



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD
DE LA APLICACIÓN DE UNA ADICIÓN MINERAL QUE ASEGURE
LA CALIDAD DEL CEMENTO GRIS**

Héctor Aníbal Ajú Avalos

Asesorado por el Msc. Ing. Víctor Manuel Flores Martínez

Guatemala, abril de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD
DE LA APLICACIÓN DE UNA ADICIÓN MINERAL QUE ASEGURE
LA CALIDAD DEL CEMENTO GRIS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

HÉCTOR ANÍBAL AJÚ AVALOS

ASESORADO POR EL MSC. ING. VÍCTOR MANUEL FLORES MARTÍNEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, ABRIL DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
EXAMINADORA	Inga. María Martha Wolford E. de Hernández
EXAMINADORA	Inga. Mayra Saadeth Arreaza Martínez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE LA APLICACIÓN DE UNA ADICIÓN MINERAL QUE ASEGURE LA CALIDAD DEL CEMENTO GRIS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 4 de octubre de 2013.



Héctor Aníbal Ajú Avalos



USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
 Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226



0 0 0 0 2 4

AGS-MGIPP-001-2014

Guatemala, 22 de enero de 2014.

Director
 César Ernesto Urquizú Rodas
 Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial
 Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **Hector Anibal Aju Avalos** carné número **2000-11287**, quien optó la modalidad del **"PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO"**. Previo a culminar sus estudios en la **Maestría de Gestión Industrial**.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

"Id y enseñad a todos"

Victor Manuel Flores Martinez

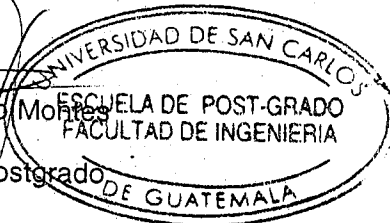
INGENIERO QUIMICO
Colegiado No.1,443

MSc. Ing. Victor Manuel Flores Martínez
 Asesor (a)

Cesar Akú Castillo MSc.
INGENIERO INDUSTRIAL
COLEGIADO No. 4,073

MSc. Ing. César Augusto Akú Castillo
 Coordinador de Área
 Gestión y Servicios

Mayra Virginia Castillo Montes
Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
Directora
 Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo
 /la



FACULTAD DE INGENIERIA

REF.DIR.EMI.050.014

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación en la modalidad Estudios de Postgrado titulado **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE LA APLICACIÓN DE UNA ADICIÓN MINERAL QUE ASEGURE LA CALIDAD DEL CEMENTO GRIS**, presentado por el estudiante universitario **Héctor Aníbal Ajú Avalos**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, abril de 2014.

/mgp

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 157.2014

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE LA APLICACIÓN DE UNA ADICIÓN MINERAL QUE ASEGURE LA CALIDAD DEL CEMENTO GRIS**, presentado por el estudiante universitario: **Héctor Aníbal Ajú Avalos**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 2 de abril de 2014

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por permitirme cumplir mis objetivos y bendecirme constantemente todos los días de mi vida y por ese versículo de Filipenses 4:13, que me acompaña en todo momento.
Mi esposa	Por todo su amor, por enseñarme que con esfuerzo y dedicación puedo llegar tan lejos como me lo proponga, además de los desvelos que pasamos juntos para lograr esta meta.
Mis hijos	Por todo el amor que me brindan, los momentos en que me apoyaron y me brindaron el ánimo para seguir adelante.
Mis hermanas	Por animarme para seguir adelante.
Familia Menéndez Salazar	Por el apoyo brindado a mi esposa e hijos en todo momento.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi casa de estudios, porque en esta institución tuve la oportunidad de formarme profesionalmente.
Facultad de Ingeniería	Por brindar los conocimientos y la experiencia que me permiten desarrollarme como una persona de éxito.
Mis amigos de la Maestría	Por su amistad y el apoyo que me han brindado para poder alcanzar la meta.
Mi asesor	Msc. Ing. Víctor Manuel Flores Martínez, por su tiempo y dedicación en la asesoría de este trabajo de graduación y por su amistad.
Lic. Mario Corea	Por el apoyo brindado en todo momento para la decisión de terminar la carrera.
Cemex	Por permitirme el tiempo para poder terminar este trabajo y alcanzar la meta trazada.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	XIII
1. ANTECEDENTES	01
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	07
2.1. Descripción del problema	07
2.2. Formulación del problema	07
2.3. Delimitación del problema	08
3. JUSTIFICACIÓN	09
4. OBJETIVOS	11
5. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	13
6. ALCANCES	15
7. MARCO TEÓRICO	17
7.1. Cemento Portland	18
7.2. Los compuestos activos del cemento.....	20
7.3. Proceso actual del cemento	22

7.4.	Materia prima del cemento	25
7.5.	Costos	31
7.5.1.	Costos de producción.....	33
7.5.1.1.	Materiales.....	34
7.5.1.2.	Mano de obra	35
7.5.1.3.	Costos indirectos de fabricación.....	35
7.6.	Costos directos e indirectos	35
7.6.1.	Factores y administración de costos	36
7.6.2.	Patrones de comportamiento de costos variables y fijos	37
7.6.3.	Clasificaciones de los costos	38
7.7.	Toma de decisión para la compra de equipo.....	39
7.8.	Estrategia de procesos y selección de maquinaria y equipo	41
7.8.1.	Estrategias de procesos	41
7.8.1.1.	Enfoque de proceso	42
7.8.1.2.	Enfoque de producto	42
7.8.1.3.	Enfoque repetitivo	42
7.9.	Flujo de caja proyectado	45
7.9.1.	Elementos del flujo de caja	46
7.9.2.	Estructura del flujo de caja	47
7.9.2.1.	Flujo de caja de proyectos de empresas en funcionamiento	49
7.10.	Métodos de evaluación	50
7.10.1.	Tasa interna de rendimiento (TIR)	51
7.10.2.	Valor presente neto	51
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	53

9.	METODOLOGÍA Y TÉCNICAS	55
9.1.	Variables e indicadores	55
9.2.	Tipo de estudio y diseño de investigación	55
9.3.	Técnicas de investigación.....	56
9.4.	Fase 1: fórmula óptima	57
9.4.1.	Análisis y recolección de datos	58
9.4.2.	Formulación de mezclas con adición mineral	58
9.4.3.	Ensayo de compresión	60
9.5.	Fase 2: estudio de costos.....	62
9.6.	Fase 3: descripción del equipo para la dosificación de adicionar mineral al proceso.....	62
9.7.	Fase 4: estudio de factibilidad	62
9.8.	Muestreo.....	63
9.9.	Tamaño de la muestra.....	63
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	65
10.1.	Medidas de tendencia central y dispersión.....	65
10.2.	Análisis de desviación estándar.....	65
10.3.	Gráficos de control.....	65
10.4.	Estudio de costos	65
10.5.	Estudio de factibilidad.....	66
11.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	67
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	69
13.	BIBLIOGRAFÍA	71

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Proceso de producción del cemento Portland.....	23
2.	Proceso de molienda.....	25
3.	Forma en que la materia prima se apila en una cantera	30
4.	Consumo de energía de un molino horizontal.....	31
5.	Elementos del costo de un producto	34
6.	Flujo de caja proyectado	48
7.	Flujo propuesto del proceso	57
8.	Molino de bolas de acero	58
9.	Forma en que se realizan las mediciones de la materia prima.....	59
10.	Mezcladora.....	59
11.	Compactado y almacenamiento de probetas	60
12.	Ensayo de compresión.....	61
13.	Probetas rotas por el ensayo.....	61
14.	Cronograma de actividades.....	67

TABLAS

I.	Tipos de proceso.....	44
II.	Clasificación de los métodos de producción.....	45
III.	Variables e indicadores	55
IV.	Recursos físicos y financieros	69

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
°C	Grados Celsius
=	Igual
%	Porcentaje
+	Suma
-	Resta

GLOSARIO

Costo	Valor sacrificado para obtener bienes o servicios.
<i>Clinker</i>	Es el principal componente para producir cemento.
Factor <i>clinker</i>	Son los factores o puntos en porcentaje de utilización <i>clinker</i> en una fórmula para producir cemento.
TIR	Tasa interna de retorno.
VPN	Valor presente neto.

RESUMEN

Debido a los constantes cambios en el mundo con respecto a los productos para la construcción, la empresa cementera de la cual se habla en esta investigación, se ha dedicado al estudio de nuevas formas de producir cemento, nuevos materiales para el proceso, materiales que eviten la contaminación, como lo son materiales con poca emisión de CO₂.

En esta investigación se estudiará la forma de adicionar un nuevo aditivo mineral tipo puzolana el cual ayudará a reducir el consumo de la materia prima de más alto costo. Este aditivo mantendrá un producto de alta resistencia que se reflejará en la calidad del producto entregado al cliente final, también se observarán las estrategias a utilizar para la toma de decisión en la compra de la maquinaria para la dosificación del mismo.

Este proyecto será un estudio prospectivo-longitudinal ya que los datos se tomarán en el tiempo actual, desde que se coloque el aditivo mineral a la fórmula, no se tomarán datos de fechas anteriores, y en el futuro se obtendrán los resultados deseados. Será longitudinal porque se observarán los resultados de las probetas (cubos) de concreto que se utilizan con las mezclas, se les realizarán los ensayos de resistencia a 3, 7 y 28 días según lo estipula la Norma ASTM-C1157.

Será una investigación experimental-aplicada ya que se añadirá este aditivo para obtener los resultados esperados (aumentar la resistencia y bajar 2 puntos de *clinker*), por lo cual será aplicada por medio de ensayos en el

laboratorio de calidad de planta, de acuerdo a la Norma ASTM-C1157, la cual es la que se utiliza para los cementos hidráulicos (Portland).

INTRODUCCIÓN

Este trabajo toma en cuenta los esfuerzos de las empresas que están en constante desarrollo, tanto en sus procesos como en su entorno (económico, social, ambiental), lo cual ha llevado a que proyecten diversos métodos, herramientas y equipos para ser más eficaces y eficientes en sus procesos e investigaciones, con el objetivo de realizar un cambio que las transformen en empresas más productivas y competitivas en su nicho del mercado.

Esta investigación busca cómo hacer que la empresa sea más rentable en su producto y proceso. Su objetivo principal, es analizar qué tan factible es la aplicación de una adición mineral al proceso de fabricación de cemento gris, además que asegure la calidad del producto, la rentabilidad del mismo, así como la búsqueda del equipo idóneo para su aplicación.

La realización de este análisis se llevará a cabo en fases, las cuales se distribuirán de esta manera: la fase 1 será la recolección de muestras. Estas se tomarán aleatoriamente de la nave de materia prima, después se llevarán a un molino de bolas de acero en donde se molerán muestras para obtener materiales con la misma granulometría, con el fin de tener mezclas homogéneas.

Se realizarán las diferentes formulaciones con los materiales del proceso anterior y en una mezcladora se colocarán varias fórmulas en las cuales se añadirá esta adición mineral. Con las formulaciones anteriores, en las que ya se le aplicó el aditivo se harán las probetas con las cuales se realizarán los

ensayos de compresión a 3, 7 y 28 días según la Norma ASTM C-1157 para obtener la fórmula óptima.

Para la fase 2 utilizando los resultados obtenidos, se calcularán los costos del producto con aditivo para compararlo con el costo del producto sin el aditivo. Este análisis se realizará por medio de los costos de producción, costos directos e indirectos.

La fase 3, es la más importante porque, según los ensayos y la caracterización del producto, se cotizará e implementará el equipo idóneo para la dosificación de este aditivo en las cantidades exactas para el resultado de la fórmula óptima.

Y por último la fase 4, se realizarán los estudios de factibilidad (financieros, TIR y VPN), para analizar si el proyecto es viable o no.

1. ANTECEDENTES

“¿Qué buscan los millones de latinoamericanos que diariamente abandonan el campo por la ciudad? Anhelan “el derecho al futuro”. El proverbio medieval: “el aire de la ciudad nos hace libres”, que visionaba la urbe como el recinto en el que poder escapar de la servidumbre feudal, resulta vigente aún en muchos casos en el continente americano” (Serrano, 2002). En el 2013 la visión que la población rural tiene de ir a vivir a las capitales para lograr una mejor oportunidad de vida no ha cambiado, esto provoca un déficit habitacional grande, y la ciudad de Guatemala tiene este problema.

A la hora de evaluar el costo de una vivienda hay tres factores que predominan en la totalidad de la inversión: terreno, mano de obra y materiales. Además, existen otra serie de elementos como licencias de construcción, el alquiler de maquinaria, los impuestos, etc., pero evidentemente resultan secundarios en comparación a los tres anteriores.

Existe una gran variedad de materiales de construcción: cerámica, madera, acero, piedra, tierra, pero el principal en el mercado de la construcción a nivel mundial es el cemento. En su calidad de aglomerante representa la base de la mayoría de las construcciones modernas, ya sea formando parte de su estructura (hormigón) o de su recubrimiento (morteros). “El concreto (hormigón) es el material más usado en todo el mundo, principalmente en la industria de la construcción de edificios, lo cual genera un elevado impacto ambiental que debe ser mitigado los materiales aglutinados y que dan volumen y cuerpo al compuesto” (Shackelford, 1995).

El cemento se ha convertido en un material indispensable por sus cualidades, pero no se trata de un material económico ni ecológico. Debido a esto su producción y consumo en las condiciones actuales no resulta sostenible a nivel mundial y mucho menos en el mercado guatemalteco cuyo precio en 2013 rondó los Q. 68,00 por cada saco (48,5 kilogramos según la Norma ASTM C-1157).

El cemento Portland es hoy día uno de los materiales más utilizados en todo el mundo. Se produce en alrededor de 150 países, su costo es relativamente bajo en comparación con otros materiales de construcción (como el hierro) por la posibilidad de producción industrial. Su gran versatilidad y los grandes resultados obtenidos en su utilización han hecho que este material haya relegado al olvido o a usos menores a todos sus predecesores.

El cemento Portland, se define como un cemento hidráulico porque la fragua endurece al reaccionar con el agua, es producido por pulverización de escoria, que consiste esencialmente de silicato de calcio hidráulico. Es un material inorgánico finamente pulverizado, de color gris o blanco que, al agregarle agua, ya sea solo o mezclado con arena, grava u otros materiales similares, tiene la propiedad de fraguar y endurecer incluso bajo el agua, en virtud de reacciones químicas durante la hidratación y que, una vez endurecido, conserva su resistencia y estabilidad.

Cuando el cemento es mezclado con agua y arena forma mortero, y cuando es mezclado con arena y piedras pequeñas forma una piedra artificial llamada concreto. La crisis energética y la búsqueda de mayor eficiencia en los procesos de fabricación de cemento han derivado en la necesidad de optimizar la molienda de *clinker*.

“Durante los últimos 60 años el estudio de la fabricación y utilización del cemento Portland ha abarcado enfoques cada vez menos empíricos y más científicos. A raíz de esto, los procesos de producción se han mejorado, lo que genera ahorros de energía superiores al 40 %, sin mencionar la reducción de emisión de contaminantes” (Escalante, 2002).

El empleo de adiciones de molienda o aditivos de procesos, como también se les llama, permite dar una solución a la problemática de la sustentabilidad, reduciendo el tiempo necesario para determinar una finura deseada, la utilización de aditivos y adiciones para optimizar el proceso de molienda quedan incorporados en el producto final y pueden influir sobre las características y propiedades del cemento, mortero y hormigones.

En 1987 nace el concepto de sustentabilidad y con él grandes cambios en la forma de operar los procesos industriales. Antes de esa fecha, la industria del cemento tenía amplios márgenes de acción que permitían elaborar un producto de calidad a partir de materiales relativamente consistentes y abundantes.

“¿Cómo podemos hacer sustentable al material más usado en el mundo?, la respuesta es buscar nuevos métodos, estrategias y prácticas sustentables para la elaboración del concreto, enfocándonos principalmente en el manejo de las materias primas a usar, y sus procesos de producción, sin afectar sus características para determinado uso y aplicación a que normalmente está destinado” (Villas, 1995).

Después de esa fecha, el reto que la sustentabilidad ha impuesto a la industria del cemento no es menor; ahora se trata de fabricar productos de igual o mayor calidad que antes, pero con materiales subestándares o alternos,

muchas veces subproductos de otras industrias y sin garantía de consistencia y/o abundancia.

“Establecer una norma y un método de selección del tipo de cemento o matriz de liga para que se puedan realizar las mezclas adecuadas de concreto sin afectar sus propiedades, principalmente para aplicaciones en estructuras de edificios que requieren de altas resistencias mecánicas, aunado con las opciones o estrategias anteriores, se podrían reducir mucho los costos y sobre todo el impacto al medio ambiente por sobreutilización de materias primas nuevas, sobre todo el cemento” (Neville, 1997).

Una de las formas en que la industria cementera evalúa su éxito para responder al reto de la sustentabilidad es reduciendo el contenido de *clinker* en el cemento producido (factor de *clinker*), pero manteniendo altos estándares de calidad del producto final. Para ello la industria ha aprendido a producir *clínkeres* mucho más reactivos que en el pasado y diseñando tecnologías para tener procesos robustos y flexibles ante los cambios continuos de materias primas y combustibles que ha traído sus compromisos como industria ante el reto de la sustentabilidad, con lo cual la empresa cementera en Guatemala está colocando todos sus esfuerzos en la investigación de materiales alternos.

Actualmente las soluciones de la industria química han logrado reducir de un 5 a un 10 % adicional el factor de *clinker* en los cementos modernos, sin decremento de sus propiedades físicas, lo cual obliga a reducir el factor de la molienda para obtener un producto a costo más bajo y sin perder sus características, lo que dará una mejor resistencia al producto. La mayoría de los minerales industriales se emplean en su estado natural, adaptando sus características físicas (tamaño de grano, humedad, etc.) a las exigencias de la industria pero sin variar su composición química original.

“Las restricciones ambientales impuestas a las cementeras son cada vez más estrictas, lo que conduce a la optimización de procesos o a la búsqueda de alternativas para la resolución de los diversos problemas y necesidades actuales” (Delgado, 2000).

Debido a esto es necesario incorporar una adición mineral la cual es del tipo puzolanico con bajo sílice la cual ayudará tener un producto que mantenga su rendimiento y así, poder bajar puntos de factor de *clinker*, esta adición mineral es una de las llamadas cargas, las cuales son materiales de relleno que reemplazan las materias primas más caras, además ayuda con el costo no se va a depender del material más caro en cierto porcentaje.

La empresa cementera, al investigar sobre nuevos materiales para optimizar el proceso, fue conociendo este tema y ahora sabe que la adición a utilizar es una puzolana, la cual diferencia de la que se usa actualmente, es más baja en sílice lo que ayudará a la resistencia del producto final.

Se necesita encontrar la mejor forma para dosificar esta adición mineral y utilizar el sistema idóneo para la dosificación del mismo. Actualmente se ha estudiado la forma de dosificación de forma volumétrica para las pruebas, la cual consiste en utilizar un cucharón de cargador frontal (3 metros cúbicos por cucharada), el cual vuelca el producto en una banda transportadora que lo lleva hacia una tolva que se encargará de enviarla al proceso (molino horizontal).

Esta forma de adicionar el producto al sistema no es muy exacta y se necesita encontrar la forma de dosificarlo exactamente, por ende se necesita un equipo que llene todas las propiedades para que al estar al contacto con este material mantenga sus propiedades.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Descripción del problema

Durante el 2013, la planta cementera utilizó 4 diferentes tipos de materia prima, el objetivo es la reducción de costos por lo cual se decidió colocar un elemento extra, el cual ayudará a bajar el porcentaje de utilización del material de más alto costo, además contribuirá a producir con una mejor calidad para darle una mayor satisfacción al cliente.

Este nuevo material es una adición mineral que es una puzolana con la propiedad de ser baja en sílice. Se tendrá la necesidad de caracterizarlo y conocer sus propiedades para ver la compatibilidad con las materias primas existentes y así determinar la mejor forma para dosificarlo en el sistema. Además, al tener los datos necesarios, se deberá informar a los proveedores qué sistema se necesita para dosificarlo en el proceso, realizando una evaluación de calidad, costo, capacidad del equipo.

2.2. Formulación del problema

Es necesario responder a las siguientes preguntas para lograr obtener los resultados que conllevan la investigación:

- ¿Será factible utilizar una adición mineral en el proceso del cemento gris sin que se afecte su calidad?

- ¿Cuál será la fórmula de producción óptima para adicionar este aditivo al proceso?
- ¿Cuáles son los costos actuales y los costos después de incorporar este aditivo al proceso?
- ¿Qué equipo es el idóneo para dosificar este aditivo al proceso?

2.3. Delimitación del problema

El estudio se realizará en una empresa cementera ubicada en el Puerto de San José, departamento de Escuintla; es necesario presentarlo antes del mes de marzo del 2014 en la Escuela de Posgrado de la Facultad de Ingeniería.

3. JUSTIFICACIÓN

Desde el 2005 la empresa cementera tiene la necesidad constante de investigar nuevos materiales para el proceso productivo, por lo que se ha interesado por la implementación de metodologías y herramientas operacionales que ayuden a hacer eficiente el proceso productivo. La búsqueda constante de herramientas de mejora continua para analizar y modernizar los procesos actuales, requiere de un sistema integral que permita a la empresa aumentar los niveles de calidad, reducir los costos, aumentar la productividad, reducir los tiempos de entrega y aumentar la flexibilidad de su capacidad productiva.

Este proyecto está basado en la línea de investigación de metodología de producción en la implementación de sistemas de producción considerando la herramienta de tecnología de producción optimizada, porque resolverá el problema de factibilidad en la utilización de una adición mineral para la reducción de costos en la producción de cemento gris.

Será un estudio prospectivo-longitudinal, porque los datos se tomarán en el tiempo actual desde que se coloque el aditivo mineral a la fórmula, no se tomarán datos de fechas anteriores, y en el futuro se obtendrán los resultados deseados. Será longitudinal porque al observar los resultados de las probetas (cubos) de concreto, que se elaborarán con las mezclas, se les realizarán los ensayos de resistencia a 3, 7, 28 días según lo estipula la Norma ASTM-C1157.

Será una investigación experimental-aplicada ya que se añadirá la adición mineral a la fórmula del cemento gris para obtener los resultados que se esperan tales como el aumento de resistencia y bajar 2 puntos de *clinker*, por lo que se aplicarán ensayos en el laboratorio de calidad de planta, según Norma ASTM-C1157 (norma para los cementos hidráulicos Portland).

Será un estudio orientado a la factibilidad de un proyecto, ya que se tomará como variable la reducción de costos al ser el cemento una producción a gran escala, la reducción de un quetzal traería a la empresa una reducción de costos considerable al final del mes.

Las ventajas al realizar una investigación de este tipo son las siguientes: se obtendrán resultados exactos, la formulación óptima no será difícil implementarla porque a los equipos solo necesitarán calibración, según el producto que se esté fabricando en ese momento, capacitar al operador de COP, al tener esto aplicado dará los resultados deseados.

4. OBJETIVOS

General

Determinar la factibilidad de utilizar una adición mineral en el proceso del cemento gris sin afectar su calidad.

Específicos

1. Establecer la fórmula óptima en la fabricación de cemento gris agregando la adición mineral al proceso.
2. Especificar los costos del cemento gris con y sin la adición mineral ensayada para el proceso según la fórmula óptima.
3. Describir el mejor equipo par la dosificación de la adición mineral al proceso productivo de cemento gris.

5. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

La necesidad que se pretende solucionar en la empresa cementera es la de optimizar los costos, por medio de implementar una nueva adición mineral al proceso del cemento gris, sin afectar la calidad del producto final.

En el 2013 no se contó con los datos necesarios para realizar este tipo de análisis, ni para conocer la factibilidad de utilizar un aditivo nuevo al proceso y no hay ningún procedimiento documentado que ofrezca los parámetros de formulación para garantizar la calidad en el producto final.

No se conoce el equipo a utilizar para realizar este tipo de aditivo mineral al proceso, es decir que actualmente la tarea se realiza de forma empírica, sin ninguna base técnica y científica.

Esta investigación servirá para sentar las bases teóricas y prácticas para generar competencia técnica dentro del laboratorio y del proceso productivo para originar resultados confiables y con validez técnica. Estos se realizarán con objetividad al utilizar un método de ensayo de resistencia para encontrar la formulación óptima en el proceso del cemento gris, así como investigar los parámetros del equipo que se necesita utilizar y que dosifique la adición mineral al proceso de forma confiable y exacta.

Los métodos utilizados son emitidos por el ente internacional de mayor jerarquía a nivel mundial en normalización, como lo es las Normas ASTM (American Society for Testing Materials).

6. ALCANCES

Este trabajo será prospectivo, porque los datos se tomarán del día presente hacia el futuro, no se tomarán datos históricos porque es la dosificación de una adición mineral nueva al proceso. Al recibir la adición mineral a la nave de materia prima se realizará la toma de muestras y pruebas respectivas.

Será longitudinal, porque se tomarán en cuenta todas las reacciones que resultarán del suministro de la adición mineral con cada materia prima y al final se analizarán en conjunto para ver los resultados en las diferentes resistencias que se obtengan.

Este trabajo será descriptivo, ya que se detallará paso a paso desde la toma de muestras hasta los resultados, los cuales se registrarán, analizarán e interpretarán, y esto concluirá cuál será la mejor mezcla para realizar el cemento gris.

La investigación va a ser experimental ya que se tomará en cuenta todo lo necesario para que el laboratorio realice los análisis indispensables para proponer si es factible o no esta adición mineral y que no afecte la calidad del producto (resistencia) y si lo afecta, en qué grado (pérdida o incremento), según el nivel de resistencia que se requiere según Norma ASTM C-1157.

Y por último, será una investigación aplicada empírica, ya que se tomarán las bases de otros procesos en los cuales ya utilizan adiciones para producir cemento gris y se enfocará al tipo de cemento que se produce en planta.

Todo esto para dejar estipulado la formulación óptima que se pueda utilizar en los diferentes tipos de cemento gris que se producen en planta (4 000 y 5 800 PSI), sin afectar su calidad.

7. MARCO TEÓRICO

La Constitución Política de la República de Guatemala en el artículo 119 dice : “El Estado debe fomentar con prioridad la construcción de viviendas populares, mediante sistemas de financiamiento adecuado, a efecto de que el mayor número de familias guatemaltecas las disfruten en propiedad.”

En Latinoamérica la problemática de la construcción es alta, ya que los niveles de pobreza y los precios de los materiales son elevados razones por las que construir en estos momentos es difícil, por lo cual las personas lo hacen de forma informal por sus propios medios.

Ante el problema del costo excesivo, tanto económico como medioambiental, del cemento Portland, se propone usarlo en combinación con unas adiciones activas que ayuden a reducir su costo sin afectar el resultado final. Las puzolanas son una de esas alternativas que ayudan a una disminución de la cantidad materiales caros que se utilizan en la producción de cemento. La selección de las puzolanas como adición se basa en que se trata de un componente utilizado desde la antigüedad, por lo que se tiene un punto de partida sólido, pero del que no se conoce aún todo su potencial, por lo que resulta susceptible de investigación para diferentes tipos de cementos.

La crisis económica, energética, medioambiental y la búsqueda de mayor eficiencia en los procesos de fabricación de cemento ha derivado en la necesidad de optimizar la molienda del *clinker* y reducir la demanda de energía eléctrica en el proceso, el empleo de adiciones como la puzolana en la molienda o aditivos de proceso, como también se les designa, permite dar una

solución conjunta a estos problemas, reduciendo el tiempo necesario para obtener una determinada finura, optimizando la distribución granulométrica del producto final, además de ofrecer sus propiedades químicas para una mejor consistencia..

El empleo de aditivos de molienda (adiciones minerales) está restringido a los productores de cemento, por lo que sus características, propiedades y requisitos no están difundidos entre los usuarios, sean consumidores finales, ingenieros, arquitectos, etc. Parece evidente que el derecho a la vivienda es reconocido mundialmente, pero lamentablemente el respeto a este derecho no está tan extendido y realmente no es un derecho cualquiera.

Todos y cada uno de los Derechos Humanos son fundamentales y debieran ser respetados universalmente, pero también es cierto que al ser un poco críticos debemos reconocer que existen una serie de derechos que prevalecen por encima del resto a la hora de evaluar las necesidades básicas del ser humano.

El cemento se ha convertido en un material prácticamente indispensable por sus múltiples cualidades, pero no se trata de un material económico ni ecológico, por lo tanto su producción y consumo en las condiciones actuales no resulta sostenible a nivel mundial, por su alto consumo energético (combustibles, energía eléctrica, etc.).

7.1. Cemento Portland

Para el 2013, fue uno de los materiales más utilizados en todo el mundo en el mercado de la construcción. Se produce en alrededor de 150 países, principalmente en Asia, Europa y Medio Oriente. Su uso universal, así como su

costo relativamente bajo (en comparación con otros materiales de construcción como el hierro), la posibilidad de producción industrial a gran escala, su gran versatilidad y los grandes resultados obtenidos en su utilización, han hecho que este material haya relegado al olvido o a usos menores a todos sus predecesores (cal, piedra caliza, etc.).

Cuando el cemento es mezclado con agua y arena forma mortero, y cuando es mezclado con arena y piedras pequeñas forma una piedra artificial llamada concreto. En sentido genérico, el cemento se puede definir como un material con propiedades adhesivas y cohesivas que le dan la capacidad de unir fragmentos sólidos, para formar un material resistente y durable que tiene según sus volúmenes una alta resistencia a cargas altas.

Esta definición incluye gran cantidad de materiales cementantes como las cales, los asfaltos, etc. No obstante, los cementos que más importan desde el punto de vista de la tecnología del concreto son los cementos calcáreos que tengan propiedades hidráulicas, es decir, que desarrollen sus propiedades (fraguado y adquisición de resistencia) cuando se encuentran en presencia de agua, como consecuencia de la reacción química entre los dos materiales.

El cemento posee diversas aplicaciones, como la obtención de hormigón por la unión de arena y grava con cemento (es el más usual), para pegar superficies de distintos materiales o para revestimientos de superficies a fin de protegerlas de la acción de sustancias químicas.

El cemento tiene diferentes composiciones para usos diversos. Puede recibir el nombre del componente principal, como el cemento calcáreo, que contiene óxido de silicio, o como el cemento epoxiaco, que contiene resinas

epoxídicas; o de su principal característica, como el cemento hidráulico o el cemento rápido.

Los cementos utilizados en la construcción se denominan en algunas ocasiones por su origen, como el cemento romano, o por su parecido con otros materiales, como el caso del cemento Portland, que tiene cierta semejanza con la piedra de Portland, utilizada en Gran Bretaña para la construcción. Los cementos que resisten altas temperaturas se llaman cementos refractantes.

El denominado cemento Portland, fue patentado en 1824 y desde finales del siglo XIX. El hormigón, producto basado en el cemento Portland, se ha convertido en uno de los materiales de construcción más apreciados. Los cementos Portland típicos consisten en mezclas de silicato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), aluminato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) y silicato dicálcico ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) en diversas proporciones, junto con pequeñas cantidades de compuestos de hierro y magnesio. Para retardar el proceso de endurecimiento se suele añadir yeso.

7.2. Los compuestos activos del cemento

Como todo elemento que al mezclarse con otro es inestable, el cemento Portland no es la excepción, en presencia de agua reorganiza su estructura. El endurecimiento inicial del cemento se produce por la hidratación del silicato tricálcico, el cual forma una sílice (dióxido de silicio) hidratada gelatinosa e hidróxido de calcio. Estas sustancias cristalizan, uniando las partículas de arena o piedras —siempre presentes en las mezclas de argamasa de cemento — para crear una masa dura.

El aluminato tricálcico actúa del mismo modo en la primera fase, pero no contribuye al endurecimiento final de la mezcla. La hidratación del silicato dicálcico actúa de modo semejante, pero mucho más lentamente, endureciendo poco a poco durante varios años. El proceso de hidratación y asentamiento de la mezcla de cemento se conoce como curado, y durante el mismo se desprende calor.

En la actualidad, toda empresa cementera tiene entre sus objetivos buscar cómo incrementar las adiciones, con el fin de reducir el consumo de combustible, disminuir los costos de producción y mejorar la calidad de su producto; lo anterior implica tener una muy buena caracterización físico-química y mineralógica de los materiales de adición mineral, además del *clinker*, culminando con un buen control estricto del proceso de producción para encontrar el punto óptimo en cada etapa de esta (fabricación actual del cemento Portland, 2013).

La crisis energética y la búsqueda de mayor eficiencia en los procesos de fabricación de cemento han derivado en la necesidad de optimizar la molienda de *clinker*. El empleo de aditivos de molienda o aditivos de procesos, como también se le designa, permite dar una solución a esta, reduciendo el tiempo necesario para determinar una finura deseada, la utilización de aditivos para optimizar el proceso de molienda estos quedan incorporados en el producto final y pueden influir sobre las características y propiedades del cemento, mortero y hormigones.

En 1987 nace el concepto de sustentabilidad y con él grandes cambios en la forma de operar los procesos industriales. Antes de esa fecha, la industria del cemento tenía amplios márgenes de acción que permitían un producto de calidad a partir de materiales relativamente consistentes y abundantes.

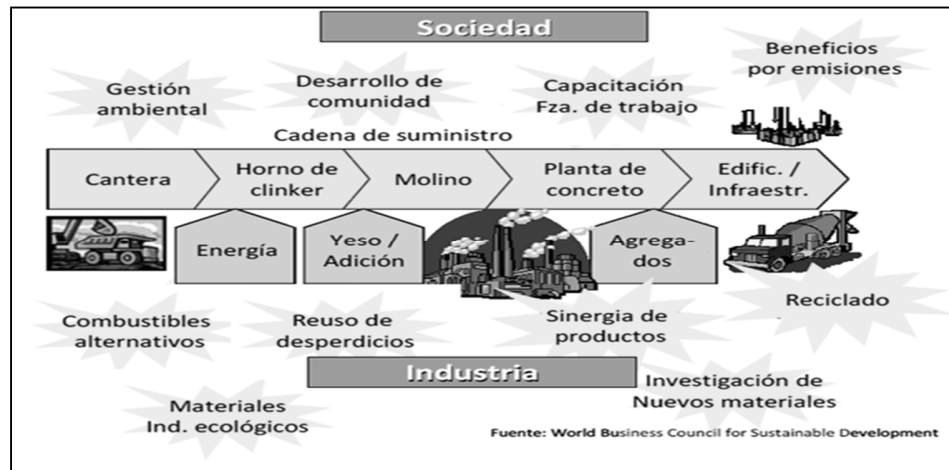
Después de esa fecha, el reto que la sustentabilidad ha impuesto a la industria del cemento no es menor: ahora se trata de fabricar productos de igual o mayor calidad que antes, pero con materiales subestándares o alternos, muchas veces subproductos de otras industrias y sin garantía de consistencia y/o abundancia.

Una de las formas en que la industria cementera evalúa su éxito para responder al reto de la sustentabilidad, es reduciendo el contenido de *clinker* en el cemento producido (factor de *clinker*), pero manteniendo altos estándares de calidad del producto final. Para ello la industria del cemento ha aprendido a producir *clínkeres* mucho más reactivos que en el pasado y diseñando tecnologías para tener procesos robustos y flexibles ante los cambios continuos de materias primas y combustibles que ha traído sus compromisos como industria ante el reto de la sustentabilidad.

7.3. Proceso actual del cemento

Como se puede apreciar en la figura 1, se observa el proceso de producción de cemento, desde las canteras donde se extraen las materias primas: el yeso, la puzolana, la piedra caliza e incluso los materiales para producir el *clinker* (materia prima principal), el cual pasa al horno para su cocimiento, se lleva a la molienda en donde se une con las demás adiciones minerales. Cuando sale del molino de bolas ya va como producto terminado, cemento Portland, el cual se vende a granel, en bolsas ensacadas o a las concreteiras directamente de forma a granel para la producción del hormigón.

Figura 1. **Proceso de producción del cemento Portland**



Fuente: Sika.

Actualmente las soluciones de la industria química han logrado reducir de un 5 a un 10 % adicional el factor de *clinker* en los cementos modernos, sin decremento de sus propiedades físicas. De allí la necesidad de reducir el factor *clinker* de la molienda, para obtener un producto a costo más bajo y sin perder sus características, el cual dará una mejor resistencia al producto.

La mayoría de los minerales industriales se emplean en su estado natural, adaptando sus características físicas (tamaño de grano, humedad, etc.) a las exigencias de la industria pero sin variar su composición química original. Por lo cual la necesidad de implementar una adición tipo mineral, el cual se encuentra entre la familia de los puzolánicos, ayudará a obtener un producto de alto rendimiento y llegar a la meta de bajar 2 a 3 puntos de factor *clinker*. Esta adición mineral, es una de las llamadas cargas las cuales son materiales de relleno que reemplazan materias primas más caras, esto ayudará con el costo, para no depender del material más caro.

La empresa cementera al investigar sobre el tema de nuevos materiales para optimizar el proceso, tiene claro que la adición mineral a utilizar es de la familia de las puzolanas, cuya diferencia con las normales es el bajo índice de sílice.

¿Qué ventajas da este tipo de material? Permitirá mejorar el rendimiento de los equipos del proceso productivo del cemento gris (molino de bolas, separador centrífugo, aeros, etc.), la adición mineral al presentar un porcentaje bajo de sílice, no es tan abrasivo, lo cual ayudará a los equipos para que no sufran un desgaste prematuro, como la puzolana normal que al tener un índice de sílice alto es muy abrasiva.

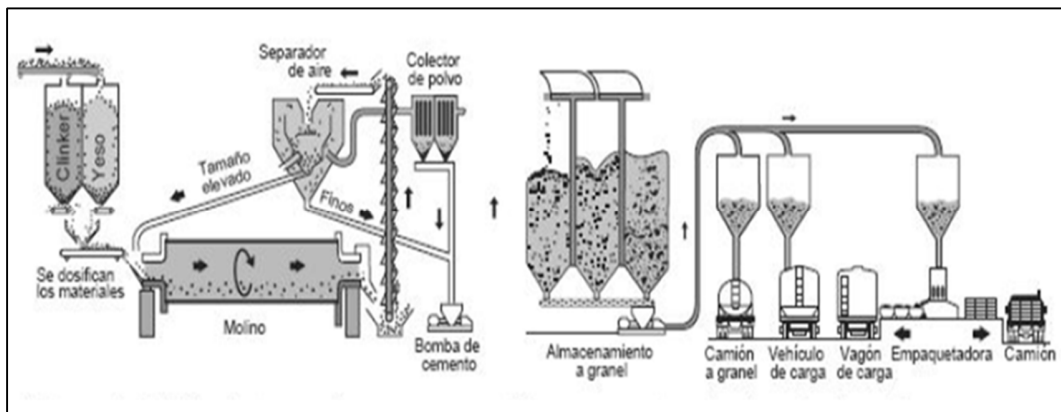
Para entender mejor el caso hay revisar el proceso de la fabricación de cemento Portland en Guatemala con la empresa cementera, la cual no entra en la categoría de planta cementera completa porque no tiene cantera, ni trituradoras, por no incluir la máquina principal, que es el horno.

Solamente tiene una molienda que consta de nave de materia prima, en la cual ya llega el *clinker* procesado, la puzolana, el yeso y la caliza, la que es transportada por medio de una banda hacia las tolvas dosificadoras. Ahí pesan el material que se necesita para dosificar al molino de bolas horizontal, el cual es el alma de esta planta, para transformar todos los materiales en cemento Portland, es llevado por medio de aeros a los silos, donde se almacena el producto a granel que se puede llevar a dos destinos, el principal es cargar pipas a granel y el siguiente llevarlo hacia la máquina ensacadora la cual llena los sacos de cemento, que se distribuye a los clientes.

En la figura 2 se observa el proceso llamado molienda de la empresa cementera, la cual está catalogada de este tipo, porque su proceso inicia desde

una nave de materia prima donde ya llega el *clinker* cocido, y solamente se unen con todas las adiciones (yeso, puzolana, piedra caliza y aditivos) en el molino de bolas, del cual sale el cemento Portland ya listo para su despacho a granel o en bolsas ensacadas.

Figura 2. **Proceso de molienda**



Fuente: Cemex, 2002.

7.4. **Materia prima del cemento**

Los minerales industriales son aquellos que, en función de sus características físicas principalmente, se utilizan en la fabricación de productos, ya sea directamente o con un tratamiento previo. Conviene aclarar además que no son minerales de los que se extraen metales como único fin, ni se aprovechan en función de su contenido energético, ni tienen normalmente valor estético u ornamental, ni son áridos que se utilicen en la construcción o en la obra pública.

Por ejemplo, se consideran como minerales industriales: las arenas síliceas destinadas a la fabricación de vidrio, las arcillas rojas empleadas en la

industria cerámica, el caolín utilizado como aditivo en la industria del papel, la caliza explotada para fabricación de cal y de cemento, los fosfatos de los fertilizantes, el talco, el yeso, productos refractarios como la magnesia, conservantes como la sal e incluso el diamante utilizado en herramientas de corte.

Resulta muy llamativo comprobar la variedad de productos de uso cotidiano que están fabricados con minerales industriales. En una casa, por ejemplo, los ladrillos, las tejas, el cemento, la carga de yeso de paredes y techos, los azulejos y pavimentos cerámicos, los sanitarios del cuarto de baño, en realidad todo lo que no es de metal, madera, plástico o roca ornamental está hecho de minerales industriales.

Entre los principales minerales industriales o materias primas que se necesitan para la fabricación del cemento, está el *clinker* que se forma tras calcinar caliza y arcilla a una temperatura de entre 1 350 y 1 450 °C. El *clinker* es el producto del horno que se muele para fabricar el cemento Portland. El promedio del diámetro de las partículas de un cemento típico es aproximadamente 15 micrómetros. Hay 4 compuestos principales que totalizan el 90 % o más de su peso.

Se compone aproximadamente de:

- 40-60 % silicato tricálcico
- 20-30 % silicato dicálcico
- 7-14 % aluminato tricálcico
- 5-12 % ferritoaluminato tetracálcico

Cada tipo de cemento contiene los mismos compuestos principales, pero en diferentes proporciones. El aluminato tricálcico reacciona inmediatamente con el agua por lo que al hacer cemento, este fragua al instante. Para evitarlo se añade yeso, que reacciona con el aluminato produciendo estringita o sal de Candlot, sustancia que en exceso es dañina para el cemento. Generalmente su tiempo de curado se establece en 28 días, aunque su resistencia sigue aumentando tras ese período. Como aglomerante el *clinker* Portland es un aglomerante hidráulico, por lo tanto:

- Necesita agua para fraguar
- El agua de amasado no se evapora sino que pasa a ser parte de él una vez endurecido
- Fragua aunque se encuentre inmerso en agua

El cemento Portland se obtiene tras la mezcla de *clinker*, yeso u otro retardante de fraguado, y aquellas adiciones y aditivos que se dosifican según el uso que se le dará según la aplicación. Además del *clinker* Portland, también se usa el *clinker* de aluminato cálcico, aunque mucho menos habitualmente debido a que conlleva muchos problemas tales como: gran calentamiento, aluminosis, reacción con el agua salada, etc.

Después de la materia prima principal (*clinker*) se tiene una base de adiciones como lo son la puzolana, hoy día, existen múltiples usos que se le pueden dar, si bien de entre todos ellos destaca la fabricación de cemento Portland puzolánico. El cemento Portland puede contener hasta un 35 % de puzolana, y hasta un 55 % si es cemento puzolánico.

Las ventajas que ofrece el cemento puzolánico sobre el resto se detallan a continuación según Mehta, (1989), en su libro *Pozzolanic and Cementitious By Products in concrete another look*.

- Mayor defensa frente a los sulfatos y cloruros.
- Mayor resistencia frente al agua de mar.
- Aumento de la impermeabilidad ante la reducción de grietas en el fraguado.
- Reducción del calor de hidratación.
- Incremento en la resistencia a la compresión.
- Incrementa la resistencia del acero a la corrosión.
- Aumenta la resistencia a la abrasión.
- Aumento en la durabilidad del cemento.
- Disminuye la necesidad de agua.

Una de las materias primas que más le ayuda al cemento para que su fraguado sea lento es el yeso que es una roca sedimentaria formada por sulfato cálcico hidratado y cristalizado. A continuación se presentan las características generales de este mineral.

- Fórmula química: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (sulfato de calcio deshidratado)
- Clase: sulfatos
- Subclase: sulfatos hidratados

Etimología: del nombre griego *gyps* que significa mineral calcinado. Lo de Selenita viene del griego en alusión a su brillo perlado (luz de luna), por lo que la llamaron la roca de la luna. Su principal utilización es en la producción de escayola que al ser amasado con agua se emplea como material plástico en escultura y para sostener huesos fracturados. Igualmente, se usa como material

de construcción en edificios temporales para enyesado de paredes, molduras y vaciados.

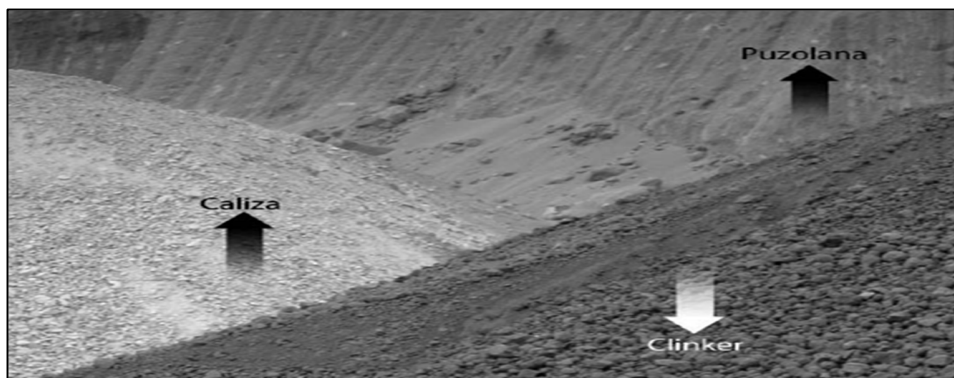
Junto con la arcilla se utiliza como fertilizante para neutralizar la acidez del suelo y sin fraguar, es un aditivo retardador en el cemento Portland.

Y por último la caliza que es una roca sedimentaria compuesta mayormente por carbonato de calcio (CaCO_3), generalmente calcita. También puede contener pequeñas cantidades de minerales como arcilla, hematita, siderita, cuarzo, etc., que modifican (a veces sensiblemente) el color y el grado de coherencia de la roca. El carácter prácticamente mono mineral de las calizas permite reconocerlas fácilmente gracias a dos características físicas y químicas fundamentales de la calcita: es menos dura que el cobre (su dureza en la escala de Mohs es de 3) y reacciona con efervescencia en presencia de ácidos tales como el ácido clorhídrico.

La roca caliza es un componente importante del cemento gris usado en las construcciones modernas y también puede ser usada como componente principal, junto con áridos, para fabricar el antiguo mortero de cal, pasta grasa para creación de estucos o lechadas para «enjalbegar» (pintar) superficies, así como otros muchos usos por ejemplo en industria farmacéutica o peletera. Se encuentra dentro de la clasificación de recursos naturales entre los recursos no renovables (minerales) y dentro de esta clasificación, en los no metálicos, como el salitre, el aljez y el azufre.

En la figura 3 se observa cómo se encuentran apiladas en una cantera las diferentes materias primas que se utilizan en el proceso de fabricación de cemento Portland.

Figura 3. Forma en que la materia prima se apila en una cantera

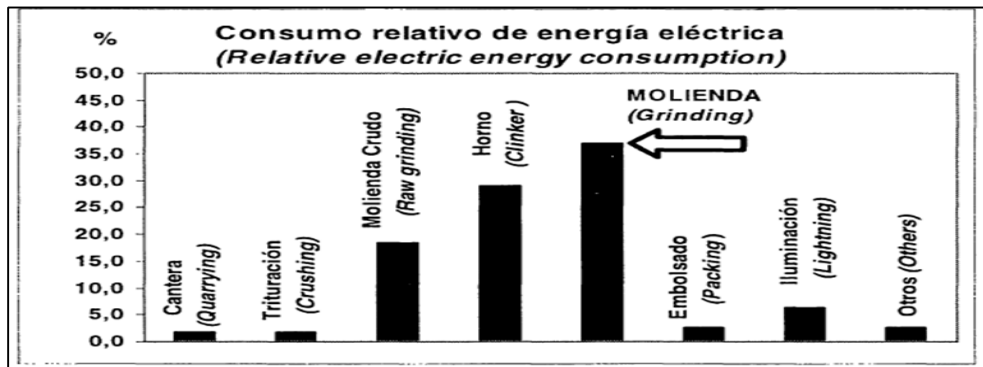


Fuente: Sika.

Con la necesidad de dosificar de forma eficiente un nuevo aditivo mineral el cual es una adición con bajo sílice con lo cual ayudará a que el producto se le pueda bajar de 2 a 3 puntos de *clinker*, que es el material más caro para la producción de cemento gris y el cual no afectará la resistencia. El empleo de este tipo de adición en las moliendas de cemento ayuda a dar una solución conjunta, reduciendo el tiempo necesario para obtener una determinada finura, optimizando la distribución granulométrica del producto final y reduciendo la probabilidad de formación de grumos a la hora de la realización de hormigón con el producto final.

Otra de las ventajas que da el utilizar aditivos y adiciones minerales en la molienda de cemento, es la mejora de la eficiencia del proceso en el molino, reduciendo los costos de la molienda y por ende la demanda energética, en la figura 4 se observan los consumos de energía en la molienda de un molino horizontal.

Figura 4. Consumo de energía de un molino horizontal



Fuente: Mater Constucc, Vol. 53

7.5. Costos

El control de costos es el alma de cualquier proyecto, conocer exactamente el flujo del proyecto (ingresos, salidas, movimientos), permite la planeación y averiguar las causas por las cuales tiene éxito o es un fracaso.

Usualmente el costo es un recurso que se sacrifica o al que se renuncia para alcanzar un objetivo específico. Para este trabajo es muy importante conocer los costos del proceso antes y después de utilizar la adición mineral en el proceso de producción del cemento gris. Por ahora, se considera a los costos medidos en la forma convencional contable, como cantidades monetarias (por ejemplo, dólares o quetzales) que se tienen que pagar para adquirir bienes o servicios.

Para Polimeni, Fabozzi & Adelberg, (1991), el costo se define como “el valor sacrificado para obtener bienes o servicios”. El sacrificio hecho se mide en dólares o quetzales según la unidad monetaria que se utilice en el proyecto,

mediante la reducción de activos (ingresos) o el aumento de pasivos (salidas) en el momento en que se obtienen los beneficios. En el momento de la adquisición, se incurre en el costo para obtener beneficios presentes o futuros.

Cuando se obtienen los beneficios, los costos se convierten en gastos. Un gasto se define como un costo que ha producido un beneficio y que ya está expirado. Los costos no expirados que puedan dar beneficios futuros se clasifican como activos.

Para guiarse en las decisiones, los administradores desean saber el costo de algo, al cual se le da el nombre de “objeto de costo” y para el cual se desea una medición separada de costos. Ejemplos de objetos de costos son los que incluyen un producto, un servicio, un proyecto, un consumidor, una categoría de marca, una actividad, un departamento y un programa.

“Se escogen los objetos de costos no solo por sí mismos, sino para ayudar en la toma de decisiones” (Horngren, Foster & Datar, 1996), como lo expresan, el objetivo de los costos es proporcionar las herramientas para tomar la decisión de si es factible o no un proyecto.

Un sistema de costeo típico da cuenta de los costos en dos etapas amplias.

- Acumula costos por medio de alguna clasificación “natural”, tales como materiales, mano de obra, combustibles, publicidad, o embarques, y después.
- Asigna estos costos a objetos de costos.

La acumulación de costos es la recopilación de datos de costos en alguna forma organizada por medio de un sistema de contabilidad. “La asignación de costos es un término general que abarca tanto el seguimiento de los costos acumulados a un objeto de costo, como la adjudicación de costos acumulados a un objeto de costos” (Horngren, Foster & Datar, 1996).

7.5.1. Costos de producción

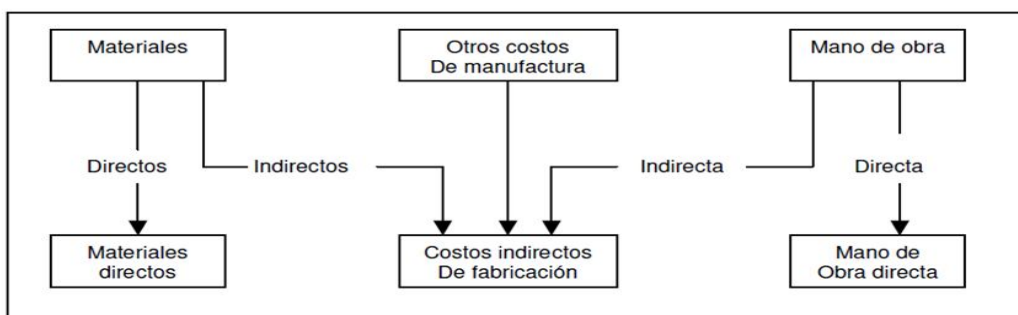
Según (Hargadon, Múnera.1994), “en una empresa industrial podemos distinguir tres funciones básicas: producción, ventas y administración. Para llevar a cabo cada una de estas tres funciones, la empresa tiene que efectuar ciertos desembolsos por pago de salarios, arrendamientos, servicios públicos, materiales, etc. Estas erogaciones reciben respectivamente el nombre de costos de producción, gastos de administración y gastos de ventas, según la función a que pertenezcan”.

Los costos de producción se transfieren (capitalizan) al inventario de productos fabricados. En otras palabras, el costo de los productos fabricados está dado por los costos de producción que fue necesario incurrir para su fabricación.

Por esta razón a los desembolsos relacionados con la producción es mejor llamarlos costos y no gastos, puesto que se incorporan en los bienes producidos y quedan capitalizados en los inventarios hasta que se vendan los productos. Los gastos de administración y ventas, por el contrario, no se capitalizan sino que, como su nombre lo indica, se gastan en el período en el cual se incurren y aparecen como tales en el estado de rentas y gastos.

Los elementos del costo de un producto o sus componentes integrales son los materiales directos, la mano de obra directa y los costos de fabricación, como se ilustra en la figura 5.

Figura 5. **Elementos del costo de un producto**



Fuente: Polimeni, Fabozzi & Adelberg, 1991.

Esta clasificación proporciona a la gerencia la información necesaria para la medición del ingreso, capacidad de producción y la fijación de precios del producto (toma de decisiones). A continuación se definen los elementos de un producto.

7.5.1.1. **Materiales**

Son los principales bienes que se usan en la producción y se transforman en artículos terminados con la adición de mano de obra directa y costos indirectos de fabricación. El costo de los materiales se puede dividir en materiales directos e indirectos, los primeros son los que se pueden identificar en la producción de un artículo determinado, que se pueden asociar fácilmente con el producto y los segundos son los comprendidos en la fabricación de un producto diferente de los materiales directos.

7.5.1.2. Mano de obra

“Es el esfuerzo físico o mental gastado en la fabricación de un producto. El costo de la mano de obra se puede dividir en mano de obra directa y mano de obra indirecta” (Polimeni, Fabozzi, & Adelberg, 1991). La mano de obra es la fuerza que más se debe cuidar en el sentido de que si los colaboradores se sienten bien en su puestos de trabajo rendirán mucho mejor, así como para verificar la calidad es muy importante esta parte del proceso, ya que no es lo mismo la producción de la mañana respecto con lo que se produce al final del día.

7.5.1.3. Costos indirectos de fabricación

Para la fabricación de los productos hay otra serie de costos tales como servicios públicos (agua, luz y teléfonos), arrendamientos de plantas y equipos, seguro de plantas, etc. Todos estos costos junto con los materiales indirectos y la mano de obra indirecta, conforman el grupo de los costos indirectos de fabricación, que constituye el tercer elemento integral del costo total del producto terminado.

7.6. Costos directos e indirectos

Los costos de un proceso productivo incluyen los costos directos e indirectos los cuales se describen a continuación.

- Costos directos: de un objeto de costos los cuales están relacionados con el producto terminado, y que puede hacerse su seguimiento de manera económicamente factible por ejemplo, la materia prima (yeso,

caliza, puzolana, *clinker*, adición mineral) o los insumos que directamente afectan al producto terminado(bolsas para empaque).

- Costos indirectos: de un objeto de costos están relacionados con el producto terminado, pero que no puede hacerse su seguimiento en forma económicamente factible. Los costos indirectos se calculan utilizando un método de adjudicación de costos.

“Económicamente factible significa efectivo en costos. La materialidad de la partida de costos afecta la efectividad del costo. Consideremos una compañía que vende por medio de catálogos y del correo. Tal vez fuera económicamente factible el seguimiento de los cargos de mensajería por entregar un paquete en forma directa a cada cliente. En contraste, el costo del papel en que está impresa la factura incluida en el paquete enviado al cliente es posible se clasifique como un costo indirecto, porque no es económicamente factible el seguimiento del costo de este papel a cada cliente” (Horngren, Foster & Datar, 1996).

7.6.1. Factores y administración de costos

La reducción continua de costos por parte de los competidores hace que las organizaciones se empeñen en una búsqueda interminable para reducir sus costos y la empresa cementera no está ajena a este tipo de estrategia. Los esfuerzos para reducir costos son frecuencia se enfocan en dos áreas claves:

- Hacer solo actividades que agregan valor, esto es, aquellas actividades que los clientes perciben añaden utilidad (mayor provecho) a los productos o servicios que compran es decir ser más productivos.

- Administrar con efectividad el uso de los factores de costos en esas actividades que agregan valor utilizando los estudios de contabilidad, como el balance general, estado de pérdidas y ganancias, etc.

Un factor de costos es cualquier variable que afecta los costos de cualquier producto terminado o servicio que se preste. Es decir, un cambio ocasionará un cambio en el costo total de un objeto de costos relacionado y por ende al precio del cliente. Algunos factores de costos son medidas financieras que se encuentran en los sistemas contables (tales como dólares o quetzales de la mano de obra directa en la fabricación y de ventas), mientras que otros son variables no financieras (como el número de piezas por producto y número de unidades producidas).

La administración de costos es la serie de acciones que los administradores toman para satisfacer a los clientes, al mismo tiempo que reducen y principalmente controlar constantemente los costos. “Es conveniente formular una advertencia sobre el papel que tienen los factores de costos en la administración de costos. Los cambios en un factor de costos específico no conducen automáticamente a cambios en los costos globales” (Horngren, Foster & Datar, 1996).

7.6.2. Patrones de comportamiento de costos variables y fijos

Los sistemas de contabilidad administrativa registran el costo de los recursos adquiridos y hacen el seguimiento de su uso subsecuente, productivo y administrativos. Se tienen dos tipos básicos de patrones de conducta de costos que se encuentran en muchos sistemas: costos variables y fijos.

Un costo variable es el que cambia el total en proporción a los cambios de un factor de costos por ejemplo las materias primas, estas varían según su consumo por lo cual es directamente proporcional a la producción que se tenga en un lapso de tiempo. Un costo fijo es un costo que no cambia a pesar de los cambios de un factor de costos por ejemplo los alquileres del montacargas que se va a utilizar siempre. Estos costos de producción son aquellos que no guardan una relación directa con las fluctuaciones de la producción a corto plazo. Si la producción sube o baja, los costos fijos permanecen indiferentes.

Los costos variables de producción, por el contrario, son aquellos que sí guardan una relación de casualidad con respecto a las fluctuaciones en el nivel de producción.

7.6.3. Clasificaciones de los costos

Para Horngren, Foster & Datar (1996), “las clasificaciones de costos pueden hacerse basadas en:

- Función del negocio: investigación y desarrollo, diseño de productos, servicios y procesos, producción, mercadotecnia, distribución, servicio al cliente, estrategia y administración.
- Asignación a un objeto de costos: costos directos e indirectos.
- Patrón de comportamiento en relación con los cambios de un factor de costos: costos variables, costos fijos.
- Agregado o promedio: costos totales, costos unitarios.
- Activos o gastos: costos inventariables, costos capitalizables no inventariables, costos del periodo.”

Para Polimeni, Fabozzi & Adelberg, (1991), con el objeto de proveer datos útiles y relevantes a la gerencia, los costos se pueden clasificar de la siguiente manera:

- “Elementos de un producto: materiales directos, mano de obra directa, costos indirectos de fabricación.
- Relación con la producción: costos primos, costo de conversión.
- Relación con el volumen: costos variables, costos fijos.
- Capacidad para asociar los costos: costos directos, costos indirectos.
- Departamento donde se incurrieron: producción, de servicios.
- Áreas funcionales: costo de manufactura, costos de mercadeo, costos administrativos, costos financieros.
- Período donde se van a cargar a los ingresos.
- Relación con la planeación, el control y la toma de decisiones.”

7.7. Toma de decisión para la compra de equipo

La toma de decisión para la compra de una máquina se divide en: estudio previo, estudio técnico-económico y la decisión final. Se detallan a continuación.

- Estudio previo: es importante antes de acometer cualquier estudio medianamente serio de un equipo conocer con el mayor detalle posible las características, el funcionamiento, las distintas funciones, de la máquina o proceso a automatizar; esto se obtiene de las especificaciones funcionales, siendo esta la base mínima a partir de la cual podremos iniciar el siguiente paso, es decir, estudiar cuáles son los elementos idóneos para la construcción del equipo.

- Estudio técnico-económico: es la parte técnica de especificaciones del equipo: relación de materiales, aparatos, su adaptación al sistema y al entorno en el que se haya inscrito. También se valora la parte operativa del comportamiento del automatismo en todos sus aspectos, como mantenimiento, fiabilidad entre otros. Es obvio que la valoración económica, que será función directa de las prestaciones del mismo, ha de quedar incluida en esta parte del estudio.
- Decisión final: en el apartado anterior se han debido estudiar las dos posibilidades u opciones tecnológicas generales posibles: lógica cableada y lógica programada. Con esta información y previa elaboración de los parámetros que se consideren necesarios tener en cuenta, se procede al análisis del problema.

“Los parámetros que se deben valorar para una decisión correcta pueden ser muchos y variados, algunos de los cuales serán específicos en función del problema concreto que se va a resolver, pero otros serán comunes, tales como los siguientes:

- Ventajas e inconvenientes que se le asignan a cada opción en relación a su fiabilidad, vida media y mantenimiento.
- Posibilidades de ampliación y de aprovechamiento de lo existente en cada caso.
- Posibilidades económicas y rentabilidad de la inversión realizada en cada opción.

- Ahorro desde el punto de vista de necesidades para su manejo y mantenimiento. Una vez realizado este análisis sólo queda adoptar la solución final elegida” (Porras – Montanero, 1991).

7.8. Estrategia de procesos y selección de maquinaria y equipo

Una estrategia de proceso (o de transformación) es el enfoque que adopta una organización para transformar recursos en bienes y servicios. El objetivo de una estrategia de proceso es encontrar una forma de producir bienes que satisfagan las necesidades de los clientes y las especificaciones de los productos aun costo concreto y bajo determinadas restricciones de gestión (productividad, eficiencia, eficacia, etc.).

El proceso seleccionado tendrá efectos a largo plazo en las actividades, eficiencia y producción de la organización, así como en la flexibilidad, costo y calidad de los bienes producidos. “El resultado de una selección eficaz de proceso previa a la producción es mucho más fructífera que el esfuerzo mismo empleado más tarde para mejorar un proceso equivocado” (South Link, 2002).

7.8.1. Estrategias de procesos

Para el proceso de elaboración de los productos se toman en cuenta el enfoque de proceso, de producto y el repetitivo, los cuales se describen a continuación.

7.8.1.1. Enfoque de proceso

Se trata de productos de bajo volumen y alta variedad, en lugares denominados talleres. Las instalaciones se organizan para realizar un proceso y tienen un enfoque de proceso en términos de equipos, *layout* y supervisión. Proporcionan un alto grado de flexibilidad de producto, ya que están diseñadas para procesar una amplia variedad de requerimientos y manejar frecuentes cambios. También son conocidos como procesos intermitentes.

7.8.1.2. Enfoque de producto

La producción del alto volumen y baja variedad se denomina enfocada a producto. El equipo, *layout* y la supervisión están organizados para hacer un producto. Debido a que las instalaciones enfocadas a producto tienen tiradas de producción muy largas, también se denominan procesos continuos. Una organización con un proceso continuo tiene capacidad inherente para establecer estándares y mantener una calidad dada, a diferencia de una empresa que cada día produce un producto diferente.

7.8.1.3. Enfoque repetitivo

El proceso repetitivo utiliza módulos los cuales son partes o componentes preparados previamente, a menudo en procesos continuos. Un ejemplo de proceso repetitivo es la clásica línea de montaje. La estrategia repetitiva tiene menos flexibilidad que una instalación orientada a proceso, pero más flexibilidad que una instalación enfocada a producto.

Este tipo de producción permite más personalización que un proceso continuo, de este modo los módulos se ensamblan para conseguir un producto

casi bajo pedido. De esta forma, la empresa obtiene a la vez las ventajas del bajo costo unitario del modelo continuo (donde muchos de los módulos están preparados) y la ventaja de la personalización del modelo de bajo volumen y alta variedad. En la tabla I se muestra la comparación de los tres tipos de proceso y los criterios para la selección de maquinaria y equipo (South Link, 2002).

Las decisiones sobre un determinado proceso requieren elegir maquinaria y equipo adecuados. Son complejas, ya que, prácticamente todas las funciones de operaciones son posibles métodos de producción alternativos. La elección del mejor equipo significa entender la industria concreta, los procesos establecidos y la tecnología. Esta elección requiere considerar los costos, calidad, capacidad y flexibilidad. Para tomar esta decisión, el personal de operaciones elabora documentación que indica la capacidad, el tamaño y las tolerancias de cada opción, y sus necesidades de mantenimiento.

Tabla I. Tipos de proceso

Proceso de bajo volumen y alta variedad (Enfoque de Proceso)	Proceso modular (Enfoque Repetitivo)	Proceso de alto volumen y baja variedad (Enfoque a Producto)
Se producen pequeñas cantidades y gran variedad de productos	Se producen largas tandas de producción, normalmente de un producto estandarizado con opciones, a partir de módulos.	Se produce una gran cantidad y pequeña variedad de productos.
El equipo utilizado es de propósito general.	Equipo especial ayuda en la utilización de una línea de montaje.	El equipo utilizado es especializado.
Los operarios son altamente cualificados (amplia formación)	Los empleados están relativamente entrenados.	Los operarios están muy poco formados.
Hay muchas instrucciones de trabajo porque cada trabajo es diferente.	Las operaciones repetitivas reducen el entrenamiento y los cambios en las instrucciones de trabajo.	Las órdenes de trabajo y las instrucciones de trabajo son pocas, debido a que están estandarizadas.
Los inventarios de materias primas son relativamente altos para el valor del producto.	Se utilizan técnicas just in time de gestión de aprovisionamiento.	Los inventarios de materias primas son relativamente bajos para el valor del producto.
El stock de trabajo en curso es alto en comparación con el output.	Se utilizan técnicas just in time de gestión de inventarios.	El inventario de trabajo en curso es bajo comparado con el output.
Las unidades se mueven lentamente a través de la planta.	El movimiento se mide en horas y días.	Es típico un movimiento rápido de las unidades a través de la instalación
Los materiales se mueven a través de un pequeño equipo flexible.	Los materiales se mueven con transportadores, máquinas de transferencia, etc.	Los materiales se mueven por tuberías conectadas, guías de materiales, etc.
Son típicos los pasillos anchos y los almacenes amplios.	Pasillos de anchura media o estrecha, poco espacio de almacenaje	La instalación se construye alrededor de los equipos, máquinas y flujo de productos.
Los artículos finales normalmente se hacen contra pedido y no se almacenan.	Los artículos finales se producen a partir de previsiones frecuentes	Los artículos acabados normalmente se realizan a partir de una previsión y se almacenan.
Planificar los pedidos es complejo y depende de un equilibrio entre disponibilidad de inventario, capacidad y servicio al cliente.	La planificación está basada en construir distintos modelos a partir de diferentes módulos para los que se hacen previsiones	La planificación es relativamente simple y busca establecer una tasa de producción suficiente para satisfacer las previsiones de ventas
Los costos fijos tienden a ser altos y los variables altos.	Los costos fijos dependen de la flexibilidad de la instalación.	Los costos fijos tienden a ser altos y los variables bajos.
El costo se estima antes de hacer el trabajo, pero sólo se conoce después del trabajo.	Los costos normalmente son conocidos, debido a numerosas experiencias previas.	Dado que los costos fijos son altos, los costos dependen mucho de la utilización de la capacidad.

Fuente: Unilever, 2000.

La selección de la maquinaria y equipo de un determinado tipo de proceso puede también proporcionar una ventaja competitiva. Muchas empresas, por ejemplo, desarrollan una máquina singular o una técnica única que proporciona una ventaja competitiva en un proceso de producción establecido. Esta ventaja puede venir de una flexibilidad añadida para satisfacer las necesidades de los clientes, de un bajo costo, o de una alta calidad. La innovación y modificación del equipo puede también permitir conseguir un proceso de producción más estable que requiera menos ajuste, mantenimiento y formación de operarios. Se puede observar en la tabla II.

Tabla II. **Clasificación de los métodos de producción**

Método de producción	Costos de producción	Calidad	Mantenimiento	Formación de Operarios
Bajo volumen, Alta variedad	Fijos altos, variables altos	Alta	Bajo	Altamente cualificados
Modular	Costos fijos dependen de la flexibilidad de la operación	Alta	Calificado	Relativamente entrenados
Alto volumen, Baja variedad	Costos fijos altos, variables bajos	Muy alta	Muy calificado	Muy poca formación

Fuente: Unilever, 2000.

7.9. Flujo de caja proyectado

La proyección del flujo de caja constituye uno de los elementos más importantes del estudio de un proyecto, ya que la evaluación del mismo se efectuará sobre los resultados que en ella se determinan. Si bien comúnmente se habla de “el flujo de caja”, es posible distinguir tres tipos distintos en función

del objeto de la evaluación. De esta manera, habrá un flujo de caja para medir la rentabilidad de toda la inversión, independientemente de sus fuentes de financiamiento, otro para medir solo la rentabilidad de los recursos aportados por el inversionista y otro para medir la capacidad de pago, es decir, si independientemente de la rentabilidad que pudiera tener el proyecto, puede cumplir con las obligaciones impuestas por las condiciones del endeudamiento.

7.9.1. Elementos del flujo de caja

Para Sapag (1995), el flujo de caja de cualquier proyecto se compone de cuatro elementos básicos:

- Los egresos iniciales de fondos, que corresponden al total de la inversión inicial requerida para la puesta en marcha del proyecto.
- Los ingresos y egresos de operación, constituyen todos los flujos de entradas y salidas reales de caja.
- El momento en que ocurren estos ingresos y egresos, el flujo de caja se expresa en momentos. El momento cero reflejará todos los egresos previos a la puesta en marcha del proyecto.
- El valor de desecho o salvamento del proyecto.

El horizonte de evaluación depende de las características de cada proyecto. Si el proyecto tiene una vida útil esperada posible de prever y si no es de larga duración, lo más conveniente es construir el flujo en ese número de años. Los costos que componen el flujo de caja se derivan de los estudios de mercado, técnico y organizacional analizados con anterioridad (Sapag, 1995).

Los egresos que no han sido determinados por otros estudios y que deben considerarse en la composición del flujo de caja, sea en forma directa o indirecta, son los impuestos. El cálculo de los impuestos, requerirá la cuantificación de la depreciación, la cual, sin ser un egreso efectivo de fondos, condiciona el monto de los tributos por pagar.

La depreciación es un elemento del costo que influye indirectamente sobre el gasto en imprevistos que representa el desgaste de la inversión en obra física y equipamiento que se produce por su uso. Puesto que el desembolso se origina al adquirirse el activo, los gastos de depreciación no implican un gasto en efectivo, sino uno contable para compensar, mediante una reducción en el pago de impuestos, la pérdida de valor de los activos por su uso.

El flujo de caja es un instrumento metodológico valioso para la organización de la información cuantitativa y específicamente monetaria del proyecto (ingresos, salidas). Construido el proyecto en sus aspectos cualitativos mediante el marco lógico, es a través del flujo de caja que se puede proceder a la evaluación de su viabilidad. En los proyectos de capacitación laboral y promoción del empleo siempre existirán, sin embargo, determinados costos y tal vez muchos beneficios cuya valorización es difícil y en algunos casos imposibles. En tales situaciones optará por realizar un análisis costo-efectividad del proyecto.

7.9.2. Estructura del flujo de caja

La construcción de los flujos de caja puede basarse en una estructura general que se aplica a cualquier finalidad del estudio de proyectos. Para un proyecto que busca medir la rentabilidad de la inversión el ordenamiento es el

que se muestra el cual es un modelo general propuesto por Sapag, (1995). A continuación se puede observar en la figura 6.

Figura 6. **Flujo de caja proyectado**

+ Ingresos afectos a impuestos
- Egresos afectos a impuestos
-Gastos no desembolsables
<hr/>
= Utilidad antes de impuestos
- Impuestos
<hr/>
= Utilidad después de impuestos
+ Ajustes por gastos no desembolsables
- Egresos no afectados a impuestos
+ Beneficios no afectados a impuestos
<hr/>
= Flujo de caja

Fuente: Sapag, 1995.

Ingresos y egresos afectados por impuestos son todos aquellos que aumentan o disminuyen la riqueza de la empresa. Gastos no desembolsables son los gastos que para fines de tributación son deducibles pero que no ocasionan salidas de caja, como la depreciación, la amortización de los activos intangibles o el valor libro de un activo que se venda. Al no ser salidas de caja se resta primero para aprovechar su descuento tributario y se suman en el ítem ajuste por gastos no desembolsables. De esta forma se incluye solo su efecto tributario. Egresos no afectos a impuestos son las inversiones, ya que no aumentan ni disminuyen la riqueza contable de la empresa por el solo hecho de adquirirlos.

Según en un proyecto se producen tres tipos de movimientos de efectivo (que son los reflejados en el flujo de caja):

- Los movimientos de dinero relacionados a la inversión inicial; es decir, los gastos necesarios para la puesta en marcha del proyecto.
- Los movimientos de dinero relacionados a las operaciones normales del proyecto; es decir, los ingresos por ventas de bienes o servicios, y los gastos de producción, administración y ventas.
- Los movimientos de dinero relacionados al financiamiento de la inversión inicial; vale decir los préstamos obtenidos y su devolución.

Esta es la estructura básica del flujo de caja. Existen otras partidas que complementan el análisis, tal como el capital de trabajo estructural (que se asume como parte de la inversión inicial) y el escudo tributario (que se asume como una fuente informal de financiamiento).

7.9.2.1. Flujo de caja de proyectos de empresas en funcionamiento

Para Sapag (1995), “el análisis de decisiones de reemplazo caracteriza al estudio de proyectos de empresas existentes. Muchos elementos del flujo de ingresos y egresos serán comunes para las dos situaciones sin proyecto y con proyecto de reemplazo.”

Si bien no es posible generalizar al respecto, se puede intentar señalar aquellos factores que comúnmente son relevantes para la decisión por su carácter diferencial entre las alternativas en análisis.

Así por ejemplo, deberá incluirse el monto de la inversión del equipo de reemplazo, el probable ingreso que generaría la venta del equipo antiguo y el efecto tributario de la utilidad o pérdida contable que pudiera devengar, los ahorros de costos o mayores ingresos, el mayor valor residual que pueda determinar la compra del equipo nuevo y los efectos tributarios que se podrían producir por las mayores utilidades o pérdidas contables, tanto por los cambios en los ingresos o egresos como por los cambios en la depreciación y en la cuantía de los gastos financieros ocasionados por el reemplazo.

“El análisis de los antecedentes para tomar una decisión podrá efectuarse por el siguiente procedimiento. Consiste en proyectar por separado los flujos de ingresos y egresos relevantes de la situación actual y los de la situación nueva” (Sapag, 1995).

7.10. Métodos de evaluación

Uno de los problemas fundamentales en torno a la evaluación de inversiones es determinar los rendimientos de los proyectos de inversión. Con una medida de rendimiento se puede dilucidar cuales proyectos conviene aceptar y cuales rechazar.

Para Ketelhöhn, Marín y Montiel (2004), los métodos para la evaluación de inversión pueden clasificarse en dos grupos fundamentales:

- “Los métodos denominados aproximados, en donde se tienen el período o plazo de recuperación, y la rentabilidad contable o tasa de rendimiento contable.

- Los métodos que utilizan el valor cronológico de los flujos de efectivo, es decir, los que conceden al dinero importancia en función del tiempo. Estos métodos muchos más refinados desde el punto de vista técnico, son: la tasa interna de rendimiento (TIR), el valor presente neto (VPN) y el valor presente neto ajustado (VPN ajustado).”

7.10.1. Tasa interna de rendimiento (TIR)

La TIR de un proyecto de inversión es la tasa de descuento que hace que el valor actual de los flujos de beneficio (positivos) sea igual al valor actual de los flujos de inversión (negativos). En una forma alterna se puede decir que la TIR es la tasa que descuenta todos los flujos asociados con un proyecto a un valor de exactamente cero (Ketelhöhn, Marín y Montiel, 2004).

Se define como la tasa de descuento que iguala el valor presente de los flujos de caja a cero. Es decir, la tasa de descuento que hace que el VPN sea igual a cero. En otras palabras, la TIR es la tasa de descuento que hace que el VP de los flujos de caja sean iguales a la inversión inicial. Si la tasa interna de retorno del proyecto es mayor o igual a la tasa mínima de rendimiento requerida el proyecto se acepta, de lo contrario se rechaza.

7.10.2. Valor presente neto

El valor presente neto (VPN) es uno de los métodos básicos que toma en cuenta la importancia de los flujos de efectivo en función del tiempo. Consiste en encontrar la diferencia entre el valor actualizado de los flujos de beneficio y el valor, también actualizado, de las inversiones y otros egresos de efectivo.

La tasa que se utiliza para descontar los flujos incluye un premio por el riesgo asumido por el proyecto, por debajo del cual la inversión no debe efectuarse. No cabe duda de que si el valor presente neto de un proyecto es positivo, la inversión deberá realizarse y si es negativo deberá rechazarse. Las inversiones con VPN positivos incrementan el valor de la empresa, puesto que tienen un rendimiento mayor que el mínimo aceptable (Ketelhöhn, Marín y Montiel, 2004).

Según el valor presente neto de un proyecto es exactamente igual al incremento del patrimonio de los accionistas. Para entender el por qué, se supone que un proyecto tiene un valor presente neto de cero, en este caso el proyecto, reditúa un flujo suficiente para cumplir con lo siguiente:

- Para liquidar todos los pagos de intereses a aquellos acreedores que hayan prestado fondos para financiar el proyecto.
- Para liquidar todos los rendimientos esperados, dividendos y ganancias de capital de aquellos accionistas que hayan aportado fondos de capital para el proyecto, para liquidar la inversión inicial del proyecto.

Por lo tanto, un proyecto con VPN igual a cero es el que obtiene un rendimiento justo para compensar tanto a los acreedores como a los accionistas, y donde cada uno de ellos es compensado de acuerdo con los rendimientos que esperan a cambio del riesgo que corren. Un proyecto con un VPN positivo, retorna más que la tasa requerida de rendimiento y los accionistas reciben todos los excesos de flujo de efectivo, puesto que los tenedores de deuda tienen un derecho de naturaleza fija sobre la empresa. Es por esto, que el patrimonio de los accionistas aumenta en valor igual al VPN del proyecto.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

OBJETIVOS

MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

- 1.1. Finanzas industriales corporativas: los estados financieros y su efecto en la toma de decisiones
- 1.2. Logística: compras y toma de decisiones
- 1.3. Valoración económica de procesos industriales: costos y gastos de fabricación

2. METODOLOGÍA

- 2.1. Fase 1: fórmula óptima
 - 2.1.1. Recolección de muestras
 - 2.1.2. Formulación de mezclas con adición mineral
 - 2.1.3. Ensayo por compresión
- 2.2. Fase 2: estudios de costos
- 2.3. Fase 3: descripción del equipo para dosificación
- 2.4. Fase 4: estudio de factibilidad

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Costos

3.2. Equipo para dosificación de adición mineral

3.3. Factibilidad del proyecto

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

9. METOLOGÍA Y TÉCNICAS

9.1. Variables e indicadores

Para el logro de los objetivos establecidos, las variables que sustentan la investigación se detallan a continuación en la tabla III.

Tabla III. Variables e indicadores

Variables	Indicadores	Observaciones
Análisis para formulación con aditivo mineral	Norma ASTM-C1157	Se busca la reducción del consumo de materia prima cara, sin afectar resistencia del producto
Análisis de costo de producción	Costo de fórmula, costo de fabricación, costo de mano de obra, Costo total	Costeo de proceso con y sin la adición mineral
Rendimiento financiero	VPN, TIR.	Rentabilidad del proyecto

Fuente: elaboración propia.

9.2. Tipo de estudio y diseño de investigación

Este trabajo será un estudio prospectivo-longitudinal, porque los datos se tomarán en el tiempo actual desde que se coloque la adición mineral puzolánica a la fórmula, no se tomarán datos de fechas anteriores y en futuro se obtendrán los resultados deseados. Será longitudinal, porque al observar los resultados

de las probetas (cubos) de concreto que se utilizaran con las mezclas, se les realizarán los ensayos de resistencia a 3, 7, 28 días según lo estipula la Norma ASTM-C1157.

Será una investigación experimental-aplicada, ya que se agregará la adición mineral para obtener los resultados esperados (aumento de resistencia, bajar 2 puntos de *clinker*), la cual será aplicada por medio de ensayos en el laboratorio de calidad de planta, según la Norma ASTM-C1157 (norma para los cementos hidráulicos Portland).

Con respecto a la normativa, a pesar de tener en común la mayor parte de su contenido se aprecian algunos matices que hacen que el proceso sea ligeramente distinto. Siendo estrictos, estos matices, podrían hacer que la comparación entre los resultados obtenidos en uno y otro lugar no resultará fiable al 100 %. Mientras se trabaja en la búsqueda de las mejores resistencias, optimizando el proceso y asumiendo por ello un descenso en las propiedades físicas de las muestras. En la figura 7 se observa el flujo del proceso de esta investigación, fase por fase.

9.3. Técnicas de investigación

Las técnicas de investigación muestran el flujo del proceso de investigación, la dirección que tomarán todos los pasos que se necesitan para llevar la administración de las fases y como se desarrollará el proceso de investigación.

Figura 7. Flujo propuesto del proceso



Fuente: elaboración propia.

9.4. Fase 1: fórmula óptima

En esta fase se investigará la formulación óptima que necesita el proceso productivo para obtener un producto de alta calidad, para ello se tomarán las muestras de materias primas con pruebas con mezclas, dosificando diferentes porcentajes de la adición mineral.

9.4.1. Análisis y recolección de datos

Para la recolección de datos, se tomarán muestras de materias primas (*clinker*, yeso, puzolana, caliza) en bolsas de 25 libras, estas se colocarán en una trituradora, la cual apelmazará los terrones grandes que llevan las materias primas, luego se ingresarán a un molino de bolas (como se muestra en la figura 8), que se utiliza en laboratorio para darles la granulometría que se necesita, para este tipo de ensayo. Las muestras de materia prima que se tomarán y se introducirán dentro del molino de bolas aceradas una por una, en medidas de 25 libras cada uno por un lapso de 15 minutos.

Figura 8. Molino de bolas de acero



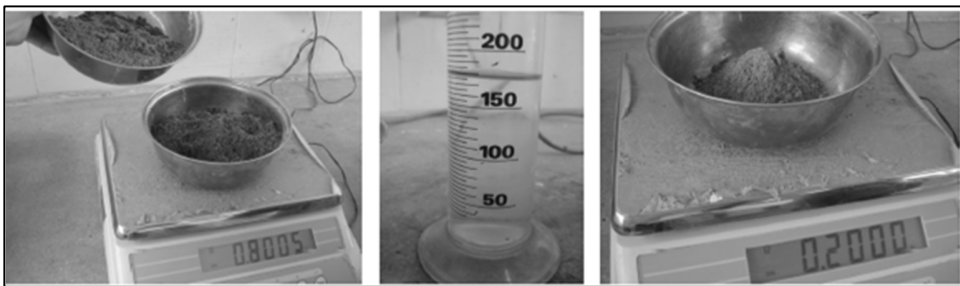
Fuente: planta de producción de la cementera.

9.4.2. Formulación de mezclas con adición mineral

Con los componentes de un grano uniforme se realizarán pruebas a las mezclas, la base para esta será la fórmula actual *clinker* 85 %, puzolana 5 %, caliza y yeso 5 % respectivamente, a estas se les adicionará un porcentaje de la adición mineral (rango 1-3 %). Se realizarán las mediciones por medio de balanzas electrónicas como se observa en la figura 9, en las balanzas se colocarán porcentajes de cada materia prima incluyendo la adición mineral,

cuando se obtengan las medidas exactas, se utilizará una mezcladora como se ve en la figura 10, en la que se colocarán cada materia prima, incluyendo la adición mineral, se mezclarán hasta que se obtenga una consistencia uniforme, se le adicionarán ciertos porcentajes de agua para su fraguado.

Figura 9. **Forma en que se realizan las mediciones de la materia prima**



Fuente: laboratorio de control de calidad de la planta.

Figura 10. **Mezcladora**



Fuente: laboratorio de control de calidad de la planta.

9.4.3. Ensayo de compresión

Al tener las mezclas se fabricarán los cubos (probetas), agregándoles arena sílice (Ottawa) en moldes prismáticos, según la Norma ASTM-C1157 y deben de realizarse la prueba a compresión para observar la resistencia del cemento a 3, 7 y 21 días.

La preparación de la mezcla se realizará como se ha explicado anteriormente, y su vaciado en el molde será en dos capas de la misma altura aproximadamente, colocando el molde en la mesa de sacudidas y aplicando 25 golpes de pistón por capa. Una vez compactado se enrasará con la ayuda de una regla intentado dejar la cara superior lo más lisa posible, y se introducirá el molde en la cámara húmeda a 20 °C y 95 % de humedad durante 24 horas.

Una vez en la cámara se cubrirá el molde con una lámina de vidrio y después de transcurridas las 24 horas se desmoldarán las probetas y se introducirán en un recipiente completamente cubiertas de agua hasta el momento de su ensayo como se observa en la figura 11.

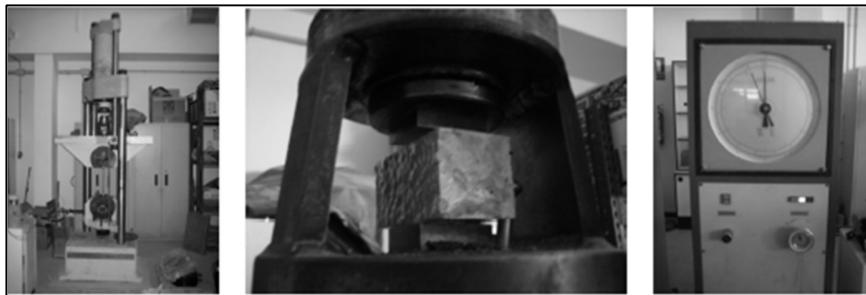
Figura 11. **Compactado y almacenamiento de probetas**



Fuente: laboratorio de control de calidad de la planta.

Para el desarrollo del ensayo simplemente se colocará la probeta lo más centrada posible entre los dos platos de 4x4 centímetros de la máquina de compresión, y se aplicará la carga a una velocidad tal que permita que el ensayo tenga una duración de entre 30 y 90 segundos, según lo indicado por la norma (figura 12).

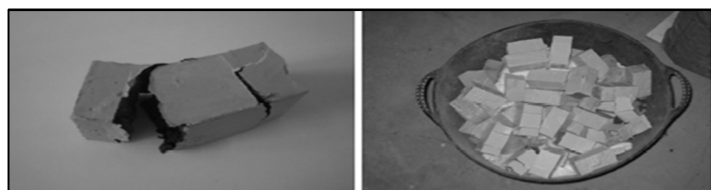
Figura 12. **Ensayo de compresión**



Fuente: laboratorio de control de calidad de la planta.

Se determinará el registro de la carga máxima soportada, calculando la resistencia a compresión simplemente dividiendo esta por la sección transversal de la probeta. En la figura 13 se observa probetas después del ensayo.

Figura 13. **Probetas rotas por el ensayo**



Fuente: laboratorio de control de calidad de la planta.

9.5. Fase 2: estudio de costos

Con los resultados obtenidos se identificarán los costos del producto sin y con adición mineral para encontrar cuál fue el resultado de agregar este producto, por medio de los costos de producción, costos directos e indirectos.

9.6. Fase 3: descripción del equipo para la dosificación de adicionar mineral al proceso

Según ensayos y caracterización del producto se cotizará el equipo para la dosificación de la adición mineral al proceso. La elección del equipo idóneo significa entender a la industria concretera, los procesos establecidos además de la tecnología que se necesita, ya que se requiere que se dosifique al proceso en las cantidades exactas del resultado de la mezcla óptima. Para ello se utilizará el equipo que ofrezca los mejores resultados en sus propiedades, repuestos, eficiencia en operación además de costos, capacidad, calidad y flexibilidad.

9.7. Fase 4: estudio de factibilidad

Hay dos grupos fundamentales para la evaluación de proyectos como lo son: los métodos aproximados donde se cuantifican los períodos o plazos de recuperación y la rentabilidad contable, pero para esta investigación se utilizaran los métodos que utilizan el valor cronológico de los flujos de efectivo, es decir los que conceden al dinero importancia en función del tiempo se realizarán los estudios financieros (TIR, VPN). Para analizar la factibilidad del proyecto, según los costos antes y después de utilizar el aditivo mineral, además de tener el costo del equipo a utilizar para la dosificación del mismo.

9.8. Muestreo

Se utilizará el muestreo aleatorio simple, donde todos los individuos tengan la misma probabilidad de ser seleccionados (*clinker*, yeso, puzolana, caliza, adición mineral). Se utilizarán 25 libras para las diferentes fórmulas.

9.9. Tamaño de la muestra

El universo de la muestra en estudio se llevará a cabo en la nave de materia prima de la planta cementera extrayendo muestras aleatorias en la nave, tomando muestras en bolsas de 30X40X0,9" (10 libras) de cada una de las materias primas (*clinker*, puzolana, yeso, caliza), las cuales llevarán el proceso de la fase 1 su manejabilidad y en la fase 2 para su proceso en la formulación óptima.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

10.1. Medidas de tendencia central y dispersión

Entre las medidas de tendencia central y de dispersión se utilizarán las siguientes: media, varianza y desviación estándar de la muestra, las cuales servirán para interpretar los datos de las pruebas.

10.2. Análisis de desviación estándar

El análisis de desviación estándar se puede definir como los resultados que indiquen posibles errores en la formulación.

10.3. Gráficos de control

La representación de la contribución individual de cada fuente de incertidumbre en la incertidumbre total se hará por medio de gráficos de control, y se realizará el análisis necesario de la información representada de esta forma.

10.4. Estudio de costos

Para el análisis de los costos que se incurren en el proceso al agregar la adición mineral, por medio de los costos fijos, directos e indirectos al proceso, se realizarán tablas con los resultados, por medio del flujo de caja y balance del proyecto.

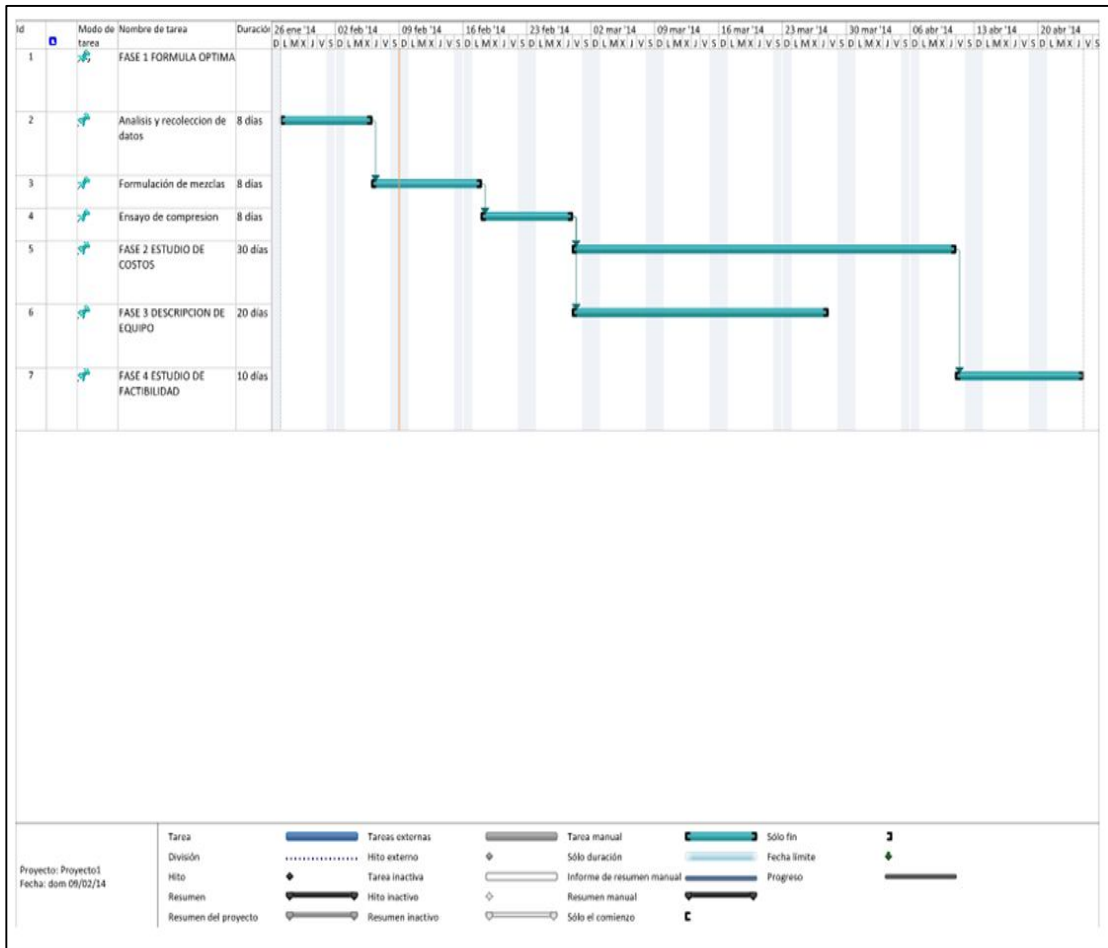
10.5. Estudio de factibilidad

Para el análisis de la viabilidad del proyecto por medio del VPN y TIR se realizarán tablas con los resultados.

11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

El seguimiento de las actividades encaminadas al logro de los objetivos establecido, se describen en el siguiente cronograma.

Figura 14. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Previa autorización de la empresa para realizar los estudios de investigación propuesta, incluyendo el acceso a información y uso de otros recursos necesarios, se expresa una cuantificación del proyecto en la siguiente tabla.

Tabla IV. Recursos físicos y financieros

Materiales e Insumos	Costo unitario (Q)	Costo Total (Q)
Cuadernillo apuntes	25,00	25,00
Timer	150,00	150,00
Bolsas 10 libras	1,50	150,00 por c/100
Caja guantes nitrilo	120,00	120,00
Caja mascarilla (20 Unid)	110,00	110,00
Lentes seguridad	50,00	150,00
Tapones de oído	45,00	135,00
100 hojas papel bond	10,00	10,00
Uso de computadora para registro y análisis de datos		800,00
Recurso humano	Costo unitario (Q)	Costo total (Q)
Estudiante de maestría	100,00 por hora	6 000,00 por 3 meses
Asesor de tesis	2 500,00	2 500,00 por proyecto
TOTAL		10 150,00

Fuente: elaboración propia.

13. BIBLIOGRAFÍA

1. Constitución Política de Guatemala, (2013). ARTICULO 119. *DE LA VIVIENDA, 119.*
2. Delgado, R. (200). *La cascarilla de Arroz.* México: Instituto Tecnológico de Zacatepec Departamento de Química y Bioquímica.
3. Escalante J., (2002). *Materiales Alternativos al cemento Portland.* (Vol. 21). México: Avance y Perspectiva.
4. Hardagon, B. y. (1994). *Contabilidad de Costos.* N/A: Norma.
5. Horgren, C., & Foster, G. y. (1996). *Contabilidad de Costos.* N/A: Prentice-Hall.
6. Ketelhöhn, W., & Marin, N. y. (2004). *Análisis de inversiones estratégicas.* N/A: Norma.
7. Link, S. (01 de 01 de 2002). *South Link.* Obtenido de Estrategia de Procesos y Selección de Maquinaria.: <http://www.southlink.com.ar/vap/contenido.htm>
8. Mehta, P. (1989). *Pozzolanic and Cementitious By Products in concrete another look.* TROMDHEIM: N/A.
9. Neville, A.M. (1997). *Tecnología del concreto.* México: IMCYC, A.C.

10. Polimeni, R., & Fabozzi, F. y. (1991). *Contabilidad de costos*. N/A: McGraw-Hill.
11. Porras, A. y. (1991) *Autómatas Programables*. N/A: McGraw-Hill.
12. Sapag, N. y. (1995). *Preparación y Evaluación de Proyectos*. N/A: McGraw-Hill.
13. Serrano, J. S. (2002). *Latinoamérica: Hambre de vivienda* (Vol. 17) Chile: Universidad de Chile.
14. Shackelford, J.F. (1995). *Ciencia de materiales para ingenieros*. México: Pearson Education.
15. Villas, B.R. (1995). *Sustainable Development and the Advanced Materials*. Brasil: Johnson Editor.