos que el cemento y se utilizan para mejorar las propiedades de la mezcla fresca de concreto. Debido a que son más sensibles a la humedad ambiental, el cemento y los puzolánicos se trasladan directamente de los camiones o vagones del tren a los almacenes usando equipo de bombeo neumático y tuberías.<sup>26</sup>

- Dosificación

Las proporciones de los agregados deben permitir la mayor compactación posible, con un mínimo de cemento. Esto ahorra dinero. El fabricante de las maquinas normalmente suministra unas dosificaciones, que servirán como guías para hacer las pruebas necesarias. Es importante que se realicen varios diseños de mezcla para poder determinar cual ofrece mejor relación costo-beneficio.<sup>27</sup>

Dosificación por Peso o por Volumen: Es inherente a la infraestructura de la que se dispone. Normalmente un sistema de dosificación por peso es costoso. Este es el mejor sistema, sin embargo, es posible hacer una buena dosificación por volumen, esto implica hacer equivalencias peso-volumen (Kg-Lt) y supervisar que siempre se mantenga la misma cantidad. Los recipientes utilizados para esta

---

<sup>26</sup>Anónimo. Bloques para hacerlos mejor. Consultado el mes de agosto de 2011, disponible en <http://www.imcyc.com/ct2006/marzo06/POSIBILIDADES.pdf>

<sup>27</sup> Anónimo. Prefabricados de concreto. Consultado el mes de octubre de 2011, disponible en <http://www.arqhys.com/construccion/produccion-concreto.html>

dosificación siempre deben ser los mismos. La dosificación dependerá del tipo de prefabricado a producir y de la resistencia solicitada.

Relación Agua-Cemento: (a/c). En los prefabricados de concreto la mezcla debe ser seca, Utilizando la menor cantidad de agua posible porque se necesita que el elemento se sostenga por sí mismo. La relación a/c es uno de los parámetros que afecta la resistencia del concreto, pues a medida que aumenta, aumentan los poros en la masa y por ende disminuye la resistencia.

Humedad Natural: Normalmente es común recibir los agregados con cierto grado de humedad por lo que se recomienda dejarlos reposar al menos 2 días, si esto no es posible entonces se debe determinar el porcentaje de humedad para descontarlo del agua de hidratación y de esta forma no se nos altere la relación agua-cemento.

Cantidad agua de absorción de los agregados: (% de absorción). Cuando en la mezcla se incorporan agregados secos es normal que estos absorban cierta cantidad de agua, por lo que debe determinarse este porcentaje para hacer la compensación respectiva y evitar que el concreto resulte con insuficiente agua de hidratación.

Cantidad agua de Hidratación del Cemento: (% de hidratación). Es la cantidad de agua que necesita el cemento para poder hidratarse y llegar a obtener la resistencia exigida. Se determina por la relación a/c.

- Proceso de mezclado

Las materias primas en las tolvas de almacenaje son transportadas a un sistema de pesado conforme se requieren. Las materias primas para cada orden de producción o mezclada (batch) son pesadas para asegurarla consistencia del producto deseado.

Las mezcladoras son grandes cilindros dispuestos horizontalmente, con aspas de mezclado adheridas a un eje horizontal que atraviesa el cilindro de lado a lado. Según la modernidad del equipo, los materiales son mezclados en seco por varios minutos y luego se agrega agua a la mezcla seca utilizando un medidor electrónico, de agua para garantizar la consistencia. Como los bloques se hacen de concreto semiseco de «cero revenimiento», sólo debe añadirse una mínima cantidad de agua a cada mezcla.

Hay aditivos de cohesión nuevos en el mercado, como repelentes al agua y pigmentos colorantes, que también son agregados en este paso. Después de mezclar por un rato, la consistencia es revisada automáticamente y si es necesario se pone más agua. La carga de mezcla es entonces revuelta de cinco a ocho

minutos más. Una vez terminado el proceso, el concreto es vaciado por la parte inferior de la mezcladora.<sup>28</sup>

- Moldeado

Después de que la mezcla de concreto está hecha se traslada a la máquina productora de los bloques popularmente conocida como bloquera, donde se vacía en moldes consistente se un marco/chasis con forros, placas de separación o divisorias. Algunos moldes pueden ser costosos, sin embargo, en este caso, tienen una larga vida aprovechable, aunque las piezas de forrado interior o de desgaste se quieren cambiarse periódicamente.<sup>29</sup>

La forma y la dureza de los agregados determinan la longevidad de los forros del molde. No es necesario sustituir todas las partes de los moldes al mismo tiempo. Algunas pueden durar más tiempo y tolerar mayor desgaste que otras antes de ser cambiadas. Sólo los forros de desgaste de los moldes actúan como el molde en sí para dar forma a los productos.

Los bloques pueden fabricarse en un sinnúmero de tipos de acuerdo con la configuración requerida, siempre y cuando no se comprometa la integridad estructural en el grosor de sus paredes y conectores que resulten muy angostas o estructuralmente inestables. Una caja o marco de molde puede emplearse para producir diferentes tamaños y formas simplemente con variar la forma en que se colocan sus forros o componentes interiores.

Dependiendo de la demanda por alguna figura de bloque la configuración del molde puede variar después de algunas horas o días. Cambiar el molde permite al usuario hacer productos tan diversos como sencillos bloques grises ahuecados, ladrillos de concreto sólidos, piezas para entrepisos/bovedilla, adoquines y sofisticados productos arquitectónicos utilizando el mismo equipo en una sola fábrica.

Una vez colocada en el molde, la mezcla de concreto es compactada y consolidada usando una combinación de presión y vibración controladas. En algunas máquinas todo el molde, las partes internas y las bandejas de producción (para moldeo y transporte del producto) son vibrados para maximizar la compactación, uniformidad y fortaleza de las unidades fabricadas.

Algunas máquinas bloqueras usan moldes capaces de producir hasta seis bloques tamaño estándar (20 x 20 x 40 cm) por ciclo. Según la medida y el tipo de equipo pueden elaborarse más de 3,240 bloques de 20 x 20 x 40 cm cada hora.

---

<sup>28</sup> ANÓNIMO. Bloques para hacerlos mejor. Consultado el mes de agosto de 2011, disponible en <http://www.imcyc.com/ct2006/marzo06/POSIBILIDADES.pdf>

<sup>29</sup> Ibi.

- Almacenamiento de los bloques

Las unidades de concreto se les debe brindar protección contra la lluvia, contra la humedad proveniente del suelo y también se debe evitar que se contaminen con tierra u otros materiales que afecten luego su adecuada adherencia con el mortero de pega o se presenten problemas en los acabados.<sup>30</sup>

Para esto, se recomienda descargar las unidades técnicamente sobre plataformas o estibas que garanticen aislamiento del suelo; además, la pila se debe cubrir con láminas de plástico o permanecer bajo techo para mantenerlas secas antes de la pega.

Los arrumes de unidades sueltas deben tener una altura de, máximo, 1,60m, para evitar que se derrumben. Se deben hacer trabados, es decir, colocar las unidades en hileras horizontales, en las que cada unidad se traslapa con las de la hilera superior e inferior en, al menos, un cuarto de la longitud de una unidad. Si se manejan en cubos sobre estibas, éstas se pueden arrumar en dos o tres niveles, cuidando de no dañar los niveles inferiores por manejos bruscos.

- Transporte

El manejo y transporte de las unidades se debe hacer de manera cuidadosa, para evitar el deterioro o daño de las mismas. Según el nivel de tecnificación que se tenga (equipos), el transporte se hace unidad por unidad o a modo de cubos, los cuales pueden tener o no una estiba en su parte inferior. Como sistema de fijación es usual tener zunchos metálicos o plásticos, función a la que contribuye el plástico de protección contra la humedad, bien sea termoencogible o estirable.

➤ Recepción

Las unidades de mampostería deben cumplir con todos los parámetros establecidos en la NTC 4026 o en la NTC 4076, evaluadas mediante los ensayos descritos en la NTC 4024. Se recomienda siempre tomar una muestra testigo (igual a la ya especificada) pues en caso de incumplimiento de alguno de los valores, el proveedor puede pedir que se ensaye esta segunda muestra. Si la segunda muestra cumple la norma se acepta el lote; si no se rechaza definitivamente.

---

<sup>30</sup> HERRERA, Angélica y Madrid, Germán. Manual de construcción de mampostería de concreto. Instituto Colombiano productores de cemento.

Es muy importante definir las responsabilidades en cuanto al manejo (descarga, almacenamiento y transporte) de las unidades en obra, pues la responsabilidad del producto ira hasta el momento de la entrega, tanto para daños físicos como para el contenido de humedad al cual se le hizo referencia.<sup>31</sup>

- Manejo interno

Al tomar los bloques de los arrumes, estos no se deben arrojar sino que se deben colocar con cuidado en las carretillas para ser llevados hasta el sitio de trabajo. Se recomienda que la superficie de las carretillas sea plana para lograr un mayor rendimiento en el transporte y un menor deterioro en los bloques; y no se deben cargar con demasiadas unidades para evitar su volcamiento.<sup>32</sup>

Al sitio de trabajo se deben llevar sólo los bloques estrictamente necesarios para la ejecución del muro, para evitar deterioro o desperdicio de unidades.

- Diseño experimental de proceso

Una condición imprescindible que deben satisfacer los bloques es su uniformidad, no sólo en lo relativo a la regularidades de sus dimensiones, en especial su altura, sino también en cuanto a la densidad, calidad, textura superficial y acabado.

La uniformidad de los bloques depende en gran medida de su proceso de fabricación y del mismo, son factores determinantes los siguientes:

- La cuidadosa selección de los agregados.
- El correcto estudio de la dosificación.
- El adecuado diseño del bloque.
- Una perfecta ejecución del mezclado, moldeo y compactación.
- Un adecuado curado y almacenamiento

En resumen, será necesario controlar durante la producción: la dosificación de la mezcla, la cual se recomienda sea en lo posible en peso, pero pudiéndose dosificar en volumen utilizando latas, cajones ó carretilla; a demás se debe controlar el tiempo de mezclado; el slump o asentamiento; el peso unitario del concreto fresco; el tiempo de vibrado y, los procesos de desmolde y curado de las unidades.

---

<sup>31</sup> HERRERA, Angélica y Madrid, Germán. Manual de construcción de mampostería de concreto. Instituto Colombiano productores de cemento.15p

<sup>32</sup> Ibi. 16p

## Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión se define como el esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento. La resistencia a la compresión de un material que falla debido al fracturamiento se puede definir en límites bastante ajustados, como una propiedad independiente. Sin embargo, la resistencia a la compresión de los materiales que no se rompen en la compresión se define como la cantidad de esfuerzo necesario para deformar el material una cantidad arbitraria.<sup>33</sup>

La resistencia a la compresión se mide tronando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión, en tanto la resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida entre el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en megapascales (Mpa) en unidades SI y en PSI en unidades corrientes utilizadas en Estados Unidos.

También la resistencia a la compresión se controla mediante la elaboración de cubos de mortero de 5 cm de arista, o de cilindros de 7.5 cm (3") de diámetro y 15 cm (6") de altura; o de cilindros de 10 cm (4") de diámetro y 20 cm (8") de altura.

El uso de los cubos, siendo un procedimiento dispendioso y de cuidado, más apropiado para laboratorio, no es recomendable en obra.

Es preferible el uso de cilindros, fundidos en tres capas, 25 golpes, varilla redondeada de 9.5 mm, mazo de caucho, etc.; los ensayos usuales son a 7 y 28 días de edad.<sup>34</sup>

### **Importancia de la determinación de la resistencia a la compresión**

Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión se usan fundamentalmente para determinar que la mezcla de concreto suministrada cumpla con los requerimientos de la resistencia especificada,  $f'c$ , del proyecto.

Los resultados de las pruebas de resistencia a partir de cilindros moldeados se pueden utilizar para fines de control de calidad, aceptación del concreto o para estimar la resistencia del concreto en estructuras, para programar las operaciones de construcción, tales como remoción de cimbras o para evaluar la conveniencia de curado y protección suministrada a la estructura.<sup>35</sup>

Los cilindros sometidos a ensayo de aceptación y control de calidad se elaboran y curan siguiendo los procedimientos descritos en la norma NTC 673 la cual trata

---

<sup>33</sup> ANÓNIMO. Resistencia a la compresión. Consultado el mes de septiembre de 2011, disponible en <http://www.instron.com.ar/wa/glossary/Compressive-Strength.aspx>

<sup>34</sup> SALAMANCA Correa, Rodrigo. "Dosificación de morteros, diseño de mezclas de mortero". Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 1984. 3p

<sup>35</sup> Anónimo. Resistencia a la compresión. Consultado el mes de septiembre de 2011, disponible en <http://www.imcyc.com/ct2006/junio06/problemas.pdf>

sobre la determinación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto, tales como cilindros moldeados y núcleos perforados.

## 2.4 MARCO LEGAL

La legislación colombiana frente al tema de elaboración de unidades de concretos como lo son los bloques de tipo estructural, los cuales constituyen un rol fundamental en la mampostería estructural se encuentra basado en la norma técnica Colombiana NTC 4026 la cual establece los requisitos para unidades de mampostería elaboradas con cemento, agua y agregados minerales con la inclusión o no de materiales aptos para la mampostería estructural.<sup>36</sup>

La normatividad vigente que regula la disposición y manejo de los residuos sólidos; de esta se destaca:

**Ley 23 de 1973** concede facultades al presidente de la república para expedir el código de los recursos naturales y de protección del medio ambiente, para la prevención y control de la contaminación al medio ambiente, la búsqueda del mejoramiento, conservación y restauración de los recursos naturales renovables y de la defensa de la salud y el bienestar de todos los habitantes del territorio nacional.<sup>37</sup>

**Decreto-ley 2811 de 1974** Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.<sup>38</sup>

**Artículo 79 y 80 de la Constitución Política de Colombia:** Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.

El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas.

---

<sup>36</sup>INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA. Unidades (bloques y ladrillos) de concreto, para mampostería estructural. Norma técnica Colombiana 4026, Bogotá D.C.

<sup>37</sup> CONGRESO DE COLOMBIA. Consultado el mes de mayo de 2012, disponible en [http://www.minambiente.gov.co/documentos/ley\\_0023\\_191273.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/ley_0023_191273.pdf)

<sup>38</sup> ANÓNIMO. Consultado el mes de septiembre de 2011 <http://www.acnur.org/biblioteca/pdf/6525.pdf>

**Ley 99 de 1993.** Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones.<sup>39</sup>

## 2.5 MARCO CONCEPTUAL

**AGREGADO FINO:** parte del árido o material cerámico inerte que interviene en la composición del hormigón.

**AGREGADO GRUESO:** es aquel material formado por roca o grava triturada e interviene en la composición del concreto.

**CALAMINA:** tipo de residuo que está compuesta principalmente de óxido férrico y hierro; esta es resultado del proceso de tratamiento térmicos.

**CONCRETO:** es el material resultante de la mezcla de cemento (u otro conglomerante) con áridos (grava, gravilla y arena) y agua.

**MORTERO:** es una pasta formada por una mezcla de cemento, agua y agregado fino como la arena.

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN:** esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento.

**FRAGUADO:** proceso de solidificación y pérdida de la plasticidad inicial que tiene lugar en el hormigón, mortero, cemento, etc., por la desecación y cristalización.

**MAMPOSTERÍA:** sistema tradicional de construcción que consiste en erigir muros y paramentos, para diversos fines, mediante la colocación manual de los elementos o los materiales que los componen (denominados mampuestos) que pueden ser, por ejemplo: ladrillos, bloques de cemento prefabricados y piedras.

**CURADO:** es el mantenimiento de un adecuado contenido de humedad y temperatura en el mortero a edades tempranas, de manera que este pueda desarrollar las propiedades para las cuales fue diseñada la mezcla.

**CONSISTENCIA:** propiedad que define la humedad de la mezcla por el grado de fluidez de la misma entendiéndose con ello que cuanto más húmeda es la mezcla mayor será la facilidad con la que el concreto fluirá durante su colocación.

---

<sup>39</sup>LEY GENERAL AMBIENTAL DE COLOMBIA. Consultado el mes de mayo de 2012, disponible en [http://www.oas.org/dsd/fida/laws/legislation/colombia/colombia\\_99-93.pdf](http://www.oas.org/dsd/fida/laws/legislation/colombia/colombia_99-93.pdf).

### **3. DISEÑO METODOLÓGICO**

#### **3.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

La presente investigación es de tipo experimental debido a que se determinó la relación causa-efecto que existe entre la variable independiente (porcentaje de “calamina”) y la variable dependiente (Resistencia a la compresión); tratando de establecer con la mayor precisión posible si con el manejo de la “calamina” procedente de Tenaris TuboCaribe S.A se podía llevar a cabo la producción de bloques de mortero tipo estructural mediante el proceso de secado natural y a su vez se pudiera establecer los usos posibles de esta “calamina” de tal manera que se realizara de forma segura y que contribuyera a reducir el impacto ambiental. Según, Roberto Hernández:” un diseño experimental es un estudio en donde se manipulan una o más variables independientes (supuestas causas-antecedentes), para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes”.

#### **3.2 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN**

El enfoque de la investigación adoptado es cuantitativo; debido a que se estableció a través de diferentes pruebas químicas la evaluación de la “calamina”, también se incluyeron los procesos químicos mediante ensayos para obtener las condiciones óptimas que fueran posibles en un rango de especificaciones para el manejo o uso de la “calamina”, además también se llevó a cabo la prueba de resistencia a la compresión del producto obtenido como lo fueron los bloques de mortero tipo estructural y a partir de dicha prueba se obtuvieron datos los cuales fueron ordenados y agrupados en una tabla de manera respectiva para luego ser analizados. Según Cerda Gutiérrez Hugo lo cuantitativo se reduce a medir variables en función de una magnitud, extensión o cantidad determinada donde la magnitud se refiere a toda propiedad que pueda ser medida y la extensión es una parte del espacio que ocupa una cosa.<sup>40</sup>

#### **3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

El tipo de investigaciones de carácter experimental-aplicada debido a que se sustentó en teorías, observaciones, experimento e informaciones que hacen posible analizar las variables y parámetros que permitieron la evaluación de la “calamina” de fácil aplicación para la elaboración de bloques de concreto. Según Hernández Roberto la investigación experimental consiste en someter un objeto

---

<sup>40</sup>Cerda Gutiérrez, Hugo. Los elementos de la investigación, como reconocerlos, diseñarlos y construirlos. El búho editorial. 46p

en estudio a la influencia de ciertas variables, en condiciones controladas y conocidas por el investigador y así observar los resultados que las variables producen en el objeto.<sup>41</sup> Según Hurtado de Barrera Jacqueline la investigación aplicada es aquella que se caracteriza por buscar la aplicación o utilización de los conocimientos.<sup>42</sup>

### **3.4 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN**

#### **3.4.1 Fuentes primarias**

La información se obtuvo mediante visitas realizadas a la empresa Tenaris Tubocaribe S.A. a través del Ingeniero Edwin Castellanos, encargado del seguimiento del proyecto quien nos facilitó toda la información requerida acerca del residuo de: procesos de obtención de la calamina, resultados de pruebas de laboratorio para conocer la composición química, propiedades físicas y condiciones de almacenamiento de la calamina.

#### **3.4.2 Fuentes secundarias**

Se realizó una recopilación documental y bibliográfica con relación al tema, lo cual incluyó teorías generales y conceptos que sirvieron para la interpretación del problema de investigación. Para lo anterior se consultaron libros, páginas de internet, revistas especializadas en el tema, artículos científicos, banco de datos y trabajos de grado que guardaran relación con el tema de estudio.

### **3.5 HIPÓTESIS**

#### **3.5.1 Hipótesis alternativa**

Al adicionar el porcentaje de calamina en un intervalo de 5% a 7% en la mezcla de elaboración de los bloques, esta incrementará el doble de resistencia a la compresión en comparación a los bloques con 0% de calamina.

#### **3.5.2 Hipótesis nula**

Al adicionar el porcentaje de calamina en un intervalo de 5% a 7% en la mezcla de elaboración de los bloques, esta no se incrementará el doble de resistencia a la compresión en comparación a los bloques de mortero con 0% de calamina.

---

<sup>41</sup>HERNÁNDEZ, Roberto. Metodología de la investigación. Mc Graw-Hill Editores S.A. p. 126

<sup>42</sup>HURTADO DE BARRERA, Jacqueline. Metodología de la investigación holística. Sygal fundación edición. P,168-269

### 3.6 VARIABLES

#### 3.6.1 Variables independientes

- Porcentaje de “calamina”

#### 3.6.2 Variables intervinientes

- Tiempo
- Temperatura

#### 3.6.3 Variables dependientes

- Resistencia a la compresión

### 3.7 OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

TIPOS	VARIABLES	DEFINICIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES
<b>INDEPENDIENTE</b>	Porcentaje de “calamina”	Proporción de la “calamina”	M	%
<b>DEPENDIENTE</b>	Resistencia a la compresión	Esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento.	F/A	Psi
<b>INTERVINIENTE</b>	Tiempo	Magnitud física que permite medir la duración de las cosas sujetas a cambios.	t	Hr
	Temperatura	Contenido de la energía interna de las moléculas	T	°C

Donde M (masa), F (fuerza), A (área), t (tiempo) y T(temperatura).

### **3.8 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

La información obtenida de la empresa Tenaris TuboCaribe S.A será recopilada y analizada por los investigadores con el propósito de evaluar las características fisicoquímicas para establecer qué valor agregado le puede proporcionar este residuo a la elaboración de los bloques de mortero.

Teniendo en cuenta las propiedades fisicoquímicas y la composición química de la calamina, se producirán los bloques estimando el porcentaje de calamina para establecer como interfiere esta variable en la calidad de los bloques de mortero. La calidad de los bloques será evaluada a través de las pruebas de resistencia a la compresión.

Los datos recolectados de las pruebas de resistencia a la compresión serán organizados, tabulados y graficados para realizar un análisis detallado con el propósito de establecer el porcentaje óptimo de calamina en la elaboración.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 ANÁLISIS DE LA CALAMINA

Se tomó una muestra de lodo de calamina de la empresa Tenaris Tubocaribe; los cuales se evaluaron las propiedades fisicoquímicas y la composición química a través de pruebas de laboratorio y se analizó si la fuente de hierro en este residuo era significativa para añadirla en la mezcla de elaboración de los bloques de mortero. De acuerdo a esto se obtuvieron los siguientes resultados que se muestran en las tablas 3 y 4.

**Tabla 3. Propiedades fisicoquímicas de la Calamina**

PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO	METODO ANALITICO
Textura	N/A	Fragil y poco flexible	Visual
Color	NA	Gris azulado	Visual
Humedad	%	0,63	Gravimetrica
pH	Unidades	6,00	Potenciometro
Grasas y aceites	mg/L	462,90	Extraccion soxhlet
Corrosividad	–	No corrosivo	Potenciometro
Densidad	g/ml	2.12	m/v

**Fuente:** Resultados de laboratorio de lodos de calamina Tenaris Tubocaribe S.A.

**Tabla 4. Composición Química de la Calamina**

Parámetro	Unidades	Resultados	Nivel máximo permisible en el lixiviado (mg/l) Dec. 4741/05
Hierro total	mg/L	7,75	Sin norma
Arsénico	mg/L	<0,006	5
Bario	mg/L	<0,2	100
Cadmio	mg/L	<0,07	1
Cromo total	mg/L	<0,02	5
Niquel	mg/L	<0, 3	Sin norma
Plata	mg/L	<0.06	5
Selenio	mg/L	<0,005	1
Mercurio	mg/L	<0,002	0,2
Plomo	mg/L	<0,40	5
Oxido Férrico	mg/L	7,8	Sin norma
Oxido Ferroso	mg/L	1,4	Sin norma

**Fuente:** Resultados de laboratorio de lodos de calamina Tenaris Tubocaribe S.A.

En la tabla 4 se puede observar que la fuente de hierro (oxido férrico, oxido ferroso y hierro total) representa mayor relevancia en este residuo ya que se encuentra en mayor proporción.

#### 4.2 PRUEBA DE GRANULOMETRIA PARA LA ARENA DE PALMARITO

##### Procedimiento

- Se recolectó una muestra de arena de palmarito ubicada en la Bloquera Periferia.
- Siguiendo la norma NTC 77 se procedió a pesar 305 g de arena humedad y esta se puso a secar en u horno a temperatura de 110 °C durante 24 horas para eliminar el contenido de humedad presente en la arena.
- Después de cumplir con las 24 horas de secado se calculo él % de humedad.
- Posteriormente la muestra de arena seca se somete a tamizado durante 10 minutos, para esto se organizaron la serie de tamices estipulados en la NTC 174 respectivamente los tamices #3/8”, #4,#8, #16, #30, #50 y #100.
- Después del proceso de tamizado se procedió a realizar los cálculos de granulometría para caracterizar la arena( tipo de arena y modulo de finura)

**Tabla 5. Normas utilizadas en la granulometría del agregado fino**

<b>NORMAS</b>	<b>DESCRIPCION</b>
NTC 77	MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS POR TAMIZADO DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS
NTC 174	LÍMITES DE LA GRANULOMETRIA DE LA ARENA

**Fuente:** Instituto Colombiano de Normas Técnicas para la granulometría de la arena.

En la tabla 5 se referencian las normas utilizadas las cuales especifican el procedimiento para caracterizar la arena.

**Tabla 6. NTC 174**

CURVA GARNULOMETRICA	
N° TAMIZ	% QUE PASA
3/8 "	100
4	95-100
8	80-100
16	50-85
30	25-60
50	10-30
100	2-10

**Fuente:** Instituto Colombiano de Normas Técnicas para la granulometría de la arena.

La tabla 6 muestra los tamices y el porcentaje que pasa teniendo en cuenta el número de tamiz la cual está establecida en la norma NTC 174.

**Tabla 7. Características de la arena antes del proceso de tamizado**

$$\% \text{HUMEDAD} = (\text{ARENA HUMEDA} - \text{ARENA SECA}) / \text{ARENA SECA} * 100$$

	DATOS	UNIDADES
ARENA HUMEDA	305	g
ARENA SECA	296	g
% HUMEDAD	3,0	%

**Fuente:** Investigadores

La tabla 7 hace referencia a los datos obtenidos de la arena antes y después del proceso de secado.

**Tabla 8. Análisis granulométrico de la arena tamizada**

N° DE TAMIZ	PESO DEL TAMIZ (G)	PESO DE TAMIZ + MUESTRA DE ARENA (G)	PESO DE LA MUESTRA DE ARENA (G)	% RETENIDO EN CADA TAMIZ	
				PESO RETENIDO (G)	% RETENIDO
4	660	690	30	30	10,14
8	610	670	60	60	20,27
14	560	590	30	30	10,14
30	470	500	30	30	10,14
50	470	560	90	90	30,41
100	480	520	40	40	13,51
<b>FONDOS</b>	400	410	10	10	3,38
		<b>PESO TOTAL RECOLECTADO</b>	290	<b>%TOTAL</b>	97,97

**Fuente:** Investigadores

La tabla 8 muestra las cantidades de arena retenida en cada tamiz.

Nota: se modificó el N° de tamiz 16 por el 14 ya que no había la abertura.

**Tabla 9. Clasificación de la arena según tamaño del grano**

N° DE TAMIZ	% RETENIDO	DIAMETRO APROX MAYOR (mm)	CLASIFICACION
4	10,14	6,350	Arena gruesa
8	20,27	3,175	
14	10,14	1,814	
30	10,14	0,847	Arena media (0,42-2,0)
50	30,41	0,508	
100	13,51	0,254	arena fina (0,25-0,074)
<b>FONDOS</b>	3,38	>0,254	

**Fuente:** [http://icc.ucv.cl/geotecnia/03\\_docencia/02\\_laboratorio/manual\\_laboratorio/granulometria.pdf](http://icc.ucv.cl/geotecnia/03_docencia/02_laboratorio/manual_laboratorio/granulometria.pdf)

La tabla 9 muestra la clasificación del tipo de arena teniendo en cuenta el % retenido en cada tamiz y el diámetro del grano de la arena.

**Tabla 10. Resultados del tipo de arena de acuerdo al porcentaje retenido**

<b>% DE RETENIDO</b>	<b>TIPO DE ARENA</b>
30,405	ARENA GRUESA
50,676	ARENA MEDIA
16,89	ARENA FINA

**Fuente:** Investigadores

De la tabla 10, se puede decir que aproximadamente el 50,676% de la muestra es arena media, ya que el rango corresponde a esta clasificación. Solo el 30,405% es arena gruesa, y el 16,89% de la muestra corresponde a arena fina.

**Tabla 11. Resultados de la arena por tamiz**

<b>TAMIZ</b>	<b>PESO RETENIDO</b>	<b>%RETENIDO</b>	<b>% RETENIDO ACUMULADO</b>	<b>% QUE PASA</b>
3/8 "	0	0	0	100
4	30	10,14	10,14	90
8	60	20,27	30,41	70
14	30	10,14	40,54	59
30	30	10,14	50,68	49
50	90	30,41	81,08	19
100	40	13,51	94,59	5
<b>FONDO</b>	10	3,38	97,97	2,03

**Fuente:** Investigadores

**Tabla 12. Clasificación del tipo de arena según modulo de finura**

RANGO DEL MODULO DE FINURA	TIPO DE ARENA
2,3	ARENA FINA
2,3-3,1	ARENA MEDIA
< 3,1	ARENA GRUESA

**Fuente:** Castillo, William. Análisis granulométrico del agregado fino

La tabla 12 muestra la clasificación del tipo de arena teniendo en cuenta los rangos de modulo de finura.

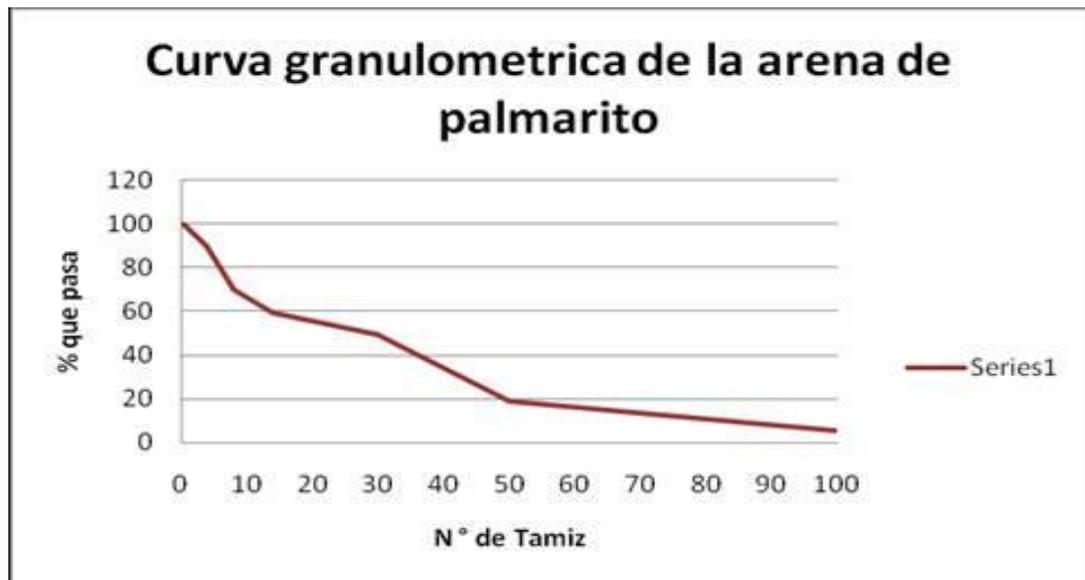
**Tabla12.1 Caracterización de la arena de palmarito**

<b>MODULO DE FINURA</b>	3,07	Arena media
-------------------------	------	-------------

**Fuente:** Investigadores

La tabla 11.1 muestra el módulo de finura para la arena de palmarito y en base a este módulo teniendo en cuenta la tabla 15 se obtuvo que es arena media.

**Figura 5. Curva Granulométrica de la arena de palmarito N° de tamiz Vs % que pasa.**



**Fuente:** Investigadores

Esta grafica describe el porcentaje de arena que pasa por cada tamiz. Se puede observar que a medida que aumenta el número de tamiz el porcentaje de arena que pasa va disminuyendo.

### 4.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

#### Descripción del proceso

Teniendo la materia prima se procedió a preparar la mezcla de la siguiente forma:

- En una balanza analítica se pesaron las materias primas (ver tabla 6) y se colocaron en una superficie plana libre de cualquier contaminante que pudiera modificar el proceso.
- Se Mezclaron bien las tres materias primas; arena-cemento-calamina dependiendo la dosificación por prueba (ver tabla 6) y con una pala se hizo especie de una corona, es decir un hueco en el centro.
- Se procedió a agregar el volumen de agua establecido para obtener la consistencia de mezcla adecuada para elaborar los bloques.
- La mezcla se vació en cada tipo de molde (#6, #4 y cilindros) hasta llenarlo y compactarlo de manera manual. Para el vaciado de la mezcla en los cilindros hay que tener en cuenta el siguiente procedimiento: se compacta con una varilla la muestra en 3 capas de 25 golpes cada una distribuida uniformemente penetrando ligeramente la capa inferior, después de apisonar cada capa golpear ligeramente el molde 10 o 15 veces.
- Se procedió a retirar lentamente los moldes, cuidando de no desbaratar o despostillar la forma del molde recién formada; este procedimiento se siguió para los bloques # 4 y #6, mientras que para los cilindros se dejo secar la mezcla durante un día para obtener el molde más compacto.
- Se almacenan los bloques en un área seca a la intemperie durante los días de secado; respectivamente 7 y 14 días. Durante esos días los bloques fueron sometidos al proceso de curado, el cual consistió en regar los bloques con agua para cuidar y mantener su resistencia.

**Tabla 13. Dosificación de mezcla de elaboración de los bloques suministrada por bloquera**

	MEDIDA ESTANDAR POR LA BLOQUERAS		
	PARA 90 bloque #4 y #6	PARA 50 BLOQUES #4	PARA 40 UNIDADES
MATERIA PRIMA	CANTIDADES	CANTIDADES Kg #4	CANTIDADES Kg #6
Cemento	2 BOLSA	50	50
Arena	20 LATAS	430	430
Agua	VISUAL	NA	NA

**Fuente:** Bloquera de Turbaco

En la tabla 13 se especifica las cantidades usadas por la bloquera lo cual sirvió de apoyo para realizar los bloques a una escala más pequeña. El 100% corresponde a la mezcla cemento-arena, ya que el agua se va agregando a medida que se va obteniendo la consistencia adecuada en la mezcla de la elaboración de los bloques.

**Tabla 14. Dosificación de mezcla de elaboración de los bloques escala piloto para cada especímenes.**

	MEDIDA A ESCALA PILOTO		
	CEMENTO	ARENA	ESPECIMENES
BLOQUE #4	2	17,2	2
BLOQUE #6	2,5	21,5	2
CILINDRICO	2,5	21,5	2
TOTAL	7	60,2	6

**Fuente:** Investigadores

En la tabla 14 se muestra las cantidades obtenidas en base a la producción de la bloquera.

**Tabla15.Dosificación de mezcla de elaboración de los bloques**

<b>MEDIDA ESCALA PILOTO</b>		
<b>PARA BLOQUES Y CILINDROS</b>		
<b>MATERIA PRIMA</b>	<b>CANTIDADES Kg</b>	<b>PORCENTAJES %</b>
Cemento portland	7	10,45
Arena Palmarito	60	89,55
Agua	6	NA
<b>TOTAL</b>	<b>73</b>	<b>100</b>

**Fuente:** Investigadores

En la tabla 15 se muestra las cantidades que se utilizaron para elaborar la mezcla de cemento-arena-agua para la producción de los bloques y cilindros teniendo en cuenta las cantidades manejadas por la Bloquera se llevo a escala piloto.

El porcentaje de agua no aplica puesto que la mezcla se hace en base al cemento y arena , teniendo en cuenta lo planteado por la bloquera; de que el agua se debe dejar de adicionar cuando ya la mezcla esta consistente, sin embargo para la escala piloto se estableció esa cantidad de agua, ya que a través de pruebas realizadas anteriormente se observo que la mezcla tenía una consistencia adecuada con esa cantidad.

#### **Cálculos de dosificación del porcentaje de calamina**

Se calcula el porcentaje de calamina en base a materia prima (cemento-arena) que posee mayor proporción en la mezcla, Teniendo en cuenta que será el 100% para la adición de la calamina agregada a la mezcla.

$$\%calamina= (kg \text{ de arena} \times \% \text{ calamina}) / 100$$

**Tabla 16. Dosificación de la calamina en la mezcla de elaboración de los bloques**

PRUEBAS	CANTIDAD						MEZCLADO	
	CEMENTO (Kg)	ARENA PALMARI TO (Kg)	CALAMINA %	CALAMINA PURA (Kg)	AGUA		TIEMPO (Min)	HOMOGENEIDAD
					pH	V (Lt)		
1	7	60	0	0	6,9	6	10	OK
2	7	60	3	1,8	7,02	6	10	OK
3	7	60	4	2,4	6.9	6	10	OK
4	7	60	5	3	7.1	6	10	OK
5	7	60	6	3,6	6.8	6	10	OK
6	7	60	7	4,2	6.8	6	10	OK

**Fuente:** Investigadores

En la tabla 16 se especifica los porcentajes de calamina adicionados en la mezcla que estuvieron en un rango de 0 a 7%, teniendo en cuenta que todo aditivo puede ser usado en cantidades hasta del 20% del agregado fino, puesto que este se encuentra en mayor proporción en la mezcla Arena-cemento.<sup>43</sup>

La cantidad de agua adicionada para todas las pruebas fue constante teniendo en cuenta también que tanto la arena como la calamina poseían humedad lo que fue favorable para obtener la consistencia de mezcla adecuada para elaborar los bloques.

Inicialmente se manejaron porcentajes de calamina de 0 a 20%, pero a medida que se iban elaborando las pruebas con los diversos porcentajes nos dimos cuenta que al 1% y 2% era una cantidad no apreciativa porque mínima a comparación con el 3%, y del 8% en adelante porque era inmanejable la mezcla y los bloques se desmoronaba ya que perdía consistencia en el fraguado.

<sup>43</sup>ZHINDON, Cristina. Utilización de hormigón poroso para revestimiento de taludes. Quito, febrero 2010.

**Tabla 17. Cantidades totales de especímenes de mortero por cada prueba.**

PRUEBAS	CANTIDAD REAL		
	BLOQUES		CILINDROS
	#4	#6	
1	2	2	2
2	2	2	2
3	2	2	2
4	2	2	2
5	2	2	2
6	2	2	2
<b>TOTAL</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>

**Fuente:** Investigadores

En la tabla 17 se muestra que para cada ensayo se obtuvieron 2 especímenes #4, 2 especímenes #6 y 2 especímenes cilíndricos por pruebas. Teniendo un total de 36 especímenes.

#### **Cálculos del balance para la dosificación**

El producto obtenido son los bloques de mortero, los cuales son dos de cada tipo así:

2 Cilindros, 2 bloques #6 y 2 Bloques #4

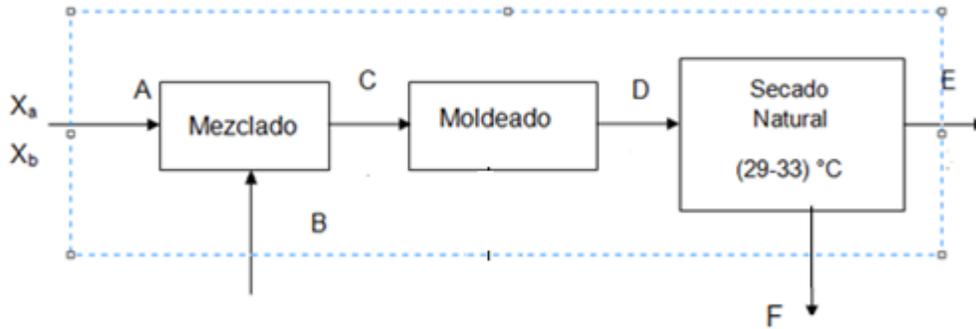
Hay que tener en cuenta que el peso del producto varía con el tiempo de secado el cual fue de 7 días a una temperatura aproximada entre 29°C y 33°C correspondiente al secado natural.

**Tabla 18. Peso de los bloques secos en diferente porcentaje de calamina**

% calamina	Peso Bloque #6 (Kg)		Peso Bloque #4 (Kg)		Peso Cilindro (Kg)		Total de especímenes (kg)
0	12,5	12,4	7,2	7,25	10,75	10,8	60,9
3	13,3	13,45	7,25	7,3	10,55	10,5	62,35
4	12,9	12,8	7	7,1	11,72	11,7	63,22
5	12,6	12,62	7,3	7,2	11,34	11,3	62,36
6	12,7	12,65	7,2	7,15	11,2	11,25	62,15
7	12,14	12,1	6,55	6,6	10,85	10,9	59,14

**Fuente:** Investigadores

## Balance de materia



## Balance total

(1)  $A+B=C$

(2)  $C=D$

(3)  $D=E+F$

La corriente A contiene:

$X_a$ = Cantidad de arena en Kg

$X_b$ = Cantidad de cemento en Kg

La corriente B contiene cantidad de agua en Kg

La corriente C contiene Cantidad de mezcla en Kg

La corriente D contiene Bloques de mortero Húmedos

La corriente E contiene Bloques de mortero secos

La corriente F contiene Contenido de humedad en Kg

## Cálculos del balance sin calamina

$A+B=C$

A contiene:

$X_a$ = 60 Kg de arena

$X_b$ = 7 Kg de cemento

$B$  = 6kg de agua

Reemplazando las cantidades en cada corriente se halla C

$C=60\text{kg} +7\text{Kg} +6\text{kg}$

$C= 73\text{kg}$  de mezcla

Donde  $C=D$  y  $D=E+F$

E contiene el peso total de los especímenes al 0% de calamina:

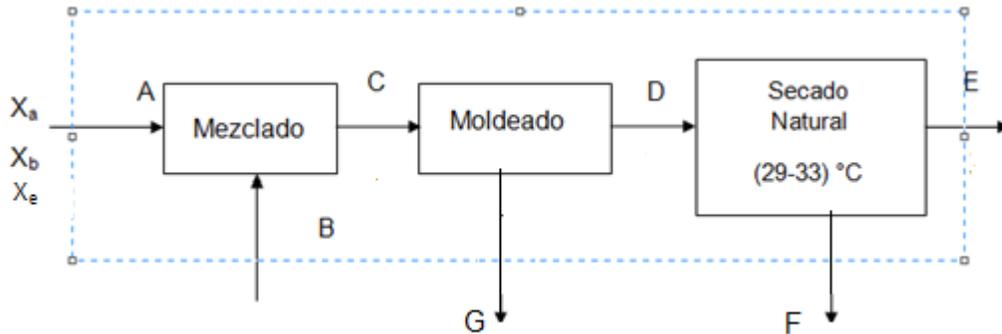
$E= 60,9$  kg

Despejando a  $F= D - E$

$F= 73$  Kg  $- 60,9= 12,1$  kg

## Balance de materia adicionado la calamina

El primer balance se hace para 3% de calamina que corresponde a 1.8 kg



### Balance total

$$(1) A+B=C$$

$$(2) C=D+G$$

$$(3) D=E+F$$

$$(4) A=E+F$$

La corriente A contiene:

$X_a$ = Cantidad de arena en Kg

$X_b$ = Cantidad de cemento en Kg

$X_e$ = Cantidad de calamina en kg

La corriente G contiene Material Inerte

### Cálculos del balance con calamina

$$A+B=C$$

A contiene:

$X_a$ = 60 Kg de arena

$X_b$ = 7 Kg de cemento

$X_e$ = 1.8 kg calamina

Por lo tanto,  $A=68.8$  Kg

$B = 6$ kg de agua

Reemplazando las cantidades en cada corriente se halla C

$$C=60\text{kg} + 7\text{Kg} + 1.8 \text{ kg} + 6\text{kg}$$

$$C= 74.8 \text{ kg de mezcla}$$

Donde  $A=E+F$  y Despejando  $F=A - E$

E contiene el peso total de los especímenes al 3% de calamina:

$$E= 62,35 \text{ kg}$$

$$F= 68.8 \text{ Kg} - 62,35 = 6.45 \text{ kg}$$

Donde  $D=E+F$

$$D = 62.35\text{kg} - 6.45\text{kg} = 55.9\text{kg}$$

$$C = D + G \text{ despejando } G = C - D$$

$$G = 74.8\text{kg} - 55.9\text{kg} = 18.9\text{kg}$$

Por analogía hacemos balance para los diferentes porcentajes de calamina.

#### 4.4 PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

Se realizaron 24 bloques y 12 especímenes cilíndricos para ser ensayados a los 7 y 14 días de secado. La mezcla se realizó para 4 bloques y 2 especímenes cilíndricos. Se realizaron los cilindros con el propósito solo de evaluar la resistencia de mezcla al variar los porcentajes de calamina.

**Tabla 19. Datos de resistencia a los 7 y 14 días de secado de los cilindros**

CILINDROS	EDAD: 7 DIAS	
	%CALAMINA	RESISTENCIA (psi)
	0	1000
	3	1000
	4	2000
	5	2000
	6	1400
	7	100

CILINDROS	EDAD: 14 DIAS	
	%CALAMINA	RESISTENCIA (psi)
	0	1200
	3	1400
	4	2000
	5	2200
	6	2000
	7	1400

La tabla 19 muestra los datos de resistencia a los 7 y 14 días de secado obtenidos al variar los porcentajes de calamina en la mezcla de elaboración de los cilindros.

**Tabla 20. Datos de resistencia a los 7 y 14 días de secado de los bloques # 4**

BLOQUES # 4	EDAD: 7 DIAS	
	%CALAMINA	RESISTENCIA (Psi)
	0	1000
	3	250
	4	750
	5	1200
	6	250
	7	250

BLOQUES # 4	EDAD: 14 DIAS	
	%CALAMINA	RESISTENCIA (Psi)
	0	1000
	3	900
	4	750
	5	750
	6	1000
	7	500

La tabla 20 muestra los datos de resistencia a los 7 y 14 días de secado obtenidos al variar los porcentajes de calamina en la mezcla de elaboración de los bloques #4.

**Tabla 21. Datos de resistencia a los 7 y 14 días de secado de los bloques # 6**

BLOQUES # 6	EDAD: 7 DIAS		BLOQUES # 6	EDAD: 14 DIAS	
	%CALAMINA	RESISTENCIA (Psi)		%CALAMINA	RESISTENCIA (psi)
	0	500		0	1600
	3	2000		3	1400
	4	1400		4	1000
	5	1000		5	250
	6	1000		6	750
	7	1200		7	1800

La tabla 21 muestra los datos de resistencia a los 7 y 14 días de secado obtenidos al variar los porcentajes de calamina en la mezcla de elaboración de los bloques #6.

#### 4.5 GRÁFICAS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN POR MUESTRA

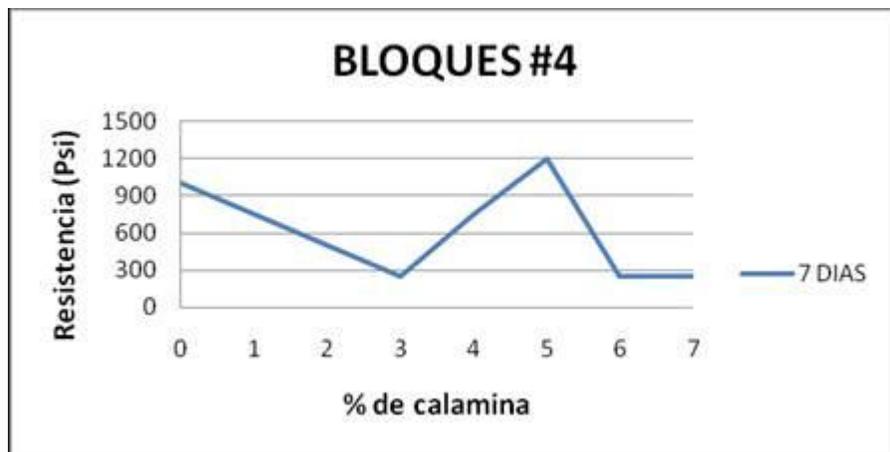
**Figura 6. Porcentaje de Calamina Vs Resistencia del cilindro a los 7 y 14 días de secado**

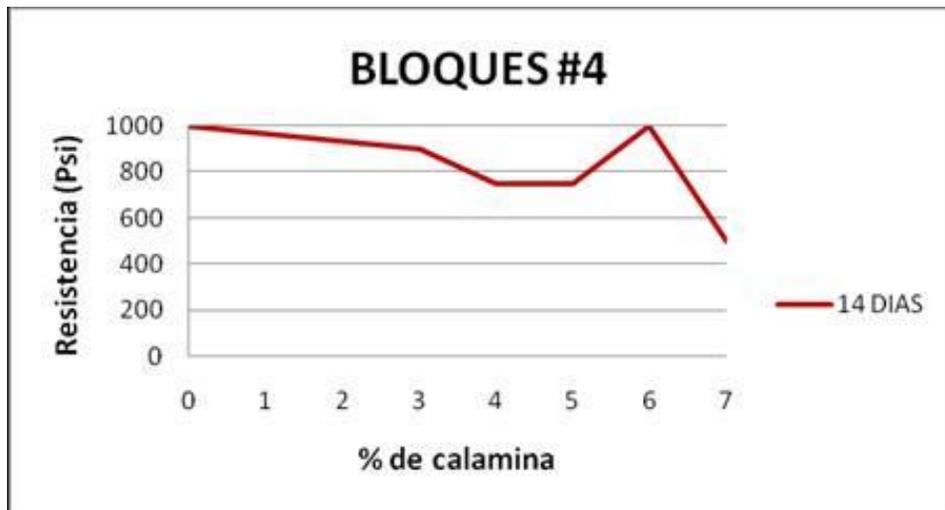




Las siguientes figuras describen el comportamiento de la resistencia de la mezcla a los 7 y 14 días de secado a medida que se variaba el porcentaje de calamina.

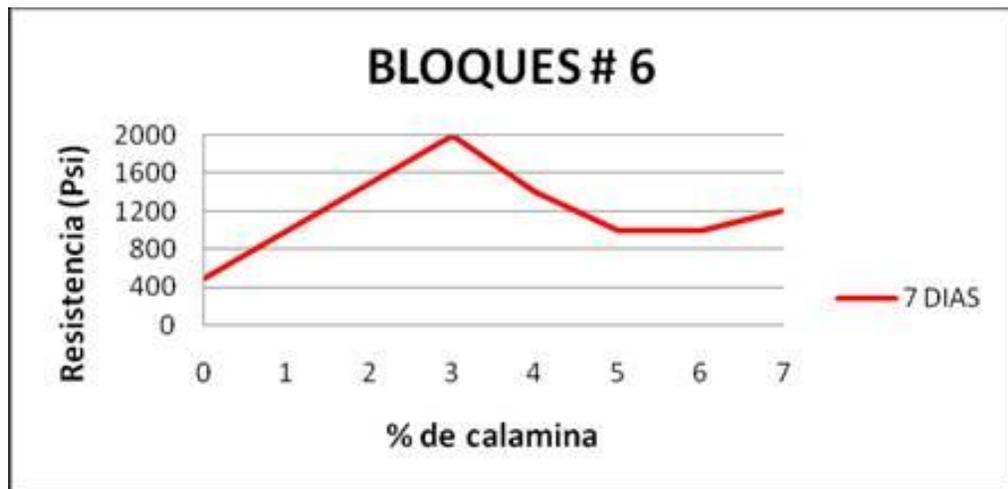
**Figura7. Porcentaje de Calamina Vs Resistencia de los bloques #4 a los 7 y 14 días de secado**

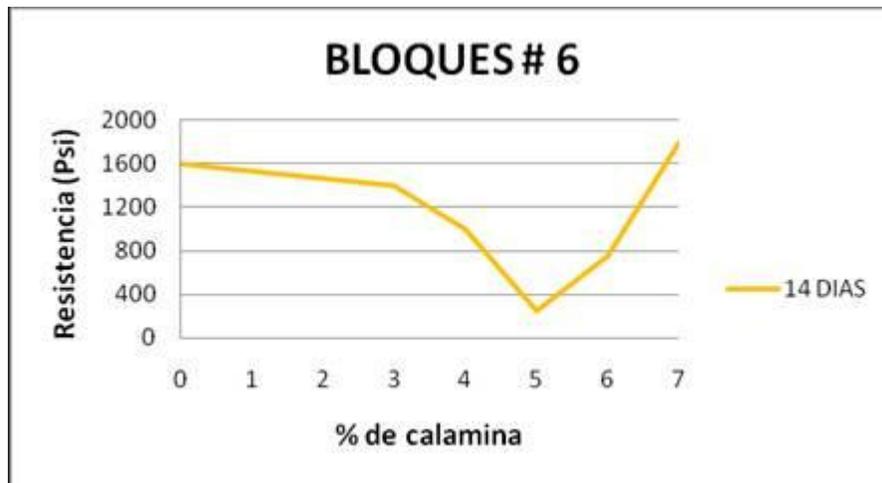




Las siguientes figuras describen el comportamiento de la resistencia a la compresión de los bloques de mortero #4 a los 7 y 14 días de secado a medida que se variaba el porcentaje de calamina.

**Figura 8. Porcentaje de Calamina Vs Resistencia de los bloques #6 a los 7 y 14 días de secado**

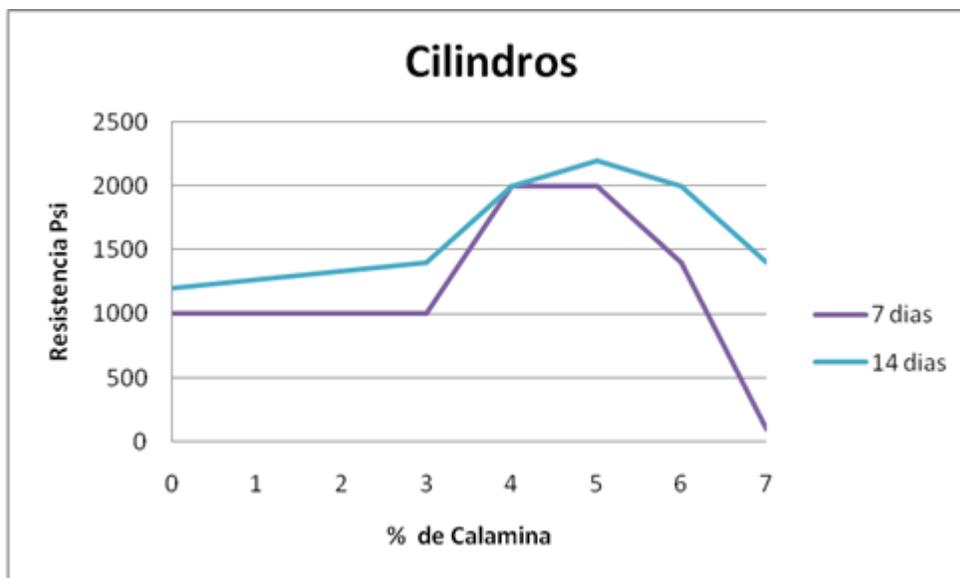




Las siguientes figuras describen el comportamiento de la resistencia a la compresión de los bloques de mortero #6 a los 7 y 14 días de secado a medida que se variaba el porcentaje de calamina.

#### 4.6 RESULTADOS COMPARATIVOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN POR EDAD DE SECADO Y POR MUESTRA

Figura 9. Curvas del % de calamina Vs Resistencia de los cilindros a los 7 y 14 días de secado

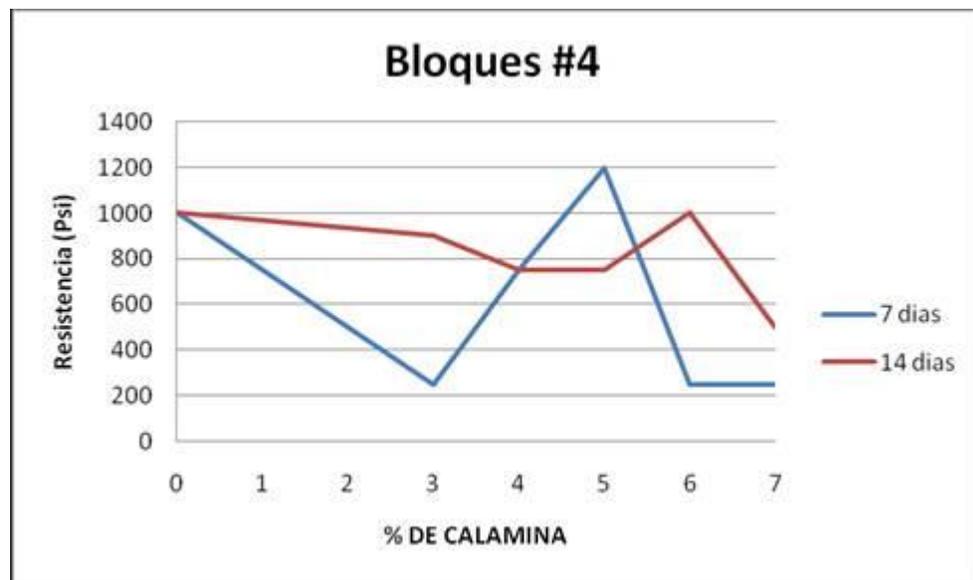


La curva de los 7 días de secado muestra que en el 3% de calamina en la mezcla empieza a crecer continuamente hasta llegar al 4% y de ahí se mantiene constante hasta el 5% que es en este rango donde se alcanza una resistencia óptima puesto que después empieza a decrecer.

La curva de los 14 días de secado empieza creciendo hasta llegar a un punto máximo de resistencia de 2200 Psi que corresponde al 5% de calamina en la mezcla.

Haciendo un análisis comparativo de la resistencia de mezcla para los cilindros a los 7 y 14 días se denota que donde convergen las dos curvas es en la mezcla del 4% de calamina, ya que alcanzan la misma resistencia la cual es 2000 Psi. Se puede denotar que las dos curvas presentan el mismo comportamiento, sin embargo la curva de los 14 días presenta mayor resistencia en los diversos porcentajes reflejando resultados positivos en la resistencia de la mezcla.

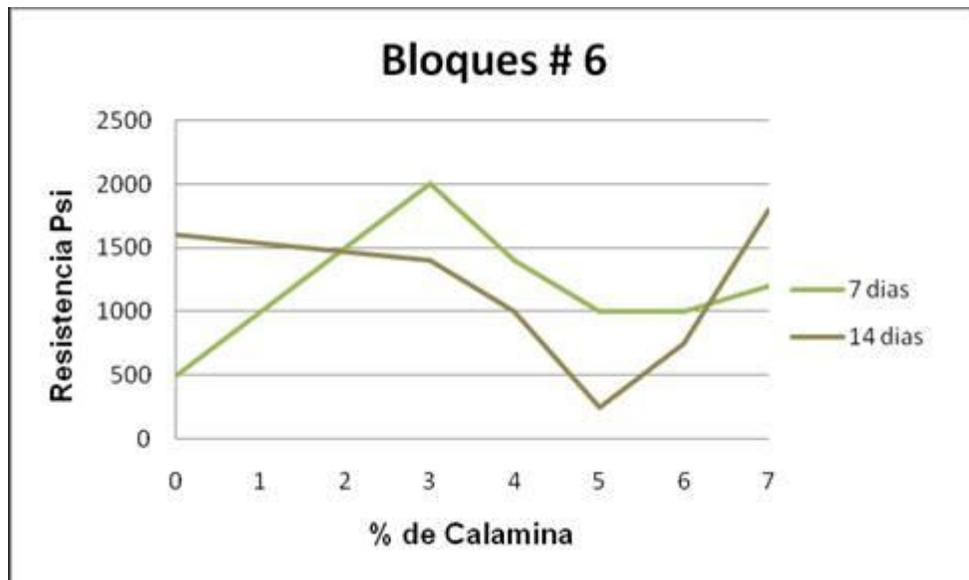
**Figura 10. Curvas del % de calamina Vs Resistencia de los cilindros a los 7 y 14 días de secado**



La curva de los 7 días de secado muestra un comportamiento decreciente desde el 0% hasta el 3% y a partir de ahí empieza a crecer logrando una resistencia óptima de 1200Psi en el 5%.

La curva de los 14 días de secado no muestra resultados representativos de resistencia con respecto a la curva de los 7 días ya que no hay punto de encuentro.

**Figura 11. Curvas del % de calamina Vs Resistencia de los cilindros a los 7 y 14 días de secado**



La curva de los 7 días de secado muestra un comportamiento creciente desde 0% hasta el 3% logrando una resistencia optima de 2000 Psi.

La curva de los 14 días de secado decrece constantemente desde 0% hasta el 5% y a partir de allí empieza a crecer continuamente logrando una resistencia optima de 1800 Psi en el 7%.

El punto de encuentro entre las dos curvas se muestra en el 2% correspondiente a una resistencia de 1500 Psi.

## 5. CONCLUSIONES

El análisis químico de la calamina arrojó en su composición que esta posee alto contenido de fuente de hierro lo que nos permitió su uso como aditivo en la fabricación de los bloques de mortero tipo estructurales ya que les ofrece a estos cierta resistencia.

La textura obtenida mediante el análisis granulométrico arrojó como resultado que la arena de palmarito se encuentra en un rango de arena media con un módulo de finura de 3,07; lo que indica que es una arena recomendable para elaborar los bloques de mortero, ya que esta arena en la mezcla facilitó el proceso de mezclado con las otras materias primas usadas debido a el tamaño de grano que esta poseía. Además la mezcla fue manejable con adecuada trabajabilidad y resultó con buena consistencia, homogeneidad y adhesividad.

El residuo de calamina obtenido en Tenaris Tubocaribe S.A. es un aditivo que resulta muy útil en los bloques debido a que es una fuente de hierro que les proporciona gran resistencia, reforzando la calidad de los bloques de mortero sin modificar su aspecto físico como la textura, la forma y consistencia visual de la mezcla, sin embargo al adicionar porcentajes mayores del 7% esta se verá afectada debido a la gran cantidad.

El uso de cilindros permitió establecer el intervalo de porcentaje de calamina óptimo en la mezcla que varía entre 4% y 5%.

Las hipótesis planteadas no se cumplen, ya que en el intervalo del 5% al 7% no se aumenta el doble de resistencia por compresión con relación a los bloques de 0% de calamina, a pesar de que en el 5% si se duplica esa resistencia, es aquí donde se alcanza el punto máximo y a partir de ahí no se incrementa mas esta propiedad mecánica sino que tiende a disminuir.

Al evaluar la resistencia a la compresión de los bloques #4 y #6 los datos obtenidos fueron muy variantes debido a que la carga aplicada no era uniforme en todo el bloque, debido a esto no se obtuvieron los resultados esperados en comparación a los datos obtenidos para los cilindros, por lo tanto no se puede precisar que los bloques #4 y #6 garanticen utilidad como bloques tipos estructurales.

Para obtener bloques de buena calidad hay que seguir rigurosamente una serie de pasos durante el proceso de fabricación los cuales son: selección de las materias primas cuidadosamente (cemento-arena-agua), determinación de una correcta dosificación, perfecto mezclado, moldeo y compactación.

## 6. RECOMENDACIONES

La caracterización de arena es de gran importancia al momento de elaborar los bloques puesto que debe cumplir con una serie de parámetros: no debe contener ningún tipo de residuos que afecten el proceso de mezclado y consistencia de la mezcla. Es necesario verificar la calidad y la granulometría del agregado utilizado, ya que no siempre es constante y esto puede variar la uniformidad de los bloques.

Para realizar la mezcla se debe seguir una serie de pasos tales como: Mezclar el mortero seco en conjunto con el agregado hasta obtener un color uniforme de esas materias primas y finalmente se adiciona el agua hasta lograr una buena consistencia.

Si los bloques al momento del desmolde presentan fisuras, grietas y se astillan es necesario volver a hacerlos, ya que esto cambia notablemente su área, lo cual influye en la resistencia del bloque, ya que estos tienden a desmoronarse al cumplir el tiempo de secado y por lo tanto se deteriora significativamente la durabilidad y los valores de resistencia al realizar las pruebas mecánica de resistencia a la compresión.

Para obtener bloques con una buena resistencia, es importante que estos constantemente se remojen durante el tiempo de secado estipulado.

Los equipos empleados para evaluar la resistencia a la compresión de los bloques debe hacer una carga uniforme en todo el bloque para que este pueda arrojar resultados coherentes y confiables.

## REFERENCIAS

ARRIETA FREYRE, Javier y otros. Fabricación de bloques de concreto con una mesa vibradora. Universidad Nacional de ingeniería, facultad de ingeniería civil. Lima-Perú, 2001.57p.

BATIC O.R y otros. Influencia de la incorporación de escoria en las características de los cementos resultantes. Universidad tecnológica Nacional, 2006.

BLOQUES DE CONCRETO. Consultado el mes de agosto de 2011, disponible en [http://www.asocem.org.pe/bivi/RE/DT/CC/bloques\\_concreto.pdf](http://www.asocem.org.pe/bivi/RE/DT/CC/bloques_concreto.pdf)

BLOQUES PARA HACERLOS MEJOR. Consultado el mes de agosto de 2011, disponible en <http://www.imcyc.com/ct2006/marzo06/POSIBILIDADES.pdf>

CEMENTO Y SU CLASIFICACIÓN. Consultado el mes de julio de 2011, disponible en <http://www.arquba.com/monografias-de-arquitectura/cemento-portland-usos-y-aplicaciones/>.

CERDA GUTIÉRREZ, Hugo. Los elementos de la investigación, como reconocerlos, diseñarlos y construirlos. El búho editorial.46p

COLEGIO DE ESTUDIOS CIENTIFICO Y TECNOLOGIAS DE ESTADO DE CHIAPAS. Elaboración de bloques de concreto utilizando vibrobloquera. Austeria de tarimas. Chiapas. 3-4p.

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA. Consultado el mes de julio de 2011, disponible en [http://www.construaprende.com/Lab/19/Prac19\\_1.html](http://www.construaprende.com/Lab/19/Prac19_1.html)

ESCALANTE, J y otros. Adición e una escoria geotérmica ultra fina sobre morteros de escoria de alto hornos activadas por álcalis. España: Vol. 1, 2002. 541p.

ESPINOZA, Lester y ESCALANTE, Iván. Comparación de las propiedades del concreto utilizando escoria de alto horno como reemplazo parcial y total del cemento Pórtland ordinario.

HERRERA, Angélica y MADRID, Germán. Manual de construcción de mampostería de concreto. Instituto Colombiano productores de cemento. Medellín: ICPC, 2000. 90p.

LA GRANULOMETRÍA. Consultado el mes de julio de 2011, disponible en <http://www.arqhys.com/granulometria.html>

MEJIA DE GUTTIEREZ, R y otros. Nuevos concretos para el aprovechamiento de un sub-producto industrial. Octubre, 2006.

MONTALVO, Rocío y otros .Caracterización de escoria siderúrgica por difracción de rayos X. Septiembre, 2006.

MONTOYA, Yesid de Jesús. La microestructura de los prefabricados de concreto. Revista universidad EAFIT, Enero: 2005

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 3459. Agua para la elaboración de concreto. Bogotá, D.C.: ICONTEC, 2003.

PREFABRICADOS DE CONCRETO. Disponible en <http://www.arqhys.com/construccion/produccion-concreto.html>

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. Consultado el mes de septiembre de 2011, disponible en <http://www.instron.com.ar/wa/glossary/Compressive-Strength.aspx>

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. Disponible en <http://www.imcyc.com/ct2006/junio06/PROBLEMAS.pdf>

SAEZ, Luis Alejandro. Reparación de muros de albañilería confinada con estuco armado con malla ACMA. Facultad de Ingeniería Civil, 2004.

UNIDADES (BLOQUES Y LADRILLOS) DE CONCRETO, PARA MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL. Ingeniería Civil y Arquitectura Norma técnica Colombiana 4026, Bogotá D.C.

SALAMANCA Correa, Rodrigo. "Dosificación de morteros, diseño de mezclas de mortero". Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 1984.

ZHINDON, Cristina. Utilización de hormigón poroso para revestimiento de taludes. Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Civil y ambiental. Febrero 2010.

**ANEXOS**

## Anexo A. CRONOGRAMA

Actividad	2011																2012																							
	Julio				Agosto				septiembre				Octubre				noviembre				diciembre				Enero				Febrero				Marzo				Abril			
Semanas	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Búsqueda de la información y recolección de la calamina en Tenaris Tubocaribe	■	■	■	■																																				
Revisión bibliográfica	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																												
Desarrollo del capítulo 1									■	■	■	■	■	■																										
Desarrollo del Capítulo 2													■	■	■	■	■																							
Correcciones capitulo 2															■	■																								
Desarrollo del capítulo 3																	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■												
Elaboración del diseño experimental																									■	■	■	■	■											
Análisis de las materias primas																													■											
Producción de los bloques de mortero																													■											
Realización de pruebas a los bloques de mortero																																	■	■						
Análisis y procesamiento de resultados																																	■	■						
Entrega de la tesis																																					■			

## Anexo B. PRESUPUESTO

<b>PRESUPUESTO DEL PROYECTO</b>			
<b>Concepto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio por Unidad</b>	<b>Monto Total</b>
Bolsas de cemento	2	22800	45600
Latas de arena	60	1000	60000
Viáticos	60	NA	200000
Maquinarias y equipo	12	3000	36000
Elementos de papelerías	250	400	100000
Mano de obra	NA	NA	50000
Reactivos y material laboral	NA	NA	20000
<b>Total</b>	<b>338</b>	<b>27200</b>	<b>511600</b>

## Anexo C. Proceso de Fabricación de los Bloques

### 1. DOSIFICACIÓN Y PROCESO DE MEZCLADO



## 2. MOLDEADO Y ALMACENAMIENTO





## Anexo D. Prueba de Resistencia para los especímenes







## Anexo E. Hoja de Seguridad de la Calamina

### HOJA DE SEGURIDAD DE CALAMINA

#### SECCIÓN 1: PRODUCTO QUÍMICO E IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA.

**Nombre del producto:** CALAMINA

**Sinónimos:** Escoria de metalurgia, oxido metálico en escamas, mezcla de óxidos metálicos, óxidos de hierro (III) y (II)

**COMPAÑÍA QUE DESARROLLO LA HOJA DE SEGURIDAD:** esta hoja de seguridad esta basada en de datos soportados con análisis realizados por el Instituto de Higiene Ambiental Ltda. Y Análisis Químicos y Tratamiento de Aguas Ltda. La alimentación fue desarrollada por: Tenaris tubocaribe S.A. Ternera Carretera Turbaco Km 1 Teléfono:6535400-6535429. Cartagena- Colombia

#### Sección 2. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN DE INGREDIENTES.

Componentes	Unidades	Resultado
pH	Unidades	6.00
Grasas y aceites	Mg/L	462.90
Humedad	%	0.63
Oxido ferroso	Mg/L	1.4
Oxido férrico	Mg/L	7.8

**Uso:** Aditivo en la industria del cemento, Ladrillos y Hormigón.

#### Sección 3. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

##### Indicaciones - Urgencia

**ATENCIÓN:** PUEDE CAUSAR IRRITACIÓN OCULAR, EN LA PIEL Y EN EL TRACTO RESPIRATORIO

La ingestión puede causar irritaciones de las mucosas.

Evitar el contacto con la piel, ojos y vestimenta.

Lavar a fondo tras su manipulación.

Manténgase el recipiente bien cerrado.

Posibles efectos en la salud vías primarias de la exposición

Las vías de entrada de sólidos y líquidos incluyen el contacto con ojos y piel, la ingestión y la inhalación.

Las vías de entrada de gases incluyen la inhalación y el contacto con los ojos. El contacto con la piel puede ser una vía de entrada de gases licuados.

Toxicidad aguda:

No hay datos disponibles.

Irritación: El producto no ha sido ensayado. La valoración ha sido calculada a partir de las propiedades de sus componentes individuales.

Toxicidad en caso de aplicación frecuente:

Indicaciones para: óxido de hierro(III)

La exposición crónica se conoce que produce neumoconiosis (enfermedad en los pulmones inflamación crónica y fibriótica)

La inhalación repetida de la sustancia ha originado aumento de la masa pulmonar y modificaciones en el tejido.

El producto no ha sido ensayado. La indicación se ha deducido a partir de productos de estructura o composición similar.

#### **Sección 4. Manipulación y almacenamiento**

##### **Manipulación**

###### **Indicaciones generales:**

Evitar el contacto con la piel. No se recomienda ninguna medida especial, si se utiliza el producto adecuadamente.

###### **Protección contra incendio/explosión:**

La sustancia/el producto no es combustible. El producto no es comburente, no auto inflamable ni existe peligro de explosión. Evítese la acumulación de cargas electroestáticas.

##### **Almacenamiento**

###### **Indicaciones generales:**

Consérvese únicamente en el recipiente de origen, en lugar fresco y bien ventilado y lejos de fuente de ignición, calor o llama. Proteger de la irradiación solar directa. Almacenar protegido de la congelación.

###### **Tolerancia a la temperatura**

Proteger de temperaturas inferiores a: 32 °F

El producto envasado debe estar protegido frente a temperaturas inferiores a las indicadas.

#### **Sección 5. Controles de la exposición / Equipo de protección personal**

##### **Componentes con valores límites controlables en el lugar de trabajo**

Oxido de hierro (III)

ACGIH Valor VLA-ED 5 mg/m<sup>3</sup> fracción respirable;

##### **Equipo de protección personal**

###### **Protección de las vías respiratorias:**

Si se sobrepasan los valores límites de exposición en el trabajo, es preciso utilizar un equipo de respiración homologado para ello.

###### **Protección de las manos:**

Utilice guantes protectores resistentes a químicos

###### **Protección de los ojos:**

Gafas protectoras con cubiertas laterales.

Continuación

**Sección 6 Propiedades físicas y químicas**

Estado físico: líquido

Olor: Tenue

Color: rojizo

Valor pH: 6.00

Punto de solidificación: 0 °C

Punto de ebullición: no aplicable

Presión de vapor: no aplicable

Solubilidad en agua: no aplicable

**Sección 7. Información sobre toxicología**

**Toxicidad crónica**

**Toxicidad en caso de aplicación frecuente:**

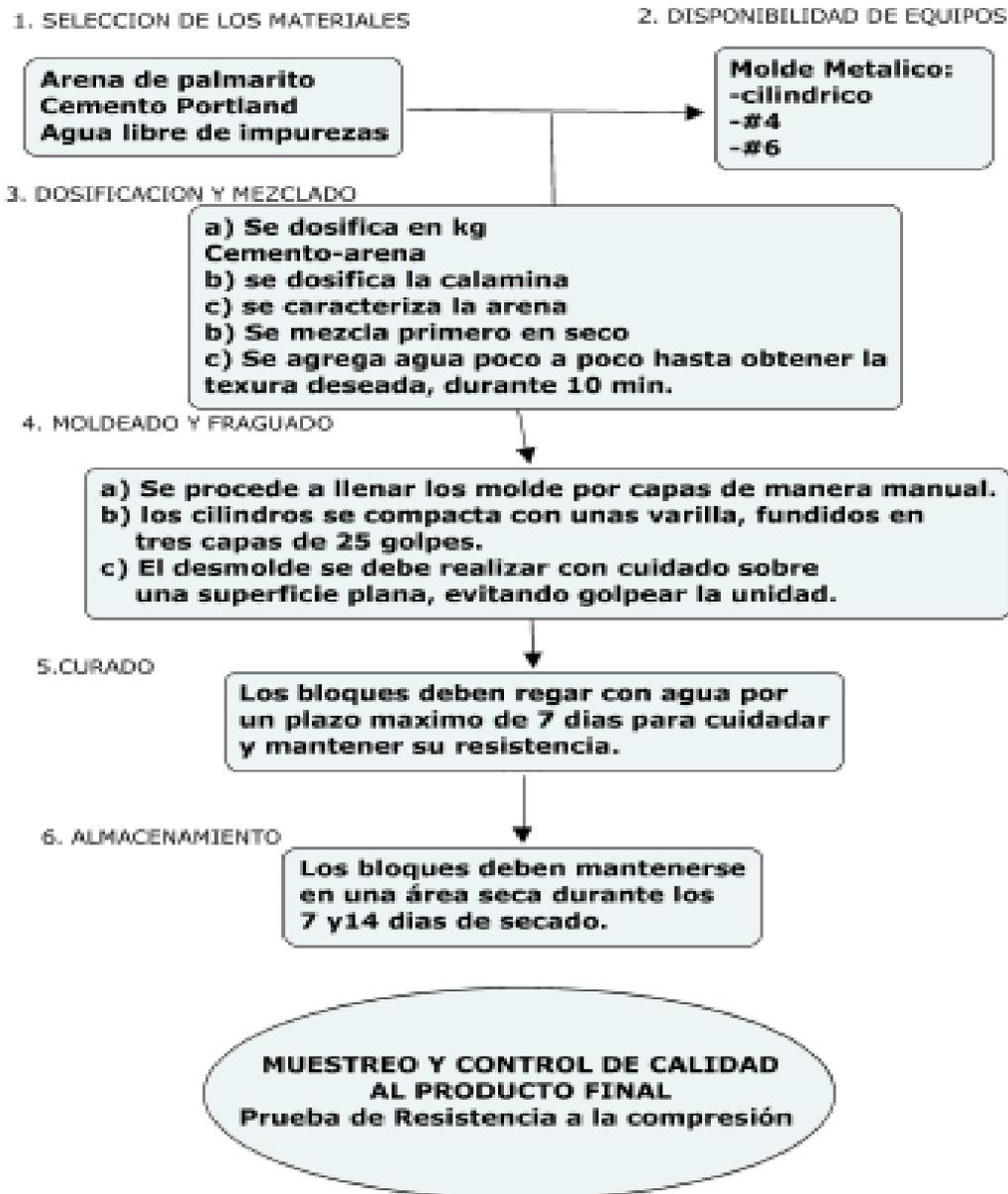
*Indicaciones para: óxido de hierro (III) y óxido de hierro (II).*

**Otras informaciones:**

Durante una manipulación correcta y una utilización adecuada del producto, no se producen efectos nocivos según nuestras experiencias e informaciones.

El producto no ha sido ensayado. Las indicaciones sobre toxicología se han deducido a partir de productos de estructura o composición similar.

## ANEXO F. Diagrama de flujo del proceso de producción de bloques



**FUENTE:** ARRIETA FREYRE, Javier y otros. Fabricación de bloques de concreto con una mesa vibradora. Universidad Nacional de ingeniería, facultad de ingeniería civil. Lima-Perú, 2001.