



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
UNIDAD DE POSGRADOS**

**TESIS EN OPCIÓN AL GRADO ACADÉMICO DE  
MAGÍSTER EN GESTIÓN ENERGÉTICA**

**TÍTULO:**

**“DIAGNÓSTICO DE LA DEMANDA DE ENERGÍA EN EL SISTEMA DE TRANSPORTACIÓN DE HORMIGONERA NAPO DE LA CIUDAD DE LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI, EN EL AÑO 2015. PROPUESTA DE ACCIONES, MEDIDAS Y ASPECTOS CLAVES PARA LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN LA PRODUCCION DE HORMIGÓN”.**

**AUTOR: ACURIO León Carlos Manuel**

**TUTOR: RODRÍGUEZ Bárcenas, Gustavo Dr.C**

**LATACUNGA – ECUADOR**

**Marzo - 2016**



**UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI**  
**UNIDAD DE POSGRADOS**  
**Latacunga - Ecuador**

**APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DEL GRADO**

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe aprueban el presente Informe del Proyecto de Investigación y Desarrollo de Posgrados de la Universidad Técnica de Cotopaxi; por cuanto, el posgraduado: Acurio León Carlos Manuel, con el Título de Tesis: **“DIAGNÓSTICO DE LA DEMANDA DE ENERGIA EN EL SISTEMA DE TRANSPORTACIÓN DE HORMIGONERA NAPO DE LA CIUDAD DE LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI, EN EL AÑO 2015. PROPUESTA DE ACCIONES, MEDIDAS Y ASPECTOS CLAVES PARA LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN LA PRODUCCION DE HORMIGÓN”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, Marzo del 2016

Para constancia firman:

.....  
MSc. PAULINA FREIRE  
PRESIDENTE

.....  
MSc. FABIÁN SALAZAR  
MIEMBRO

.....  
MSc. GERMÁN ERAZO  
MIEMBRO

.....  
PhD. JUÁN JOSÉ LA CALLE  
OPONENTE

## **AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS**

Latacunga, Marzo del 2016

En mi calidad de Director de Tesis presentada por el Ing. Acurio León Carlos Manuel, Egresado de la Maestría en Gestión de Energías, previa a la obtención del mencionado grado académico, cuyo título es:

**“DIAGNÓSTICO DE LA DEMANDA DE ENERGIA EN EL SISTEMA DE TRANSPORTACIÓN DE HORMIGONERA NAPO DE LA CIUDAD DE LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI, EN EL AÑO 2015. PROPUESTA DE ACCIONES, MEDIDAS Y ASPECTOS CLAVES PARA LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN LA PRODUCCION DE HORMIGÓN”.**

Considero que dicho trabajo reúne trabajo requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador.

Atentamente,

DrC. Rodríguez Bárcenas Gustavo

**DIRECTOR DE TESIS**

## **AUTORIA**

Yo, Carlos Manuel Acurio León, portador del número cédula 1716005937, declaro que la presente Tesis de Grado, es fruto de mi esfuerzo, responsabilidad y disciplina, logrando que los objetivos propuestos se culminen con éxito.

Atentamente,

Carlos Manuel Acurio León

C.I. 1716005937

## **AGRADECIMIENTO**

Al finalizar un trabajo tan arduo y lleno de dificultades como el desarrollo de una tesis de Maestría, agradezco primeramente a Dios por darme la oportunidad de culminar con un peldaño más en mi vida, a mi madre por el apoyo de día a día para superarme profesionalmente y por compartir conmigo momentos felices y tristes.

A mi Esposa por ser mi compañera, mi amiga, y quien dio el fruto más bello de la vida una preciosa bebe nuestra hija Isabel.

Quiero agradecer a mis profesores por haberme facilitado siempre los medios suficientes para llevar a cabo todas las actividades propuestas durante el desarrollo de esta tesis.

Carlos

## **DEDICATORIA**

Este trabajo previo a la obtención al título de Máster en Gestión de Energías, está dedicado a mi hija Cristina Isabel. Para futuros caminos por recorrer y demostrarle que con esfuerzo y dedicación todo es posible.

También a mi madre Elsa, a mi esposa, y a toda mi familia por permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional, porque creyeron en mí y me apoyaron para salir adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque gracias a ellos, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en todo momento de forma incondicional.

Carlos



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**UNIDAD DE POSGRADOS**  
**MAESTRÍA EN GESTIÓN ENERGÉTICA**

**TÍTULO:** “DIAGNÓSTICO DE LA DEMANDA DE ENERGIA EN EL SISTEMA DE TRANSPORTACIÓN DE HORMIGONERA NAPO DE LA CIUDAD DE LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI, EN EL AÑO 2015. PROPUESTA DE ACCIONES, MEDIDAS Y ASPECTOS CLAVES PARA LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN LA PRODUCCION DE HORMIGÓN”.

**Autor:** ACURIO León Carlos Manuel

**Tutor:** RODRIGUEZ Bárcenas Gustavo DrC.

---

**RESUMEN**

En este trabajo se analiza la situación de la producción industrial del hormigón, el desarrollo de una estrategia de recapitalización y automatización de las instalaciones y su impacto energético, así como la importancia del control y registro de los índices energéticos en cuanto a energía eléctrica y al consumo de combustible, la política de descentralización de este material para poder disminuir los consumos energéticos en la fase de transporte a distancia de la mezcla fresca de la mezcla de áridos, cemento y agua. El ciclo de vida del mortero empieza con la extracción de materiales para la fabricación del cemento, el componente clave de la mezcla que es el cemento. La planta de hormigones de esta empresa funciona con sistemas de transportación de materias primas a través de bandas transportadoras las mismas que funcionan con un generador eléctrico que funciona con un motor de combustión interna de fabricación rusa marca Deutz que funciona alimentado de combustible diesel; las bandas y rodillos transportadores son elementos que ayudan a recibir un producto de forma casi continua y regular para conducirlo a otro punto, el trabajo de las bandas en la hormigonera es el traslado de los agregados del hormigón hacia la zona de mezclado, pero al realizar esta actividad se puede apreciar un sobre consumo de combustible en base a la entrevista de la pregunta dos realizada al Gerente de la Empresa Napo, el cual supo manifestar que él ha indagado en hormigoneras de similares características en especial en la ciudad de Machachi Provincia de Pichincha y establece que al menos consume un 10% menos que la hormigonera que gerencia, este fue el motivo que inspiró realizar este estudio. Finalmente se propone las alternativas de solución al problema de eficiencia energética en la producción de hormigón, paralelamente con la definición de los requerimientos ecológicos mínimos de estas instalaciones que garantice la sustentabilidad para este tipo de instalación y de este modo reducir los costos de producción mejorando la productividad en la planta de hormigones Napo de la ciudad de Latacunga provincia de Cotopaxi.

**DESCRIPTORES**

Energía, Combustión, Hormigón, Industria, Combustible, clínker, cemento, electrógeno.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**UNIDAD DE POSGRADOS**  
**MAESTRÍA EN GESTIÓN ENERGÉTICA**

**Topic:**

DIAGNOSIS OF ENERGY DEMAND IN TRANSPORTATION SYSTEM HORMIGONERA NAPO CITY LATACUNGA, COTOPAXI PROVINCE IN 2015. PROPOSED ACTIONS, MEASURES AND KEY ISSUES FOR REDUCING FUEL CONSUMPTION IN THE PRODUCTION OF CONCRETE.

**Autor:** ACURIO León Carlos Manuel

**Tutor:** RODRIGUEZ Bárcenas Gustavo DrC.

---

**ABSTRACT**

In this work the situation of industrial production of concrete, development of a strategy to recapitalize and automation of facilities and energy impact and the importance of monitoring and recording of energy indices are analyzed for electricity and carriers energy consumed, the decentralization policy of concrete to reduce energy consumption in the transport phase distance of fresh concrete mix and the need for training of the technical workforce. The concrete plant company operates transportation systems of raw materials through the same conveyor belts that run an electric generator that works with an internal combustion engine Russian-made works Deutz diesel powered fuel; bands and rollers are elements that help to receive a product of almost continuous and regular to drive to another point, the work of the bands in the concrete mixer is the transfer of concrete aggregates to the mixing zone, but when making this activity can appreciate a fuel consumption based on the interview question two on the Manager of the Napo Company, which was able to say that he has explored concrete mixers similar characteristics especially in the city of Machachi Pichincha Province and it establishes that at least consumes 10% less than the concrete mixer that management, this was the reason that inspired this study.

Finally the proposed alternative solutions to the problem of energy efficiency in the production of concrete, in parallel with the definition of minimum ecological requirements of these facilities to ensure sustainability for this type of installation and thus reduce production costs by improving plant productivity Napo concrete city of Latacunga Cotopaxi province.

**DESCRIPTORS**

Energy, Combustion, Concrete, Industry, Fuel, clinker, cement, generator.

## ÍNDICE

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DEL GRADO.....	II
AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS .....	III
AGRADECIMIENTO.....	V
DEDICATORIA .....	VI
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
ÍNDICE .....	IX
INTRODUCCION .....	1
SITUACIÓN PROBLÉMICA .....	1
JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
OBJETO Y PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN .....	2
Objeto de estudio.....	2
Formulación del problema .....	2
CAMPO DE ACCIÓN Y OBJETIVO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN .....	2
Campo de acción.....	2
Objetivo General .....	2
HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
SISTEMA DE TAREAS .....	3
TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTOS .....	4
VISIÓN EPISTEMOLÓGICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN .....	4
DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO .....	5
CAPITULO I.....	6
EL MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO .....	6
1.1- Caracterización Detallada del objeto de investigación.....	6
1.1.1- Descripción del objeto .....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
1.1.2- Delimitación espacio temporal .....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
1.2- El marco teórico.....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>

1.2.1- Argumentación acerca de la necesidad de la investigación .....	¡Error! Marcador n
1.2.2.- Antecedentes de estudio.....	9
1.2.3.- Fundamentación teórica.....	16
1.2.3.1- Clasificación de las bandas transportadoras .....	16
Bandas transportadoras de goma.....	17
Bandas transportadoras de PVC.....	17
Bandas transportadoras modulares.....	18
Bandas transportadoras de valla metálica .....	18
Bandas transportadoras de teflón y silicona.....	19
1.2.3.2.- Consideraciones teóricas establecidas para los transportadores de banda .....	19
Factor de forma de la carga en un transportador de banda .....	20
Geometría triangular y cálculo del área de carga.....	21
Caracterización de la geometría parabólica y formula del cálculo correspondiente .....	22
1.3.- Fundamentos de la investigación.....	25
1.3.1.- El problema científico.....	25
1.3.2.- Viabilidad teórica y práctica .....	26
1.4.- Bases teóricas particulares de la investigación .....	26
1.4.1.-Variables de investigación .....	26
1.4.2. Operacionalización de las variables .....	27
 CAPÍTULO II .....	 29
METODOLOGÍA .....	29
2.1.- Caracterización .....	29
2.2.- Diseño del experimento .....	30
2.3.- Empleo de la observación .....	31
2.4.- Características de la entrevista.....	31
2.4.1.- Confiabilidad y validez de los instrumentos.....	31
2.4.2.- Recolección de información .....	32
2.4.2.1.- Procesamiento de información.....	32
2.4.2.2.- Instrumentos de medición utilizados .....	33

2.5.- Procedimiento de diagnóstico de la demanda de energía .....	33
CAPITULO III.....	40
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	40
4.1.- Resultado de la entrevista realizada en la empresa.....	40
4.2.- Resultado del Diagnóstico energético aplicado al objeto de estudio.....	44
4.3. Simulación de las bandas que son utilizadas en la planta para evaluar su eficiencia energética.....	47
4.4. Procedimiento utilizado para diagnosticar el motor de combustión interna.....	56
CAPITULO IV.....	59
LA PROPUESTA.....	59
4.1- Título de la propuesta .....	59
4.2- Justificación de la propuesta .....	59
4.3- Objetivo de la propuesta .....	61
4.3.1.- Objetivo general.....	61
4.3.2.- Objetivos específicos .....	61
4.4- Estructura de la propuesta.....	61
4.5.- Desarrollo de la propuesta .....	62
4.5.1.- Acciones para la elevación de la eficiencia en el consumo de combustible .....	62
4.5.2.- Medidas para el consumo de combustible en la producción industrial del hormigón .....	62
4.5.3.- Aspectos claves en la eficiencia energética .....	63
5.5. Valoración económica de la propuesta .....	67
4.6.1.- Propuesta de variantes .....	68
4.6.1.1.- Variante I Garantizar transporte por bandas transportadoras .....	68
4.6.1.2.- Variante II Propuesta de transporte por gravedad .....	70
CONCLUSIONES GENERALES .....	76
RECOMENDACIONES .....	78
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
ANEXOS.....	80

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1. PRODUCCIÓN MUNDIAL DE CEMENTO .....	12
FIGURA 1.2. CARGA EN REPOSO DE SECCIÓN TRIANGULAR.....	21
FIGURA 1.3. CARGA EN REPOSO DE SECCIÓN PARABÓLICA. ....	22
FIGURA 2.1. ANALIZADOR DE CALIDAD DE ENERGÍA TRIFÁSICO POWERPAD MODELO 3945-B.....	33
FIGURA 2.2. MOTOR ELÉCTRICO INDICANDO PÉRDIDAS DE ENERGÍA .....	39
FIGURA 2.3. MEDIDOR DE COMPRESIÓN MARCA FOSN PARA MOTORES DIESEL CON ADAPTADORES .....	36
FIGURA 2.4. SOFTWARE PARA EL CÁLCULO Y DIMENSIONAMIENTO DE LAS BANDAS .....	37
FIGURA 2.5. PLANTA HORMIGONERA NAPO .....	38
FIGURA 2.6 DISTRIBUCIÓN DE PLANTA.....	39
FIGURA 3.1. SISTEMA MOTOR-GENERADOR DE LA PLANTA DE HORMIGÓN.....	47
FIGURA 3.2. BANDAS TRANSPORTADORAS.....	48
FIGURA 3.3. MOTOR DE LA BANDAS TRANSPORTADORAS .....	49
FIGURA 3.4. SELECCIÓN DEL MATERIAL .....	51
FIGURA 3.5. LISTADO DE MATERIALES.....	51
FIGURA 3.6. GEOMETRÍA DE LA INSTALACIÓN.....	52
FIGURA 3.7. CÁLCULOS TÉCNICOS CORRESPONDIENTES A LAS FUERZAS Y POTENCIAS REQUERIDAS EN LA BANDA.....	53
FIGURA 3.8. CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR .....	54
FIGURA 3.9. COLORACIÓN DE LOS GASES DE ESCAPE MOTOR DEUTZ.....	59
FIGURA 4.1. ELEVACIÓN DE LA DESCARGA DE MATERIALES .....	73
FIGURA 4.2. CARGAR LA TOLVA DE CEMENTO POR SILO EN LA PLANTA DE HORMIGÓN.....	73
FIGURA 4.3: CARGAR LOS AGREGADOS EN LA CRIBA .....	74

FIGURA 4.4. ESQUEMA DE VERTIDO DE AGREGADOS POR GRAVEDAD .....	75
FIGURA A. DIAGRAMA INDICATIVO DE LA RESISTENCIA (EN %) QUE ADQUIERE EL HORMIGÓN A LOS 14, 28, 42 Y 56 DÍAS.....	84
FIGURA B. COMPROBACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN.....	86
FIGURA C. ENSAYO DE CONO DE ABRAMS .....	87
FIGURA D. PRESA DE HOOVER.....	84
FIGURA E. ESQUEMA DE UN HORNO.....	93
FIGURA F. CLINKER DE CEMENTO ANTES DE SU MOLIENDA.....	94
FIGURA G. ACOPIO DE ÁRIDOS DE TAMAÑO .....	96

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1: Producción mundial de cemento (miles de toneladas).....	13
Cuadro 1.2: Operalización de la variable independiente .....	27
Cuadro 1.3: Operalización de la variable dependiente.....	28
Cuadro 3.1: Materiales pétreos obtenidos de cantera.....	50
Cuadro 4.1: Indicadores promedios .....	64
Cuadro 4.2: Rendimientos nominal.....	64
Cuadro 4.3: Consumos específicos .....	65
Cuadro 4.4: Costo de reparación motor DEUTZ .....	68
Cuadro 4.5: Consumo de combustible .....	69
Cuadro 4.6: Comparación motor reparad.....	69
Cuadro 4.7: Costo de construcción de criba para material pétreo.....	71

-

# **INTRODUCCION**

## **SITUACIÓN PROBLÉMICA**

El hormigón es el principal material de construcción en la provincia, el país y en todo el mundo, donde se estima la producción anual de algo más de un metro cúbico de hormigón por cada habitante del planeta. Una de las direcciones principales en las que se trabaja en la República de Ecuador es en el ahorro energético, gracias a la gestión del gobierno actual el cuál le ha otorgado una elevada prioridad a la eficiencia energética industrial por lo vital que representa, en la erogación de divisas. Las bases para el establecimiento de un sistema de gestión energética exigen efectuar la caracterización energética de la producción industrial del hormigón e indicar claramente sus aspectos claves. Otro importante aspecto es la elevación de la eficiencia en la utilización de las materias primas del hormigón que tienen un fuerte consumo energético inducido, especialmente del cemento y la necesidad e importancia de lograr una elevación de la eficiencia en el uso de este componente indispensable en la producción de los hormigones, para lo cual se indican las pautas a seguir.

Para el transporte de materiales, materias primas, minerales y diversos productos se han creado diversas formas; pero una de las más eficientes es el transporte por medio de bandas y rodillos transportadores, ya que estos elementos son de una gran sencillez de funcionamiento, que una vez instaladas en condiciones suelen dar pocos problemas mecánicos y de mantenimiento. Las bandas y rodillos transportadoras son elementos auxiliares de las instalaciones, cuya misión es la de recibir un producto de forma más o menos continua y regular para conducirlo a otro punto. Son aparatos que funcionan solos, intercalados en las líneas de proceso y que no requieren generalmente de ningún operario que manipule directamente sobre ellos de forma continuada.

## **JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

La investigación se centra en la mejora de la eficiencia energética del sistema de transportación de agregados para hormigones, traducándose en el ahorro económico que representará la reducción de combustible en el proceso de producción del hormigón.

En este proyecto será relevante el aprovechamiento energético, porque tanto las personas como el ecosistema ganarían al poseer este sistema, ya que el consumo de diésel bajaría en forma sustancial porque no haría mucho esfuerzo el grupo electrógeno, al estar bien diseñado el circuito de serbo-motores en la planta de hormigones, se tendrá solo el consumo energético de combustible necesario en el proceso de producción de hormigón y de esta forma se aprovecharía eficientemente la energía.

## **OBJETO Y PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **Objeto de estudio**

El sistema de transportación de la hormigonera Napo de la ciudad de Latacunga

### **Formulación del problema**

Una vez contextualizado el problema, determinado sus causas y sus efectos, planteado su análisis crítico y establecida la prognosis, el problema es:

Ineficiencia energética en el portador electricidad en el sistema de transportación de la Hormigonera Napo de la ciudad de Latacunga provocando altos consumos de combustible en la empresa en el año 2015

## **CAMPO DE ACCIÓN Y OBJETIVO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN**

### **Campo de acción**

Eficiencia energética del sistema de transportación de la Hormigonera Napo

### **Objetivo General**

Determinar el consumo energético en el sistema de transportación de agregados del hormigón a partir de la restructuración del sistema de transportación que presenta el mismo, que contribuya a mejorar la eficiencia en el consumo de

combustible de la empresa Hormigonera Napo de la Ciudad de Latacunga en el año 2015.

### **HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

Si se determina la demanda de energía en el sistema de transportación de hormigonera Napo, se podrá contribuir a la disminución del consumo de combustible a partir de acciones, medidas y aspectos claves en la producción de hormigón.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Analizar el marco teórico relacionado con los sistemas de transportación y su eficiencia energética para la producción de hormigón que sirvan de fundamentación para la presente investigación.
2. Diagnosticar el sistema de transporte, eléctrico y de generación en la planta de hormigones.
3. Analizar valores y consumos de combustible en el proceso industrial.
4. Plantear una propuesta de solución al problema de eficiencia en la producción de hormigón.

### **SISTEMA DE TAREAS**

1. Recopilar información en fuentes bibliográficas sobre plantas de hormigones y sus sistemas de transportación de los agregados.
2. Realizar un análisis teórico sobre el sistema de transportación para las materias primas del hormigón.
3. Determinar los parámetros que determinan el consumo de combustible en función a las cargas.
4. Establecer acciones como la extensión del empleo de los aditivos químicos, mejoramiento en la calidad de áridos, eliminación de las indisciplinas tecnológicas en la producción, transporte y vertido del hormigón.

5. Considerar medidas como análisis preliminar de los consumos de energía eléctrica específica real, formular un programa que garantice el ahorro y uso racional de combustible.
6. Establecer con aspectos claves el consumo eléctrico de las plantas procesadoras de hormigón, consumos específicos de portadores energéticos con portador el consumo de combustible diesel.

### **TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTOS**

**La entrevista.-** Se realizará entrevistas al personal administrativo como técnico en el proceso de producción del hormigón.

### **VISIÓN EPISTEMOLÓGICA DE LA INVESTIGACIÓN**

El trabajo pretende realizar varias pruebas considerando acciones, medidas y aspectos claves en el consumo de combustible que proporciona energía eléctrica en un sistema de transportación de agregados del hormigón, y como disminuir este consumo para reducir los costos de producción.

### **ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN**

En el desarrollo del presente trabajo son analizados los elementos mecánicos y eléctricos en el sistema de bandas transportadoras de agregados del hormigón, ya que estos al no concatenar con la demanda de materias primas se estará consumiendo recursos, aumentando el tiempo de producción y disminuyendo la cantidad producida por consiguiente se aumentará los costos del producto terminado.

Se pretende realizar un estudio a través de establecer acciones como la extensión del empleo de los aditivos químicos, mejoramiento en la calidad de áridos, eliminación de las indisciplinas tecnológicas en la producción, transporte y vertido del hormigón, también considerar medidas como análisis preliminar de los consumos de energía eléctrica específica real, formular medidas que garanticen el ahorro y uso racional de combustible, como también establecer con aspectos claves el consumo eléctrico de las plantas procesadoras de hormigón, consumos específicos de portadores energéticos con portador el consumo de combustible diesel.

## **DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO**

El presente trabajo tiene como propósito realizar el diagnóstico de la demanda de energía en el sistema de transportación de hormigonera Napo de la Ciudad de Latacunga, para luego por medio de acciones, medidas y aspectos claves se logre la disminución del consumo de combustible en la producción de hormigón.

Al inicio de este trabajo, es analizado el problema de investigación, se ejecuta la contextualización a niveles macro, meso y micro; se determina el objeto y campo de la investigación, la justificación y son enunciados los objetivos.

En el Capítulo I, se estudia el objeto de la investigación, se presenta el marco teórico y los antecedentes investigativos en los que figuran resoluciones y definiciones del problema planteado en esta investigación: la contextualización, fundamentos teóricos con sus respectivas orientaciones, que corresponden con los principios vinculados a los transportadores de banda.

En el Capítulo II, se muestra la metodología para realizar la investigación, el enfoque metodológico, la modalidad, los tipos de investigación y se presenta el análisis de las encuestas realizadas a población o universo, así como los procedimientos de cálculos respectivos para el diagnóstico de la demanda del transportador de banda objeto de estudio.

En el Capítulo III, se muestra el análisis de los resultados obtenidos por los instrumentos que se utilizaron para la recolección, a través de tablas y gráficos estadísticos elaborados con dicha información.

En el Capítulo IV, se presenta Propuesta de solución al problema de eficiencia energética en la producción de hormigón.

# CAPITULO I

## 1.- EL MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO

El presente trabajo tiene por objeto buscar mejorar la eficiencia en el consumo de combustible en el proceso de producción del hormigón y de esta manera contribuir con la disminución de gastos innecesarios que reducen las ganancias en la empresa hormigonera Napo de la ciudad de Latacunga.

Esto se logrará luego de un diagnóstico de la demanda energética en el sistema de transportación de la planta de hormigón a la cual se está realizando este análisis.

### 1.1 Caracterización detallada del objeto de investigación

El objeto de investigación de este proyecto es la demanda energética en el sistema de transportación de una planta de hormigones.

#### 1.1.1. Descripción del objeto

El Proceso de producción de mortero y hormigón en la planta de procesos de hormigonera Napo tiene un sistema de alimentación de los agregados por medio de dos bandas transportadoras estas funcionan con motores eléctricos los cuales son alimentados por un generador eléctrico que funciona con combustible diesel.

#### 1.1.2. Delimitación espacio temporal

Diagnóstico de la demanda de energía en el sistema de transportación de la hormigonera napo de la Ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi, desde enero hasta diciembre del 2015. Propuesta de acciones, medidas y aspectos claves para la disminución del consumo de combustible en la producción de hormigón.

## 1.2 El marco teórico

### 1.2.1. Argumentación acerca de la necesidad de la investigación

**Económica:** En la actualidad existen varias empresas y el crecimiento y la necesidad de tener y brindar empleos hacen que estas compitan por tener mejores precios y que estos sean inferiores que los de la competencia, y si no se cuida los gastos en las empresas estas podrían quebrar al no tener clientes y que no exista

ingresos económicos en ellas, una forma de controlar estos gastos innecesarios es con la mejora en los procesos de producción.

El presente trabajo de investigación se fundamenta en realizar un diagnóstico de la demanda de energía en el sistema de transportación de una planta de hormigones, si se reduce los gastos innecesarios en el consumo de combustible entonces hormigonera Napo será más competitiva y aumentará sus ganancias.

**Legal:** Hormigonera Napo una empresa creada el 16 de abril del 2002 en la ciudad del Tena provincia de Napo, empresa que nace por contratos establecidos con el concejo Provincial del Napo en puentes e infraestructura en la ciudad del Tena, Archidona y Arosemena Tola, y posteriormente hasta el año 2006 trabajan realizando obras civiles y con clientes externos y el municipio del Tena.

El 26 de Abril del 2006 se culminaron los contratos y la empresa se encontraba en recesión, pero el 18 de Mayo del mismo año tienen la propuesta de realizar la infraestructura de la ciudadela de los mecánicos al norte de la Ciudad de Latacunga y trasladan sus equipos hasta el Lugar, adquiriendo un terreno en el sector el Niágara e inician sus operaciones el dos de Junio del 2006 desde aquel entonces hormigonera Napo se encuentra asentada en la ciudad de Latacunga provincia de Cotopaxi y brinda los servicios a clientes externos en la entrega de hormigón para replantillos y lozas ya que dispone de todo equipo para hormigón bombeado.

Además se tomará en cuenta el aspecto legal sobre el medio ambiente:

Art. 86.- El Estado protegerá el derecho de la población a vivir en un medio ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice un desarrollo sustentable. Velará para que este derecho no sea afectado y garantizará la preservación de la naturaleza.

Se declaran de interés público y se regularán conforme a la ley:

1. La preservación del medio ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país.
2. La prevención de la contaminación ambiental, la recuperación de los espacios naturales degradados, el manejo sustentable de los recursos

naturales y los requisitos que para estos fines deberán cumplir las actividades públicas y privadas.

3. El establecimiento de un sistema nacional de áreas naturales protegidas, que garantice la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de los servicios ecológicos, de conformidad con los convenios y tratados internacionales.

Art. 87.- La ley tipificará las infracciones y determinará los procedimientos para establecer responsabilidades administrativas, civiles y penales que correspondan a las personas naturales o jurídicas, nacionales o extranjeras, por las acciones u omisiones en contra de las normas de protección al medio ambiente.

Art. 88.- Toda decisión estatal que pueda afectar al medio ambiente, deberá contar previamente con los criterios de la comunidad, para lo cual ésta será debidamente informada. La ley garantizará su participación.

Art. 89.- El Estado tomará medidas orientadas a la consecución de los siguientes objetivos:

- a) Promover en el sector público y privado el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes.
- b) Establecer estímulos tributarios para quienes realicen acciones ambientalmente sanas.
- c) Regular, bajo estrictas normas de bioseguridad, la propagación en el medio ambiente, la experimentación, el uso, la comercialización y la importación de organismos genéticamente modificados.

Art. 90.- Se prohíben la fabricación, importación, tenencia y uso de armas químicas, biológicas y nucleares, así como la introducción al territorio nacional de residuos nucleares y desechos tóxicos.

El Estado normará la producción, importación, distribución y uso de aquellas sustancias que, no obstante su utilidad, sean tóxicas y peligrosas para las personas y el medio ambiente.

Art. 91.- El Estado, sus delegatarios y concesionarios, serán responsables por los daños ambientales, en los términos señalados en esta Constitución

Art. 20.- Tomará medidas preventivas en caso de dudas sobre el impacto o las consecuencias ambientales negativas de alguna acción u omisión, aunque no exista evidencia científica de daño.

Sin perjuicio de los derechos de los directamente afectados, cualquier persona natural o jurídica, o grupo humano, podrá ejercer las acciones previstas en la ley para la protección del medio ambiente.

La empresa se encuentra comprometida con el medio ambiente, ya que en sus alrededores se encuentran zonas pobladas y deben reducir las emanaciones efectuadas por su producción, y esto es una causa porque se permitió realizar este tema de investigación.

**Social:** Al disminuir los costos de producción, las emisiones de gases invernadero producto de motores de combustión interna, conservar los recursos, disminuir el precio del metro cúbico del hormigón para poder acceder a posibles clientes que no poseen los recursos económicos para este bien y se encuentra distante los ingresos para edificar una vivienda o infraestructura con hormigón contribuirá al bienestar de la población y esto constituye un aporte social.

**Medioambiental:** Al reducir el consumo de combustible, habrá menos emisiones de gases a la atmósfera producto de estos combustibles fósiles que son combustionados y desprendidos al ambiente por medio de motores de combustión interna.

### **1.1.2- Antecedentes del estudio**

El enfrentar complejas situaciones de cambio no debe ser atendido de manera dispersa, si no requiere de una plataforma, sin embargo llevara delante un proceso de implementación de un sistema de gestión energética para la producción con las bondades de sintetizar el consumo de combustible en la fabricación del hormigón; para de que de esta forma se economice el combustible desperdiciado por el incorrecto análisis en conjuntos electromecánicos e instalaciones eléctricas no es tan fácil como pudiera

pensarse, en un primer momento, se debe estar completamente seguro realizando pruebas con la máquina para definir parámetros como la eficiencia energética, la calidad de hormigón producida y de esta manera comprendan su importancia y se comprometa su apoyo para el desarrollo de este proyecto.

El sector industrial ecuatoriano ya no es el mismo como el de 18 años atrás, donde la economía ecuatoriana estaba en una mejor situación, en comparación con la actual, en donde se debe cuidar el factor económico día a día y para alcanzar dicho objetivo, se debe comenzar por una correcta estructura como empresa, minimizando al máximo los gastos por concepto de nómina, gastos de energía, un personal que conozca cuales son los objetivos de una empresa hoy en día, esto permitirá a los niveles de gerencia optimizar los índices de productividad, gracias a la reducción de costos indirectos de fabricación como es la de combustible, pues de esta manera se desea economizar este consumo con el uso correcto de instalaciones, servomotores y sistemas moto-generadores.

Por más pequeña que sea una empresa, necesita ofertar productos baratos y de buena calidad para lo cual esta debe tener una organización bien diseñada en base a las necesidades de la empresa, esto servirá para tener claro cuál es la visión de la empresa, que a la vez vendrá a contribuirá la población del sector en la oferta de empleos.

En el anexo 4 podemos identificar las características físicas del hormigón en donde se puede apreciar la resistencia de este componente como varía con la edad en días de fraguado y como aumenta su resistencia a la compresión, consistencia y durabilidad a medida que posee más días perdiendo humedad, gracias a estas características este componente es tan esencial en todo el mundo donde se estima “la producción anual de algo más de un metro cúbico de hormigón por cada habitante del planeta”(Patiño-Arcila 2003, Pág. 15).

Las bases para el establecimiento de un sistema de gestión energética exigen efectuar la caracterización energética de la producción industrial del hormigón e indicar claramente sus aspectos claves.

En este trabajo se analiza la situación de la producción industrial del hormigón en Ecuador, el desarrollo de una estrategia de recapitalización y automatización

de las instalaciones y su impacto energético, así como la importancia del control y registro de los índices energéticos en cuanto a energía y portadores energéticos consumidos. La política de descentralización del hormigón para poder disminuir los consumos energéticos en la fase de transporte a distancia de la mezcla fresca de hormigón y la necesidad de capacitación de la fuerza técnica.

Otro importante aspecto es la elevación de la eficiencia en la utilización de las materias primas del hormigón que tienen un fuerte consumo energético inducido, especialmente del cemento y la necesidad e importancia de lograr una elevación de la eficiencia en el uso del cemento en la producción de los hormigones, para lo cual se indican las pautas a seguir.

Se propone la estructura de un sistema de gestión energética en la producción industrial del hormigón, paralelamente con la definición de los requerimientos ecológicos mínimos de estas instalaciones que garantice la sustentabilidad del sistema.

No es posible hablar del recientemente concluido siglo XX sin mencionar al hormigón hidráulico de cemento Portland, el principal material de construcción en el mundo. Se produce en cada año aproximadamente más de un metro cúbico de hormigón por habitante en el mundo.

No se vislumbra aún ningún otro material de construcción que compita con el hormigón en cuanto a versatilidad para conformar estructuras y economía. El hormigón es además un material amigable con el medio ambiente, admite incorporar en su fabricación subproductos y desechos de otras industrias, puede tener largos plazos de vida útil y es reciclable al finalizar la misma.

Las estructuras de hormigón y hormigón armado son competitivas cuando se comparan con otros materiales como las estructuras metálicas, no sólo por sus costos iniciales, sino incluyendo las necesidades de mantenimientos y reparaciones.

Sin embargo está reconocido a nivel mundial que el hormigón tiene que superar importantes desafíos para mantener su primacía como material de construcción.

- Su industria es fragmentada y diversa, muy lenta para investigar nuevas opciones tecnológicas, reacia a invertir en investigación y vacilante para adoptar las nuevas tecnologías.
- Hay que trabajar en la reducción del consumo energético y las emisiones en la producción del cemento: Se emite cerca de una tonelada de CO<sub>2</sub> por cada tonelada de clínquer producida.
- Es imprescindible también reducir el consumo energético en el transporte del cemento y el hormigón que consume entre el 20 al 50% del costo final del hormigón.
- No existen fuentes centralizadas de información sobre el desempeño real y la vida útil de los productos y las estructuras de hormigón, lo que dificulta la evaluación de su impacto.
- La industria del hormigón opera sobre la base de prescripciones en lugar del desempeño.

Como se puede apreciar en la figura 1.1 la producción mundial del cemento fue de más de 2.500 millones de toneladas en 2007. Estimando una dosificación de cemento entre 250 y 300 kg de cemento por metro cúbico de hormigón, significa que se podrían producir de 8.000 a 10.000 millones de metros cúbicos, que equivalen a 1,5 metros cúbicos de hormigón por persona. Ningún material de construcción ha sido usado en tales cantidades y en un futuro no parece existir otro material de construcción que pueda competir con el hormigón en magnitud de volumen.

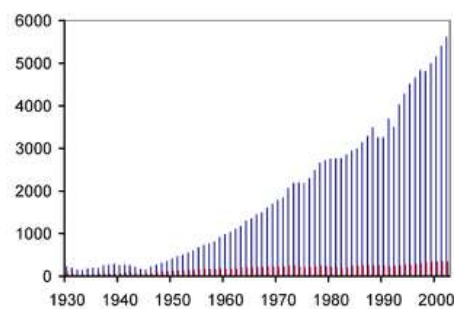


Figura 1.1: Producción mundial de cemento

Fuente: Aïtcin, Pierre-Claude, Profesor Emérito de la Universidad de Sherbrooke, Québec Canadá, 2002.

■ Producción mundial de hormigón. ■ Producción en EEUU. Datos en millones de metros cúbicos.

**Cuadro 1.1.- Producción mundial de cemento (miles de toneladas).**

<b>País</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>
<b>China</b>	1.040.000	1.200.000	1.300.000	1.388.400
<b>India</b>	145.000	155.000	160.000	177.000
<b>EEUU</b>	101.000	99.700	96.400	87.600
<b>Japón</b>	69.600	69.900	70.000	62.800
<b>Rusia</b>	48.700	54.700	59.000	53.600
<b>Rep. Corea</b>	51.400	55.000	55.000	53.900
<b>España</b>	50.300	54.000	50.000	80.100
<b>Italia</b>	46.400	43.200	44.000	43.000
<b>México</b>	36.000	40.600	41.000	47.600
<b>Brasil</b>	36.700	39.500	40.000	51.900
<b>TOTAL MUNDIAL</b>	<b>2.310.000</b>	<b>2.550.000</b>	<b>2.600.000</b>	<b>2.840.000</b>

Fuente: Aïtcin, Pierre-Claude, Profesor Emérito de la Universidad de Sherbrooke, Québec Canadá, 2002.

Es decir la producción industrial de hormigón tiene un importantísimo impacto energético en la economía de un país y muy especialmente en la construcción.

Los sistemas de transporte industrial constituyen un elemento estratégico de los procesos de desarrollo nacional e internacional. Desde el punto de vista económico, el transporte influye determinadamente en los costos de producción y distribución de bienes y servicios. El transporte de materiales incluye consideraciones de movimiento, tiempo, lugar, cantidad y espacio. El manejo de

materiales debe asegurar que las partes, materias primas, material en proceso, productos terminados y suministros se desplacen periódicamente de un lugar a otro. Como cada operación de proceso requiere materiales y suministros a tiempo en un punto en particular, con el eficaz manejo de materiales se asegura que los materiales sean entregados en el momento y lugar adecuado, así como en cantidad correcta (Lauhoff, 2005; Patiño-Arcila, 2014; Sierra-Pérez, Legrá-Lobaina, & Velazquez, 2009; Titov, Gutiérrez, & Rosales, 2008).

En las industrias vinculadas con los materiales de la construcción como el concreto son usadas las bandas transportadoras de manera que humanice el trabajo en este sentido y sea más eficiente el proceso de producción en este sentido. Es considerado el sistema de transportación a través de bandas de vital importancia por las ventajas que ellos traen.

La palabra hormigón procede del término fórmico, palabra latina que alude a la cualidad de «moldeable» o «dar forma». El término concreto, definido en el diccionario de la RAE como americanismo, también es originario del latín: procede de la palabra concretus, que significa «crecer unidos», o «unir». Su uso en idioma español se transmite por vía de la cultura anglosajona, como anglicismo (o calco semántico), siendo la voz inglesa original concrete.

Hallazgos contemporáneos en Lepensky, junto al Danubio, permiten afirmar que durante la edad de piedra, hace 7.500 años, los habitantes construían el suelo de sus viviendas uniendo tierra caliza, arena, grava y agua. Esta mezcla puede ser considerada como un hormigón rudimentario.

Los egipcios por su parte, utilizaron como aglomerante, yeso cocido. Excavaciones permiten establecer que hace 4.500 años, los constructores de la pirámide de Cheops, utilizaron hormigones primitivos.

Los griegos, hace más de 2.300 años, utilizaron como aglomerante, tierra volcánica que extrajeron de la isla de Santorín. También existen indicios para decir que utilizaron caliza calcinada que mezclaron con arcilla cocida y agua.

El pueblo romano también usó hormigón en sus construcciones, para lo cual utilizaron cal como aglomerante. Se puede mencionar la construcción del alcantarillado de Roma, hace 2.300 años.

Posteriormente, hacia el año 200 antes de Cristo, se produjo un significativo avance en la optimización de los aglomerantes para construcción: el cemento Romano. Desde un lugar cercano al Vesubio obtuvieron la Puzolana, constituida básicamente por sílice. Este material mezclado con cal y agua permite conformar un aglomerante hidráulico, (dicho de una cal o de un cemento que se endurece en contacto con el agua).

El teatro de Pompeya (55 años antes de Cristo), se edificó con este material. Posteriormente se utilizó en la construcción de los baños públicos de Roma, el coliseo y la basílica de Constantino. La prolongada duración de estos edificios nos hace concluir que los constructores romanos utilizaban una dosificación perfectamente calculada y empleaban técnicas adicionales para mejorar la resistencia del material de construcción.

El famoso historiador Plinio, en relación a la construcción de un pozo de agua, escribió: “El fondo y los lados se golpean con martillos de hierro”. De esto se desprende que los romanos utilizaron la compactación y el apizonado.

En Teotihuacán, durante el siglo primero antes de Cristo, se construyeron pirámides de núcleo de tierra apisonada, revestida de piedra aglomerada con una mezcla de tierra volcánica, cal y agua. A ello también agregaron resinas vegetales que permitían una mejor modelación.

Uno de los sistemas que ha revolucionado completamente el sector industrial en el transporte de materiales al granel, por ofrecer una solución económica y eficiente, son las bandas transportadoras. Sin embargo, a pesar de todas las bondades que pueden ofrecer estos sistemas, una gran desventaja que poseen es la generación de polvo y el derrame de producto durante su transporte.

Las correas transportadoras han demostrado ser una solución excelente para el transporte de materias primas minerales y áridas. Hoy, en la mayoría de los casos

representan la solución más efectiva en términos de costos para el manejo de flujos de masas de material a granel a través de distancias de transporte cortas y medianas. A pesar de que los costos de operación de las correas transportadoras ya son ventajosos, siempre existe el deseo de reducirlos aún más.

Las fuentes publicadas sostienen que, para equilibrar el nivel de llenado, debe controlarse la velocidad de la correa en conformidad con la carga. Esto debiera resultar en una disminución del consumo de energía. “Según las publicaciones, da la impresión que es posible lograr una reducción del consumo de energía de hasta el 30% si, al controlar la velocidad de transporte”(Lauhoff, 2005Pág. 49).

Por otro lado en el mundo existe el problema energético en la producción del hormigón, el mismo que es muy utilizado en toda obra civil.

En la empresa hormigonera Napo de la ciudad de Latacunga existe un sistema de mezclado de componentes para la elaboración de hormigón, lo cual se realiza por medio de bandas transportadoras, estas bandas transportadoras para su movimiento necesitan de motores los cuales presentan un consumo energético en dependencia de la carga y cantidad de material.

### **1.2.3. Fundamentación teórica**

Las bandas y rodillos transportadores son elementos auxiliares de las instalaciones, cuya misión es la de recibir un producto de forma más o menos continua y regular para conducirlo a otro punto. “Existen un gran número de variables que nos permiten escoger correctamente una banda transportadora requerida para un determinado proceso”(Torres & Prieto, 2010, Pág. 36).

Entre las más importantes y comunes se tienen:

- Material a transportar: Características, temperatura, etc.
- Capacidad y peso.
- Distancia de transporte.
- Niveles de transporte.
- Condiciones ambientales.
- Recursos energéticos.
- Recursos financieros (Presupuestos).

### **1.2.3.1. Clasificación de las bandas transportadoras**

Según el Catálogo Camprodón Transportadores manifiesta: Los valores de carga de cada modelo están sujetos a variaciones según condiciones de trabajo: velocidad, número de arranques por hora, inclinación, acumulaciones de producto, desviadores, etc. “De acuerdo al tipo de materiales que van a manipularse, existen dos grandes grupos de transportadores(Patiño-Arcila, 2014, Pág. 96), ellos son:

- Banda para manejo de productos sueltos o a granel.
- Banda para el manejo de productos empacados o cargas unitarias”.

Cada banda transportadora posee sus propias características dependiendo del tipo de empresa, pues las actividades, medioambiente, espacio, necesidades y manejo de material es serán diferentes incluso para empresas que pertenecen a un mismo ramo de la producción, siendo esta la razón principal por la cual se debe dar la importancia respectiva al momento de seleccionar la banda transportadora, ya que de esto dependerá el transporte eficiente de materiales.

Las bandas trasportadoras utilizadas con más frecuencia en la industria se describe en los siguientes acápite:

#### **Bandas transportadoras de goma:**

Son muy utilizadas para el transporte tanto interior como exterior de todo tipo de productosogranel.Sefabricanconnúcleotextildepoliésterynylonqueles confiere una gran resistencia a la rotura y al impacto del material, además, permiten pasar fácilmente de transporte horizontal a vertical o viceversa.

En función de tipo, número de lonas y características de la cobertura, se adaptan a las condiciones más adversas de transporte (materiales abrasivos, cortantes, fuertes impactos, altas temperaturas, etc.).

Las bandas transportadoras de goma están compuestas interiormente de una carcasa formada por capas de tejido engomado constituida por hilos de poliéster en sentido longitudinal y por hilos de nylon en dirección transversal.

#### **Bandas transportadoras de PVC:**

Se emplean para el transporte interior de productos manufacturados o a granel, en la mayoría de los sectores industriales: alimentación, cerámica, madera, papel, embalaje, cereales, etc.

Fabricadas con núcleo textil de poliéster pero con coberturas de PVC, poliuretano o silicona.

Según el tipo de productos a transportar se determinará la calidad de la cobertura:

- Blanca alimentaria (PVC o Poliuretano).
- Resistentes a grasas y aceites vegetales, animales o minerales.
- Resistente a la abrasión.
- Resistente a los cortes.
- Antillama.
- Antiestáticas permanentes.

#### **Bandas transportadoras modulares:**

Se fabrican con materiales FDA (Polietileno, polipropileno y poliacetal), permite un amplio rango de temperatura de utilización (-70 a 105 °C). Y presentan las ventajas de su fácil manipulación, limpieza y montaje a la vez de una gran longevidad. Sus principales aplicaciones son:

- Congelación.
- Alimentos.
- Embotellado.
- Conservas.

#### **Bandas transportadoras de valla metálica:**

Fabricadas en distintos metales y aleaciones, generalmente están constituidas por espiras de alambre unidas entre sí por varillas onduladas o rectas. Permiten su utilización en aplicaciones extremas de temperatura (de -180 °C a 1200 °C) cuando hay corrosión química o están expuestas al medio ambiente.

Tanto por los materiales empleados como por los tipos de banda, las posibilidades de fabricación son infinitas y las aplicaciones más usuales son:

- Congelación – enfriamiento.

- Hornos.
- Sinterizado.
- Filtrado.
- Lavado.

### **Bandas transportadoras de teflón y silicona:**

Su composición a base de tejido de fibra de vidrio con impregnación de teflón o silicona les confiere gran antiadherencia, resistencia frente a agentes químicos como ácidos y disolventes, resistencia térmica (de -60 °C a 260 °C). Sus principales campos de aplicación son:

- Bandas para túneles de serigrafía, secaderos, selladoras, hornos de acción en continuo.
- Recubrimiento de tolvas y superficies para facilitar el deslizamiento.
- Aislante eléctrico.
- Manipulación de productos pegajosos y adhesivos.

### **1.2.3.2- Consideraciones teóricas establecidas para los transportadores de banda.**

Según Sierra-Pérez, R. J. (2009) El ahorro de energía se garantiza mediante el control de varios parámetros tecnológicos y de la ingeniería de diseño del transportador sin embargo, aún no se ha considerado durante el diseño la mejora de la metodología de cálculo con respecto a: la determinación de la resistencia en los tramos curvos, la selección de la velocidad deseada, la determinación de las dimensiones y geometría de la artesa, el recorrido del transportador y el procedimiento de ubicación del accionamiento a lo largo del perfil.

Las resistencias en los tramos rectos horizontales e inclinados se determinan por la expresión (Sierra-Pérez, 2009):

$$W_{n,n-1}^c = [(q_c + q_b) \cdot \cos \beta_{n,n-1} + q_r^c] \cdot \omega' \cdot l_{n,n-1} \pm (q_c + q_b) \cdot \text{sen} \beta_{n,n-1} \cdot l_{n,n-1} \quad (2.1)$$

$$W_{n,n-1}^v = [(q_b) \cdot \cos \beta_{n,n-1} + q_r^v] \cdot \omega' \cdot l_{n,n-1} \pm (q_b) \cdot \text{sen} \beta_{n,n-1} \cdot l_{n,n-1} \quad (2.2)$$

Dónde:

- $W_{n,n-1}^c$  y  $W_{n,n-1}^v$  - fuerza de resistencia al movimiento en los tramos cargados y vacíos respectivamente;
- $N$ ,  $q_b$ : peso lineal de la banda;  $N/m$ ,  $q_c$ : peso lineal de la carga;
- $N/m$ ,  $q_r^c$ : peso lineal de los rodillos de apoyo en la rama cargada;
- $N/m$ ,  $q_r^v$ : peso lineal de los rodillos de apoyo en la rama vacía;
- $N/m$ ,  $l_{n, n-1}$ : longitud del tramo que se analiza;
- $m$ ,  $\beta_{n, n-1}$  : ángulo de inclinación del tramo que se analiza; grados.

El signo (+) es cuando el movimiento es hacia arriba y el signo (-) cuando el movimiento es hacia abajo,  $\omega'$  : coeficiente generalizado de resistencia al movimiento. Se determina de forma experimental,  $a_b$ : aceleración de la banda,  $m/s^2$ ,  $k_i$ : coeficiente que toma en consideración la influencia de las masas en rotación  $k_i > 1$ .

### **Factor de forma de la carga en un transportador de banda**

El factor de forma de la sección de la carga a granel que se deposita sobre una banda plana de un transportador, es una variable que interviene en forma directa en el cálculo de los principales parámetros geométricos y de operación de dicho transportador, dentro de los cuales destaca el área de la sección de la carga, la productividad o capacidad de carga del mismo, el ancho de la banda, entre otros.

Este factor de forma es un parámetro asociado a la geometría de la sección de la carga y en la actualidad esta relación se establece a través del ángulo de reposo del material que se transporta. Sin embargo, en toda la literatura revisada no se encontró ninguna especificación que permita caracterizar de forma precisa y directa la geometría de la sección de la carga a granel depositada sobre una banda plana de un transportador y tampoco se registran expresiones que permitan establecer de manera precisa el referido factor de forma.

El objetivo del presente capítulo es establecer una caracterización del tipo de geometría de la sección de la carga referida, en función de los ángulos máximo  $\varphi_m$  y tangencial  $\varphi_t$ , siendo  $\varphi_m$  el ángulo que se forma entre la horizontal y la línea que une a uno de los extremos en la base de la carga y el punto de máxima altura



Para lo que:

$$h = \left(\frac{b_0}{2}\right) \cdot \tan(\varphi_m) \quad \dots \quad 1.4$$

Al sustituirla en la ecuacion 2.3, se obtiene:

$$A = \frac{b_0^2 \cdot \tan(\varphi_m)}{4} \quad \dots \quad 1.5$$

Para este caso se establece como factor de forma  $K_f$  al término  $\frac{\tan(\varphi_m)}{4}$  que multiplica a  $b_0^2$ .

**Caracterización de la geometría parabólica y fórmula de cálculo del área correspondiente.**

En este caso el área de la sección transversal de la carga corresponde a la comprendida entre el contorno de la carga y su base, como se observa en la figura 1.3.

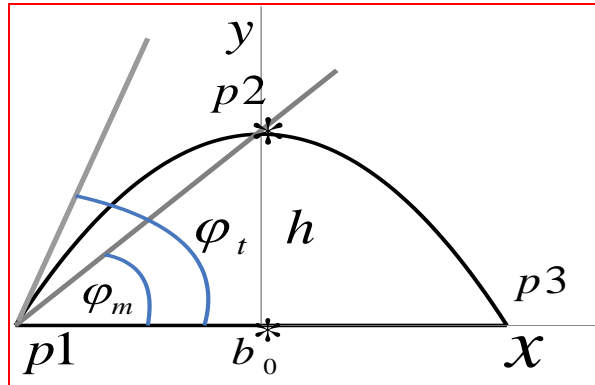


Figura 1.3. Carga en reposo de sección parabólica.

Esta curva puede considerarse como una parábola de orden  $n$  cuya ecuación corresponde a (Swokowski, 2002):

$$y = -a \cdot (x)^j + c \quad \dots \quad 1.6$$

Al evaluar esta ecuación en los puntos  $p_1, p_3, p_2$ :

Para  $p_1 = \left(-\frac{b_0}{2}, 0\right)$







indisciplinas tecnológicas en la producción, transporte y vertido del hormigón.

2. Considerar medidas como análisis preliminar de los consumos de energía eléctrica específica real, formular un programa que garantice el ahorro y uso racional de combustible.
3. Instaurar con aspectos claves el consumo eléctrico de las plantas procesadoras de hormigón, consumos específicos de portadores energéticos con portador el consumo de combustible diesel.

Una vez establecido las acciones, considerado las medidas y los aspectos claves, con un análisis de consumo se determinará si con lo considerado a disminuido substancialmente el consumo de combustible en el proceso de producción de hormigón, además se propondrá suprimir el sistema de transportación y diseñar una criba para que la alimentación de los agregados del hormigón al proceso de mezclado se lo haga por gravedad y de esta manera evitar los gastos innecesarios de combustible y de mantenimiento de los equipos.

### **1.3.2. Viabilidad teórica y práctica**

El análisis en establecer acciones como la extensión del empleo de los aditivos químicos, mejoramiento en la calidad de áridos, eliminación de las disciplinas tecnológicas en la producción, transporte y vertido del hormigón, considerar medidas como análisis preliminar de los consumos de energía eléctrica específica real, formular un programa que garantice el ahorro y uso racional del combustible así como el de instituir con aspectos claves el consumo eléctrico de las plantas procesadoras de hormigón, consumos específicos de portadores energéticos con portador el consumo de combustible diesel, es totalmente viable si el propósito es el de disminuir el consumo de combustible en el proceso de conformación del hormigón en una industria hormigonera; además si el sistema de transportación se suspendiera con la construcción de una criba que adhiera los agregados al área de mezclado por medio de gravedad se garantizaría el consumo de diesel en el proceso de transportación de las materias primas para el hormigón.

## **1.4. Bases teóricas particulares de la investigación**

### **1.4.1. Variables de la investigación**

Variable independiente

Demanda Energética

La eficiencia energética es como aprovechar de mejor manera la energía producida o a su vez ver recursos que puedan hacer que esta se renueve.

Variable dependiente

Eficiencia Energética

Al hablar de un bajo consumo de combustible o una fuente de combustible que abarate los costos en el consumo térmico de motores de combustión interna, estamos ahorrando dinero, y si es una energía renovable estamos siendo amigables con el planeta.

**1.4.2. Operacionalización de las variables**

Cuadro 1.2 Variable Dependiente: eficiencia energética en el portador electricidad del sistema de transportación de la Hormigonera Napo.

Concepto	Categoría	Indicadores	Item	Técnicas	Instrumentos
Es optimizar la energía utilizada y lograr los mismos objetivos planteados.	Pérdidas de energía	Potencia eléctrica	kW	Medición	Analizador de red
	Eficiencia energética	Consumo de energía eléctrica	kWh	Cálculos	Ecuaciones
	Prefactibilidad	Costo	\$	Cálculos	Ecuaciones

Fuente: Elaboración Propia, ACURIO León, Carlos Manuel, 2015.

Cuadro 1.3 Variable Independiente: Demanda de energía en el sistema de transportación de Hormigonera Napo

<b>Concepto</b>	<b>Categoría</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Item</b>	<b>Técnicas</b>	<b>Instrumentos</b>
Gasto total de combustible, consumido el proceso de fabricación y transporte de hormigón en un periodo determinado.	Índice de Consumo de combustible	Consumo total específico de diésel en el sistema moto-generador	(kg/m3)	Medición	Comparación de normas
	Prefactibilidad	Costo	\$	Cálculos	Ecuaciones

Fuente: Elaboración Propia, ACURIO León, Carlos Manuel, 2015

## **CAPÍTULO II**

### **2. METODOLOGÍA**

#### **2.1. Caracterización**

El proyecto es desarrollado en la empresa Hormigonera Napo, la cual se dedica a comprar las materias primas, es decir los agregados del hormigón como grava, arena, cemento y aditivos, para luego de una dosificación mezclarlos y distribuirlos dentro de la provincia de Cotopaxi.

El proceso de dosificación de los agregados del hormigón principalmente la grava y la arena se da por medio de un sistema de bandas transportadoras que funcionan con motores eléctricos que son alimentados por un sistema de generación que funciona por medio de un motor de combustión interna que es alimentado por combustible diesel; estas bandas transportadoras dirigen este materia prima hasta el proceso de mezclado, en donde con agua y aditivos se fusionan y se obtiene el hormigón húmedo indispensable en las obras civiles que se desarrollan en la provincia.

Las bandas transportadoras tiene las siguientes características tienen 48 pulgadas de ancho, la longitud de la banda en la estructura de apoyo es de cuatro metros se encuentra a 45 grados de inclinación, las dos estructuras de transportación poseen las mismas características.

La investigación procura aprovechar, de mejor manera, la energía producida y a su vez ver explotar, de manera eficiente, los recursos de que se dispone pueden hacer que esta se renueve. En este capítulo se pretende establecer los materiales y la metodología que permitan correlacionar el gasto de energía de los transportadores de banda. Los ensayos, del ángulo más apropiado para el transporte del material, constituyen una herramienta que permite observar el comportamiento de componentes de máquinas cuando la rotura se produce sin ninguna causa aparente o no es perceptible a simple vista.

Los aspectos que definen la eficiencia energética en la producción industrial del hormigón en la planta Napo de forma estandarizada son los siguientes:

1.- El consumo eléctrico de las plantas preparadoras de hormigón, así como la productividad en dependencia del consumo específico de electricidad, en  $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$  de hormigón producido.

2.- El índice energético específico (por metro cúbico de hormigón producido) de la planta juegan un papel fundamental: Su estado técnico general, su grado de automatización y el nivel de organización logrado en el proceso productivo de la instalación.

3.- Comparación de los consumos específicos de energía, en el cual se podrá establecer aspectos claves para la reducción del consumo de combustible.

### **Diseño de experimento:**

Para determinar el causal del sobre consumo de combustible la variable a manipular será la eficiencia energética en el portador electricidad en el sistema de transportación de los agregados del hormigón ya que este sistema funciona con un sistema motor de combustión interna mecánicamente conectado a un generador y brindar la energía necesaria a las bandas transportadoras y el resto de facilidades eléctricas para su funcionamiento de la planta de hormigones, se utilizará como medio un software para el cálculo y dimensionamiento de bandas transportadoras el mismo que es producto de la investigación doctoral del Phd. Roberto Sierra Pérez (2010), el cual fue desarrollado en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa Cuba, y gracias a este paquete informático se determinará si la demanda energética en el sistema y el diseño de las bandas son las adecuadas.

Si se determinase que el sistema abastece según especificaciones del fabricante se diagnosticará el motor de combustión interna del grupo electrógeno y si este se encuentra en óptimas condiciones para la producción de energía eléctrica según la demanda de la Planta de hormigones.

Si se determinase que la causa del alto consumo de combustible es el sistema de transporte de los agregados del hormigón adicional se propondrá la reestructuración de este sistema el mismo que funcionase aprovechando la gravedad, en donde se necesitará la construcción de una criba, la adecuación de

una zanja donde ingrese el camión hormigonera y la reubicación del silo de cemento, tanque de aditivos y tanque de agua y de esta manera estaría garantizado el ahorro del combustible en el proceso de obtención del hormigón.

## **2.2. Técnicas para la obtención de datos**

Las principales técnicas de investigación e instrumentación que garantizan la recolección de los datos son:

- La observación
- La entrevista

Para nuestra investigación utilizamos la observación y la entrevista.

Observación directa sobre los objetos del estudio (planta de hormigones, sus accesorios y componentes).

Entrevista (preguntas para facilitar la recolección de información)

### **Empleo de la observación**

Fue una técnica en la cual se observó atentamente el fenómeno, hecho o caso, se tomó información y se registró para su posterior análisis por medio de los siguientes pasos:

Se utilizará paquetes informáticos para la determinación del diseño del sistema de transportación de la hormigonera.

Se verificará parámetros en la calidad de la energía eléctrica utilizando instrumentos de medición específicos para el caso, en este sería el analizador de Calidad de la Energía eléctrica Trifásica PowerPad modelo 3945-B.

También serán tomados parámetros en el motor de combustión interna que utiliza de combustible diesel y para eso se utilizará el medidor de compresión marca Fosn para motores diesel con adaptadores.

### **Características de la entrevista**

Fue una técnica para obtener datos que consistió en un diálogo entre dos personas: El entrevistador “investigador” y el entrevistado; se realizó con el fin de obtener información de parte de este, que por lo general, fue una persona entendida en la materia de la investigación.

### **Confiabilidad y validez de los instrumentos:**

La confiabilidad de los instrumentos vendrá dado por la aplicación de una prueba piloto, antes de su aplicación definitiva para detectar posibles errores en las preguntas seleccionadas.

La validez de los instrumentos vendrá dada por la aplicación de la técnica denominada “juicio de expertos”.

### **Recolección de información:**

El plan de recolección de información contempla:

- Selección de las técnicas a emplear en el proceso de recolección de información.
- Definición de los sujetos personas u objetos que van a ser investigados que fundamentan la investigación.

### **Procesamiento de información:**

Es necesario prever el procesamiento de la información a recorrerse:

- Revisión crítica de la información recogida, es decir limpieza de información defectuosa: contradictoria, incompleta no pertinente, etc.
- Repetición de la recolección, en ciertos casos individuales, para corregir fallas de contestación.
- Tabulación o cuadros según variables de cada hipótesis cuadros de una sola variable, cuadro con cruce de variables, entre otros.
- Manejo de información (reajuste de cuadros con casillas vacías o con datos.

### **Instrumentos de medición utilizados**

Para la adquisición de datos se ha hecho referencia a la Regulación 004/001 del CONELEC, en donde se estipula el procedimiento a seguir para la obtención de las mediciones; en efecto, el equipo empleado fue el Analizador de Calidad de Energía Eléctrica Trifásica PowerPad modelo 3945-B.



Figura 2.1: Analizador de calidad de energía trifásico POWERPAD MODELO 3945-B  
Fuente: Catálogo POWERPAD INSTRUMENTS (2009)

### **2.2 Procedimiento del diagnóstico de la demanda de energía**

Los motores eléctricos son los componentes de mayor consumo de energía eléctrica en plantas industriales. Aproximadamente entre el 60 y 70 % del consumo de energía eléctrica de una industria corresponde a equipos electromotrices tales como ventiladores, bombas, compresores, bandas transportadoras, etc.

Es evidente el gran impacto de los motores eléctricos en el consumo de energía en el sector industrial, por tanto, resalta la importancia de identificar y evaluar oportunidades de ahorro de energía en ellos. Sin embargo, es necesario determinar con precisión el estado energético actual de los mismos

(factor de carga, eficiencia, factor de potencia, antigüedad, etc.) y conocer sistemas alternativos como son motores de alta eficiencia y variadores de frecuencia entre otros.

La función de un motor eléctrico es convertir la energía eléctrica en energía mecánica para realizar un trabajo útil. En la transformación una parte de la energía eléctrica tomada de la red se convierte en calor, constituyendo una pérdida inherente al motor, ver Figura N 2.4.

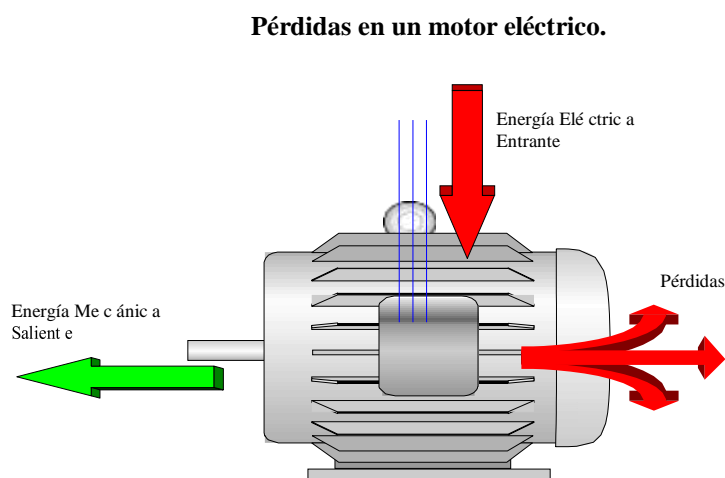


Figura 2.2: Motor eléctrico indicando pérdidas de energía

Fuente: Manual motores eléctricos Siemens (2009)

Las pérdidas de un motor eléctrico, pueden ser desglosadas en 5 principales áreas, cada una de estas depende del diseño y construcción del motor. Estas pérdidas se clasifican en aquellas que ocurren cuando el motor está energizado y permanecen para un voltaje y velocidad dados, y las que se dan en función de la carga del motor.

**Eficiencia.** La eficiencia de un motor es la relación entre la potencia mecánica de salida y la potencia eléctrica de entrada. Este es el concepto más importante desde el punto de vista del consumo de energía y del costo de operación de un motor eléctrico.

**Factor de Carga.** La potencia nominal de un motor eléctrico indica la potencia mecánica de salida o en el eje que es capaz de entregar el motor, el factor de carga es un índice que indica la potencia que entrega el motor cuando se encuentra ya en operación con relación a la que puede entregar. Así un motor de potencia nominal de unos 10 HP que trabaja solo 5HP entonces este estará trabajando al 50%.

**Factor de Servicio.** El factor de servicio es un indicador de la capacidad de sobrecarga que puede soportar un motor eléctrico, como ejemplo el valor de 1.1 significa que el motor puede trabajar al 110%; sin embargo esto no quiere decir que tenga que trabajar continuamente a ese valor, el factor de servicio debe entenderse como una capacidad adicional que posiblemente se llegue a ocupar en muy raras ocasiones, de hecho los motores sobrecargados reciben mayor corriente eléctrica que la nominal, calentándose en mayor medida y reduciendo notablemente su vida útil, además de bajar la eficiencia de su operación.

**Potencia adecuada del motor.** En virtud de que la mayoría de los motores eléctricos presentan su mayor eficiencia al 75% de factor de carga, es conveniente que la elección de la potencia de un motor sea para que este trabaje al 75 % de carga. Así trabajara en el rango de alta eficiencia y tendrá un 25% de capacidad adicional para soportar mayores cargas de trabajo, evitando también el sobrecalentamiento del motor.

**El Par en Motores de Eléctricos.** Existen varios tipos de motores, cada uno con características particulares que permiten obtener un servicio específico y particular, el par es uno de los factores que los caracteriza.

El término par del motor se refiere al torque desarrollado por éste. El par motor se expresa y se mide en Newton por metro (Nm); un par de 20 Nm, es igual al esfuerzo de tracción de 20 Newtones, aplicado a un radio de un metro.

El par a plena carga es el necesario para producir la potencia de diseño a la velocidad de plena carga. El par a plena carga de un motor es a la vez base de

referencia, el par de arranque y el par máximo se comparan con él y se expresan en la forma de un cierto porcentaje del par a plena carga.

Para el análisis de motor diésel se utilizó el medidor de compresión mostrado en la figura 2.3



Figura 2.3: Medidor de compresión marca FOSN para motores diesel con adaptadores.

Fuente: Catálogo FOSN TOOLS (2001)

### **Rápida descripción sobre los motores de combustión interna**

Un motor de combustión interna tipo Otto es un tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química producida por un combustible que arde dentro de una cámara de combustión, la parte principal de un motor.

Podemos decir que los motores de combustión interna han sido un invento que revoluciona la forma de vida del humano, sin embargo los cambios que han surgido recientemente han creado nuevas necesidades, en las cuales sea más eficiente y menos contaminante, aunado a la carencia de combustible para este, a pesar de que las soluciones a estos problemas se han visto ralentizadas por diversas circunstancias si han surgido avances, cabe mencionar que el principio de cómo funciona este motor, se ha preservado en las diversas soluciones, tal y como el biodiesel o el de quema de hidrogeno y aunque en cuestión de eficiencia deja mucho que desear sin él sería difícil que hubiéramos tenido tantos avances. Podemos concluir diciendo que a pesar de las desventajas este motor persistirá y lo seguiremos viendo y utilizando en el futuro.

Para conocer si el motor de combustión interna presenta fallas, se lo puede realizar primero visualizando como está las emisiones en su escape con la coloración de humo que este emana, el consumo de aceite, si estos factores no se encuentran en parámetros normales entonces queda por tomar mediciones de compresión en los cilindros del motor para saber si este necesita una reparación.

Un aspecto a tener en cuenta en la eficiencia energética en las hormigoneras es la utilización de las bandas transportadora en este caso se utilizó un software para el cálculo y dimensionamiento de las bandas, el mismo tienen en cuenta la metodología de bandas transportadoras recogida en el capítulo 2.



Figura 2.4: Software para el cálculo y dimensionamiento de las bandas

Fuente: Sierra Pérez Roberto (2010)

### **Zona de estudio**

Planta Hormigonera de Napo en la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi. Lugar donde se emplea el mezclado de materiales como son la arena, el cemento, la grava y el agua, entre otros, para obtener una mezcla lo más homogénea posible que permita ser utilizada en la construcción de edificaciones.

Anexo 1.



Figura 2.5 Planta Hormigonera de Napo  
Fuente: Empresa Napo (2015)

### **Población y muestra**

Se considera como población al personal de la Planta Hormigonera de Napo en la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi, Ecuador.

- Gerente General.....1
- Personal de Mantenimiento.....3
- Jefe de Producción.....1
- Despachador de combustible Estación Servicios Latacunga....1

TOTAL: 6

Como el universo a investigar es pequeño, se trabajará con toda la población.

La planta de hormigones se encuentra distribuida de la siguiente manera como se puede apreciar en la figura 2.6

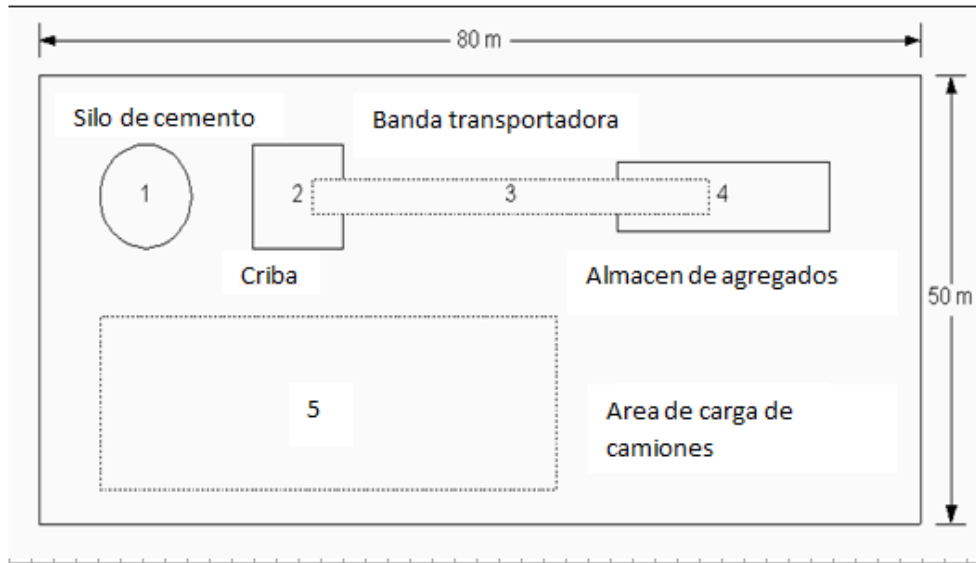


Figura 2.6. Distribución de planta  
Fuente: Empresa Napo (2015)

## **CAPITULO III**

### **3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

En el presente capítulo se analizará e interpretará los datos emitidos por los instrumentos mencionados en la metodología de la investigación. Los resultados demostrarán la necesidad de la propuesta a realizar.

#### **3.1 Entrevista y resultados obtenidos**

A continuación se detalla la entrevista realizada al personal Administrativo y operativo de Hormigonera Napo, ya que el universo es pequeño se consideró trabajar con toda la población.

##### **3.1.1.- Resultado de la entrevista realizada en la empresa.**

Las personas entrevistadas en cuestión son 6 en nuestra población que pertenecen al personal de mantenimiento de Hormigonera Napo.

#### **Entrevistas realizadas al Gerente de Hormigonera Napo:**

##### **Pregunta N. 1:**

¿Cómo Gerente de Hormigonera Napo está al tanto del consumo de combustible?

##### **Resumen de la respuesta:**

Por supuesto que se cuál es el costo que me representa el combustible en la empresa ya que se genera un cheque a favor de Estación de Servicios Latacunga, le podría decir que en relación a la utilidad de la hormigonera el consumo de combustible es proporcional.

### **Análisis**

Se establece que la persona entrevistada es la necesaria para cumplir con las expectativas de esta pregunta.

### **Interpretación**

Según el análisis estructurado un 60% se diría que es satisfactorio, ya que el Sr Gerente acepta que si es elevado el costo de consumo de combustible en la planta de hormigones, pero justifica diciendo que el consumo de combustible es proporcional a la ganancia, en lo cual se da un 40% como incertidumbre al consumo de combustible.

### **Pregunta N. 2:**

¿Cree Ud. que si el sistema motor-generador de la planta de hormigón estaría bien seleccionado consumiría menos combustible?

### **Resumen de la respuesta:**

Según mi criterio tal vez si funcionaría si se establecería en forma correcta el estudio de la demanda energética en mi planta hormigonera; además por curiosidad he preguntado en plantas de hormigones de similares características a la que dirijo y en la ciudad Machachi descubrí que una de ellas consume al menos un 10% menos de lo que consume hormigonera Napo.

### **Análisis**

Se establece que la persona encuestada es la necesaria para cumplir con las expectativas de esta pregunta.

### **Interpretación**

El 80% de probabilidad de la pregunta mencionada es satisfactoria, y el 20% es como incertidumbre en la espera de un estudio para estar seguro si no está bien seleccionado el grupo electrógeno.

**Entrevista realizada al Sr. Franklin Maldonado electricista en Hormigonera Napo:**

**Pregunta N. 1:**

¿Se encuentra en perfecto estado los sistemas electro-mecánicos en la hormigonera?

**Resumen de la respuesta:**

En el sistema de control automático algunos grupos de contactores e instalaciones están defectuosos, ver anexo 2, pero la demanda de hormigón a los pedidos a realizarse nos impide parar para realizar un mantenimiento correcto a este.

**Análisis**

Se establece que la persona entrevistada es la necesaria para cumplir con las expectativas de esta pregunta, gracias a sus conocimientos de electricidad.

**Interpretación**

Según el análisis estructurado por los problemas que puede representar que los sistemas de control no se encuentren actuando de correcto modo la respuesta es en un 80% no satisfactoria, y un 20 % por justificar que no se puede parar para darle el debido mantenimiento.

**Entrevista realizada al Sr. Gonzalo Tacuri Mecánico General”:**

**Pregunta N. 1:**

¿Los motores diésel se encuentran en perfecto estado?

**Resumen de la respuesta:**

El trabajo continuo exige ya reparación en los vehículos y maquinaria de la empresa, pero si la producción para no se puede llegar a satisfacer al cliente, se podría decir que se puede dejar solo en ejecución a las máquinas pero no repararlas a un 100%

## **Análisis**

Se establece que la persona entrevistada es la necesaria para cumplir con las expectativas de esta pregunta, ya que un mecánico con experiencia tiene el conocimiento técnico de todos los tipos de forma de generación de energía eléctrica.

## **Interpretación**

Según el análisis estructurado los motores de combustión interna son fundamentales en el sistema de producción y transporte del producto terminado por eso se interpreta con un 85% como no satisfactorio y el 15% por la justificación de no poder parar la producción por la demanda que se requiere cubrir.

## **Entrevista realizada al Sr Ing. Santiago Atiaga Jefe de Producción:**

### **Pregunta N. 1:**

¿En los costos de producción se estima el consumo de combustible?

### **Resumen de la respuesta:**

Claro que si se toma en cuenta los elevados costos que nos representa el combustible en la empresa, me parece excelente el estudio energético que se encuentra elaborando en la planta a la cual trabaja

## **Análisis**

Se establece que la persona entrevistada es la necesaria para cumplir con las expectativas de esta pregunta, ya que un Ingeniero Industrial que tiene conocimientos claros sobre los costos en la empresa.

## **Interpretación**

Según el análisis estructurado la respuesta es satisfactoria al exponer que si es tomado en cuenta el costo del combustible en los costos de producción, por lo tanto el 100% es satisfactorio.

## **Entrevistas realizadas al Sr. Héctor Salazar Despachador de combustible de Estación de Servicios Latacunga:**

### **Pregunta N. 1:**

¿Cuál es el costo semanal en el consumo de combustible de Hormigonera Napo?

### **Resumen de la respuesta:**

Hormigonera Napo consume 44 galones de combustible diarios según el registro que se dispone para clientes. Donde se evidencia un sobre consumo de combustible.

### **Análisis**

Se establece que la persona entrevistada es la necesaria para cumplir con las expectativas de esta pregunta.

### **Interpretación**

Según el análisis estructurado la pregunta recopila toda la información requerida por lo tanto el 100% es como satisfactorio.

### **3.2.- Resultado del Diagnóstico energético aplicado al objeto de estudio.**

La elevación de la eficiencia energética en la producción industrial de hormigón, requiere en primer lugar el lograr la caracterización de este sistema de forma integral y se han ido dando pasos importantes para lograr esta integralidad, que depende de factores no sólo tecnológicos, sino también aprovecha las reservas que nos aporta la actividad de investigación-desarrollo, la innovación tecnológica, la capacitación de la fuerza laboral y el control administrativo.

Es indispensable efectuar la caracterización energética de la producción industrial del hormigón en Ecuador e indicar de forma clara y precisa sus aspectos “claves”, lo que sería la base para el establecimiento de un sólido sistema de gestión energética.

La producción industrial del hormigón por sí misma constituye un avance indiscutible por la elevación de la calidad y del desempeño de los hormigones producidos en comparación con la preparación del hormigón a pie de obra en hormigoneras estacionarias, pues reduce las dispersiones e incrementa el rendimiento del cemento en la producción del hormigón, permite la introducción de la automatización y con ello la eliminación del error humano en la medición de las materias primas y en especial del cemento y centraliza el almacenaje de las materias primas (cemento y áridos) y reduce notablemente las pérdidas a través de un control metrológico mucho más riguroso y completo.

El indicador nacional promedio para obtener un MWh de energía eléctrica (entregado al usuario directo, que incluye las pérdidas por transmisión y distribución), según Howland-Albear (2008), es de 0,36131 tcc. Para la hormigonera se tomarán las mediciones de los datos del consumo específico promedio de energía (en kWh/m<sup>3</sup>) y de combustible (en kgcc) para tres productividades diferentes (nivel bajo: 16 m<sup>3</sup>/h; nivel medio: 32 m<sup>3</sup>/h; nivel alto: 64 m<sup>3</sup>/h).

En el índice energético específico (por metro cúbico de hormigón producido) de las plantas productoras de hormigón juegan un papel fundamental: Su estado técnico general, su grado de automatización y el nivel de organización logrado en el proceso productivo de la instalación.

El transporte a distancia de la mezcla fresca de material, que caracteriza al hormigón premezclado establece un elemento esencial para poder minimizar el consumo energético del hormigón producido industrialmente. En el caso concreto del transporte el consumo energético está dado por el gasto en portadores energéticos (especialmente diésel) de los camiones hormigoneras utilizados en la planta. Anexo 3.

Un camión hormigonera de la planta de 5 m<sup>3</sup> de capacidad de transporte de mezcla fresca de hormigón, consume aproximadamente unos 31,12 kg de diésel por cada 100 km recorridos y 5,42 kg por cada 100 km de longitud recorrida de diésel adicionales por efecto de los tiempos promedios de espera (con la tambora

en movimiento), de descarga y de limpieza de la tambora, en cada ciclo de trabajo, o sea un total promedio de 36,54 kg por cada 100 km recorrido de diésel.

Con el objetivo de llevar los indicadores de consumo energético a un solo valor único, se acostumbra a emplear como referencia la llamada “tonelada métrica de combustible convencional” y que se reconoce con las siglas: tcc. así para llevar una tonelada consumo de combustible diésel a toneladas combustible convencional (tcc), se multiplica por el factor 1,0534.

La elevación de la eficiencia energética de la producción industrial del hormigón depende también de la eficiencia que se logre en la utilización de las materias primas del hormigón que tienen a su vez un fuerte consumo energético inducido, especialmente el cemento, los áridos y el agua (las características se recogen en el anexo 4). La eficiencia en la utilización de las materias primas depende del control metrológico que se ejerza sobre las mismas y de la eficiencia de la utilización del cemento en los hormigones.

En el caso del cemento es esencial garantizar el pesaje de las rastras-silos a la entrada y a la salida de la planta preparadora de hormigón, para lo cual hay que disponer de básculas de camiones con sistema control automático de masa (balanza) y con ello se garantiza el seguimiento riguroso de las entradas y salidas de material. El consumo real del cemento en las dosificaciones a partir de la medición real en las básculas queda registrado en el sistema automático de la instalación y finalmente el control de la cantidad de cemento real en los silos de almacenaje al cierre de inventario se determina a partir de sensores colocados en los silos de cemento.

La planta de hormigones de hormigonera Napo dispone de un generador de Marca Deutz el mismo que provee de energía eléctrica a los sistemas electromecánicos en la planta, un motor de combustión interna moviliza un generador del tipo que se puede observar en la figura 3.1.



Figura 3.1: Sistema motor-generator de la planta de hormigón

Fuente: Empresa Napo (2015)

El sistema motogenerador es de 10 kW y la demanda de energía para la planta es de 11 kW, lo que genera un mayor consumo de combustible en el sistema motor-generator.

### **3.3. Simulación de las bandas que son utilizadas en la planta para evaluar su eficiencia energética.**

La planta de hormigones cuenta con bandas transportadoras las mismas que conducen los agregados hacia una tolva de pesaje, los agregados son arena, áridos, el cemento es dosificado directamente en la tolva de pesaje, el agua y al aditivo es transportado mediante bombas eléctricas.



Figura 3.2: Bandas Transportadoras

Fuente: Empresa Napo (2015)

En este sistema electromecánico que sirve para dosificar los agregados del hormigón se encuentran las siguientes cargas:

- Motor de 5.5 HP banda transportadora de áridos ver figura 4.3.
- Motor de 5.5 HP banda transportadora de arena
- Motor de 2 HP compresor de aire
- Motor de 0.5 HP bomba de agua
- Motor de 0.5 HP bomba de aditivos para hormigón
- Cableado eléctrico 50 watts
- Báscula 20 watts
- Electroválvulas 25 watts



Figura 3.3: Motor de la bandas Transportadoras

Fuente: Empresa Napo (2015)

A continuación se realiza la simulación de la banda que es utilizada en la empresa

Se determina las características del material que es transportado en nuestro caso son los agregados del hormigón.

Cuadro de productos obtenido en la explotación Minera de materiales Pétreos

Cuadro 3.1 Materiales pétreos obtenidos de cantera fuente Cantera Salache

Normas	Cod.	Nombre	Nombre Común	Tamaño Nominal mm.
ASTM	C-33	# 57	Piedra Homogenizada Gruesa	25 - 4,75
ASTM	C-33	# 67	Piedra Homogenizada Fina.	19 - 4,75
ASTM	C-33	# 3	Piedra No 3	50 - 25
ASTM	C-33	# 4	Piedra No 4	37,5 - 19
ASTM	C-33	# 56	Piedra ¾	25 - 9,5
ASTM	C-33	# 8	Chispa Fina	9,5 - 2,36
ASTM	D-448	# 78	Chispa Gruesa	12,5 - 2,36
MOP	814-2	Base Clase 1-A	Base Clase 1-A	50 - 0,075
MOP	816-3	Sub. Base Clase 1	sub.-Base Especial	40 - 0,075
			Arena no Lavada	4,75 - 0,075
			Piedra 50-100	100 - 50
			Desecho.	38 - 12

Para el caso de la Hormigonera Napo trabaja con materiales chispa fina y arena no lavada, esta empresa compra la materia prima de yacimientos de materiales pétreos de la ciudad de Salcedo, a unos 10 Km aproximadamente de su base de operaciones.

En la fig. 3.4 se puede apreciar el software para el cálculo de la banda transportadora, este sistema software es el resultado de la investigación doctoral del PhD. Roberto Sierra Pérez (2010), el cuál fue desarrollado en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa Cuba, en la investigación se propone un nuevo modelo para transporte del mineral níquel y como parte de los resultados también fue la aplicación de este paquete informático; para una análisis de la demanda de energía en el sistema de transportación de agregados del hormigón se utilizará este utilitario.

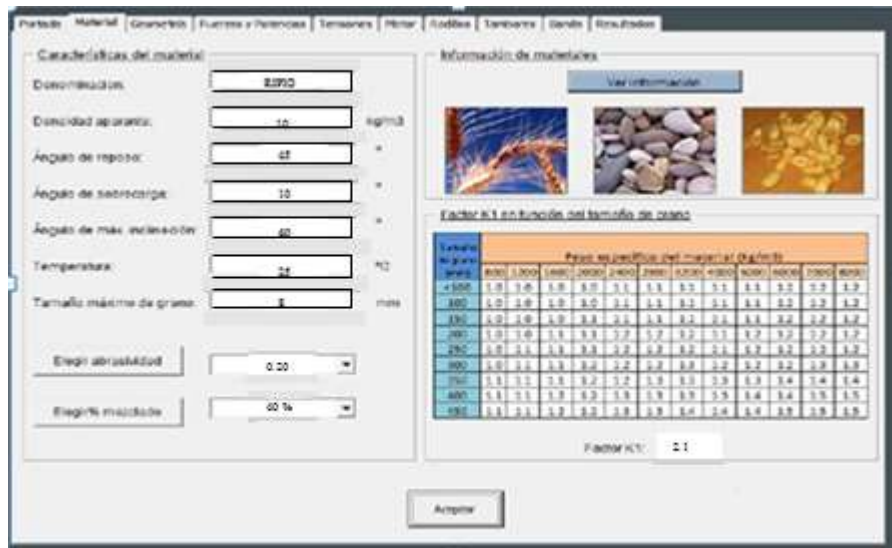


Figura 3.4: Selección del material

Fuente: Sierra Pérez Roberto (2010)

Se debe introducir las siguientes propiedades del material a transportar:

- Denominación.
- Densidad aparente.
- Ángulo de reposo, sobrecarga y máxima inclinación.
- Temperatura.
- Tamaño máximo de grano.
- Abrasividad.
- Tipo de mezcla.
- Factor de corrección debido al tamaño de grano.

Para poder obtener información de las propiedades de algunos materiales, podrá ayudarse de la ventana que aparece al pulsar el botón de información y que puede verse en la figura 4.5.

Listado de materiales

Lista de materiales y características asociadas a cada uno de ellos

Material	Densidad aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Ángulo de reposo (°)	Ángulo máx. inclinación (°)	Abrasividad	Material	Densidad aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Ángulo de reposo (°)	Ángulo máx. inclinación (°)	Abrasividad
Arroz, paddy	90	24° a 26°	8°	C	Habitación	775	24° a 26°	13°	C
Algodón, no apretado	100	35° a 45°	19°	C	Arroz blanqueado	800	24° a 26°	8°	C
Cacahuete con cáscara	280	38°	18°	C	Guisantes	800	24° a 26°	12°	C
Algodón, con su fibra	420	25° a 27°	19°	C	Madera, virutas	800	45°	27°	C
Café (granos secos)	450	24° a 26°	12°	C	Carbon	850	27° a 35°	20°	B
Mais, mazorcos pelados	480	25° a 27°	10°	C	Acero fresco	900	26° a 30°	15°	C
Coque	450	37° a 41°	18°	A	Caucho	950	-	-	C
Avena	520	27° a 29°	10°	C	Hielo triturado	990	15°	-	B
Arroz cáscara	550	24° a 26°	8°	C	Cemento	1450	29°	19°	B
Harina refinada	550	35° a 45°	20°	C	Arena	1550	28° a 30°	24°	A
Cebada	590	25° a 29°	14°	C	Grava	1600	24° a 31°	16°	A
Lino	600	24° a 26°	10°	C	Hiedra	1850	40°	20°	A
Cacahuete sin cáscara	610	26° a 30°	30°	C	Mineral Hiemo	2100	35°	19°	B
Café (granos frescos)	620	24° a 26°	12°	C	Hormigón	2450	-	-	B
Cacah. (granos secos)	635	26° a 30°	15°	C	Vidrio	2500	-	-	B
Mijo	700	24° a 26°	13°	C	Aluminio	2700	-	-	B
Café comercial	715	24° a 26°	12°	C	Tierra	5515	35°	28°	B
Arroz desascareado	725	24° a 26°	8°	C	Esterco	7310	-	-	B
Mais, granos	750	25° a 27°	10°	C	Acero	7850	-	-	B
Soya, granos	750	24° a 26°	14°	C	Cobre	8960	-	-	B
Alfalfa, granos	770	25° a 29°	14°	C	Plata	10490	-	-	B
Trigo	770	24° a 26°	12°	C	Hierro	11340	-	-	B
Cacah. fermentado	775	26° a 30°	13°	C	Oro	19300	-	-	B
Trigo, p.	775	24° a 26°	18°	C	Platina	21450	-	-	B

Figura 4.5: Listado de materiales.

Fuente: Sierra Pérez Roberto (2010)

Después de las características del hormigón se diseña la geometría de nuestra instalación así como a la capacidad de transporte del sistema.

Software para el cálculo y dimensionamiento de una banda transportadora

Bandas | Material | Geometría | Fuerzas y Pérdidas | Tensiones | Motor | Rodillos | Tambores | Servo | Resultados

Bandas

Ancho (normalizado): 427 mm

Velocidad (normalizada): 21 m/s

Tipo de rodillos: V

Ángulo de rodillos: 22-Grad

Geometría

Longitud tramo horizontal: 4 m

Proyección horizontal tramo inclinado: 5.50 m

Longitud de elevación y descenso: 5.50 m

Pendientes:

Longitud tramo inclinado: m

Longitud total (proyección horizontal): m

Longitud total (trayectoria): m

Capacidad

Capacidad requerida: 42 ton/h

Capacidad volumétrica efectiva: m<sup>3</sup>/h

Capacidad de transporte: ton/h

Coeficiente de reducción capacidad debido a inclinación: 1.00 | 0.99 | 0.98 | 0.97 | 0.95 | 0.94 | 0.93 | 0.91 | 0.89 | 0.88 | 0.85 | 0.83 | 0.81

K debido a inclinación:

Figura 3.6: Geometría de la instalación

Fuente: Sierra Pérez Roberto (2010)

Es necesario introducir los valores relacionados con la geometría y capacidad de la instalación que se muestran a continuación:

- Ancho de banda.
- Velocidad de la banda.
- Tipo y ángulo de los rodillos superiores.
- Longitud del tramo horizontal, del inclinado y del de elevación o descenso.
- Capacidad requerida.
- Coeficiente de reducción debido a la inclinación.

The screenshot shows a software window titled "Software para el cálculo y dimensionamiento de una banda transportadora". The interface is organized into several functional areas:

- Coeficiente de fricción partes giratorias:** Includes a dropdown for "eleor factor" and a table of friction coefficients for different conditions (e.g., 0.017 for standard conditions, 0.025 for unfavorable conditions).
- Coeficiente de fricción por longitud:** Features input fields for "Longitud total (proyección horizontal)" and "Coeficiente".
- Peso de partes móviles:** Contains input fields for "Peso banda", "Peso rodillos superiores", "Peso rodillos inferiores", "Espaciamiento rodillos superiores", "Espaciamiento rodillos inferiores", and "Peso total partes móviles", along with "Info." buttons for each.
- Cálculo de potencias:** Includes a dropdown for "Elegir tipo A, B ó C", input fields for "A. Longitud total guías", "B. Cantidad de carros", "A. Potencia requerida por guías de carga", and "B. Potencia requerida por carros", and output fields for "Potencia teórica total", "Eficiencia del motor", "Eficiencia de la transmisión", and "Potencia requerida".
- Cálculo de fuerzas:** Contains input fields for "Fuerza para mover banda en vacío y componentes móviles", "Fuerza para desplazar material, componente horizontal", and "Fuerza para desplazar material, componente vertical", with a "Fuerza Total" output field.

At the bottom, there are "Aceptar" and "Calcular" buttons.

Figura 3.7: Cálculos técnicos correspondientes a las fuerzas y potencias requeridas en la banda

Fuente: Sierra Pérez Roberto (2010)

Características del motor de la instalación, teniendo que ingresar un valor para la potencia del motor conociendo la mínima requerida por el sistema

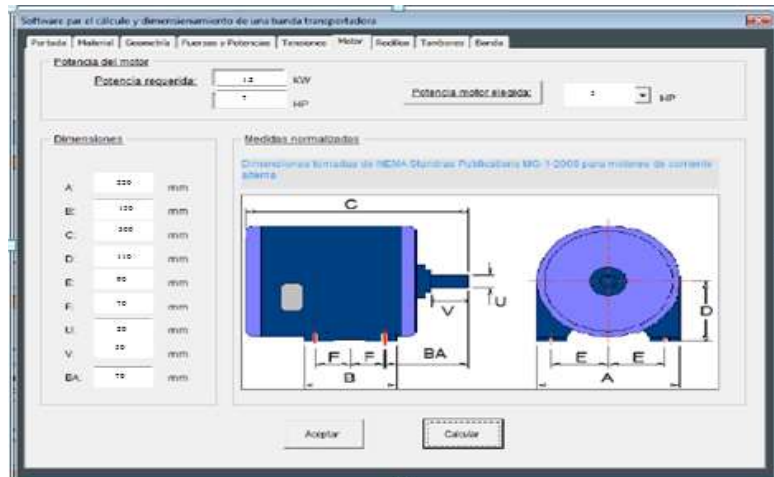


Figura 3.8: Características del motor  
Fuente: Sierra Pérez Roberto (2010)

En función de los resultados de las simulaciones realizada se considera una baja eficiencia de la misma y la necesidad de cambios en las operaciones del manejo de materiales. Estos cambios en el sistema sí reducen el costo en la fabricación. Si el precio del mercado es estable, la reducción en el costo aumenta el margen bruto y, por lo tanto, todo representa una utilidad para la planta.

Si la necesidad de un sistema de manejo de materiales es impulsada por el proceso, la seguridad o las necesidades de configuración de las instalaciones y la decisión de factibilidad es una cuestión técnica, se pueden comparar opciones efectivas y escoger aquella en que se necesite menor inversión de capital. Los sistemas que se basan en el capital deben justificarse sobre las bases del desempeño corporativo y la ventaja competitiva.

El estudio completo de los diferentes gastos relativos a un sistema de transporte nos dará la base comparativa para su selección, dentro del marco de la equivalencia técnica de su empleo con este fin calculamos los kVA en función de conocer el generador óptimo que deberíamos tener dispuesto para poner en funcionamiento el sistema de transporte instalado en la planta.

Primeramente realizamos la sumatoria de las cargas con el fin de conocer la carga total que se alimenta, pero antes tenemos que conocer que un HP = 746 watts, ya que todos los cálculos o la placa del fabricante no solamente tiene datos en HP, también los tiene en watts:

$\Sigma \text{HP} = 14 \text{ HP}$  si 1 HP = 746 watts entonces 14 multiplicamos por 746

La resultante de los watts seria: 10444 watts; pero como también tenemos cargas en vatios sumamos estas a nuestro resultado anterior es decir:

$$10444 \text{ watts} + 50 \text{ watts} + 20 \text{ watts} + 25 \text{ watts} = 10539 \text{ watts}$$

Para expresar este valor en kilowatts dividimos el valor anterior para 1000 teniendo como resultado 10,539 kW y para expresar este valor en kVA multiplicamos por 1,6 que es un constante teniendo 16.8624 aproximadamente 17 kVA, pero en esto se debe tomar en cuenta que en el tiempo de arranque es cuando más energía necesita un sistema, en lo cual se ha considerado el valor multiplicar por tres el valor de la sumatoria de las cargas ya que por lo general en el tiempo de arranque consume de dos a tres veces la potencia nominal es decir:

$$10,539 \times 3 = 31,617$$

Y este valor multiplicarlo por la constante para definir kVA y se obtiene:

$31,617 \times 1,6 = 50,58 \text{ kVA}$  aproximadamente 51 kVA la capacidad mínima del generador, de acuerdo a la demanda energética.

Según las especificaciones técnicas de la placa del generador tenemos que este es de 60 kVA, capacidad suficiente para abastecer y satisfacer la demanda energética de la planta de hormigones, pero a todo este sistema electromecánico le falta energía, ya que no es suficiente para cubrir con la demanda, por estos motivos, la planta sufre paros y por ende bajas de producción.

El sistema motogenerador utiliza un motor diésel de cuatro cilindros de 2000 centímetros cúbicos, marca DEUTZ, de fabricación Rusa, para lo cual se realiza esta investigación.

En un sistema motor generador actúa la fuerza mecánica que hace girar un alternador el mismo que produce energía eléctrica, pero a su vez para que el alternador funcione en condiciones específicas mediante el fabricante es necesario que el motor de combustión interna de este grupo electrógeno gire a

las revoluciones necesarias para obtener la frecuencia necesaria que producirá este inducido.

En el caso de estudio se tiene un grupo electrógeno de 65kVA, pero según la demanda energética calculada solamente se necesita 51kVA, y el generador no abastece esta demanda siendo que supera la instancia calculada, pero se debe ubicar el fallo si es en el alternador o en el motor de combustión interna.

Para empezar con la investigación, se procederá a investigar el mecanismo que da movimiento al alternador de generación de corriente alterna, en este caso como tenemos un sistema motor generador, verificaremos el motor de combustión interna que usa como combustible diésel, de marca DEUTZ, fabricación rusa.

#### **3.4. Procedimiento utilizado para diagnosticar el motor de combustión interna.**

Se procederá a investigar el mecanismo que da movimiento al alternador de generación de corriente alterna, en este caso como tenemos un sistema motor generador, verificaremos el motor de combustión interna que usa como combustible diésel, de marca DEUTZ, fabricación rusa.

Se procede a encender el motor, y cuando el motor arranca se puede observar en el escape de gases que son de coloración azulada, y el motor pierde potencia, siendo que esto afecta con la frecuencia de giro del alternador generador, y esto a su vez en la producción de energía eléctrica, la misma que no puede satisfacer la demanda energética para los serbo-motores que dan movimiento a las bandas transportadoras que transportan los agregados del hormigón hacia la tolva de mezclado en el camión hormigonera.

Se mantiene encendido el motor por un lapso de treinta minutos esperando que la falta de potencia sea por estar frío el motor, pero se aprecia que no es la falla por encontrarse frío el motor y no estar trabajando a plena potencia; en el arranque del motor se pudo apreciar la coloración gris espesa y con un olor aceite lubricante proveniente de los gases de escape y esa coloración permanece

así, este problema puede ser que está ingresando aceite a las cámaras, quemando este aceite y provocando esta coloración en los gases de escape producto de la combustión de la mezcla del diésel y el aceite.

Las causas que podrían presentarse por el ingreso de aceite a las cámaras de combustión se presentan a continuación:

- Tolerancia excesiva entre las guías de válvulas y los vástagos de las válvulas.
- Sellos de válvulas en mal estado.
- Rines de los pistones en mal estado.
- Desgaste general del motor.
- Posiblemente cuando hay exceso de aceite en el cárter, por haberlo llenado de manera exagerada.

En encontrar el fallo procedemos con la parte más sencilla de las posibles causas, así que probamos con la bayoneta midiendo el nivel de aceite, y se verifica que se encuentra en el nivel correcto, así que el motor necesita ser desarmado para observación de las otras posibles causas, y el proceso allí se tornaría demorado y costoso ya que el motor necesita una reparación interna ya sea empezando con desarmar los tapa válvulas para verificar si la calibración es la correcta entre las válvulas y los asientos de válvulas, si todo se encuentra en correcto estado, se procederá a desarmar el cabezote, en donde se encuentran situadas el conjunto de válvulas con sus respectivos sellos y asientos, se verificará cada uno de los componentes antes mencionados, si está en correcto estado se procederá a verificar si los cilindros presentan desgaste, si no los presentan, procedemos a retirar el cárter para observar si existe desgaste en las chapas de biela, y si no lo hay procedemos a retirar los pistones para verificar si existe desgaste en los anillos, yo como se desarmo gran parte del motor se necesita que sea desarmado en su totalidad para verificar todos los fallos y desgastes en partes que se presenten, y amerita una reparación integral, en donde la bomba de inyección deberá ser sometida a un laboratorio de bombas de inyección en un banco de pruebas y verificar si está realizando la dosificación y presión correcta de diésel a cada inyector.

Para evidenciar a ciencia cierta que el motor presenta desgaste o algún anillo roto, se debe comprobar la compresión de este, con un manómetro especial para medir compresión en motores diésel.

Según las características del motor, por tener una cilindrada de 2600 centímetros cúbicos, la presión de cada cilindro debería darnos 140 psi, si todos estos miden la misma presión, los cilindros, rines, pistones, no presentan ninguna dificultad; es decir no presenta desgaste, ni rotura de los anillos del pistón: pero puede tener otro tipo de defectos, como sistema de combustión.

Para determinar que el motor presenta desgaste, ralladuras o anillos de pistón rotos con la medida de la compresión, si presenta 20% menos del valor nominal es decir 140 psi de cilindro a cilindro, el motor necesita una reparación completa.

Para medir la compresión de cada cilindro, se debe quitar la cañería del primer inyector, para luego extraer el inyector, se coloca en el agujero el medidor de presión y se procede a darle ligeros toques de arranque (unos 5 segundos), y se toma la medida, nos marcó 140 psi, lo que determina que está en buen estado: al terminar la prueba se ensambla el inyector y la cañería de combustible, para posteriormente proceder al segundo inyector hasta terminar con los cuatro cilindros del motor.

En la experiencia de las mediciones de presión de los cilindros se determinó que el cilindro 2 presenta una medición de 80 psi y el cilindro 4 una medición de 100 psi.



Figura 3.9: Coloración de los gases de escape motor DEUTZ

Fuente: Empresa Napo (2015)

De este modo se determina que efectivamente el motor de combustión interna de combustible diésel marca DEUTZ, necesita una reparación íntegra por el motivo por el cual está perdiendo revoluciones y fuerza y esto hace que el alternador generador no tenga la frecuencia necesaria para abastecer de energía a los servo motores que alimentan de energía mecánica a las bandas transportadoras, a los sistemas electrónicos, electroválvulas, compresor de aire e iluminación.

Al identificar que la falta de demanda energética es por defectos del motor diésel DEUTZ, se pone en manifiesto a Hormigonera Napo, siendo este organismo como empresa capaz de decidir si repara el motor o lo sustituye y se tendrá en cuenta en la propuesta a realizar en esta investigación.

## **CAPITULO IV**

### **4. LA PROPUESTA**

Acciones, medidas y aspectos claves para la disminución del consumo de combustible en la producción de hormigón de hormigonera Napo.

#### **4.2- Justificación de la propuesta**

La elevación de la calidad y de la eficiencia de las estructuras de hormigón es una necesidad de primer orden. El hormigón es el principal material de construcción en Ecuador y en todo el mundo donde se estima la producción anual de algo más de un metro cúbico de hormigón por cada habitante del planeta.

Las bases para el establecimiento de un sistema de gestión energética exigen efectuar la caracterización energética de la producción industrial del hormigón e indicar claramente sus aspectos claves.

La política de descentralización del hormigón para poder disminuir los consumos energéticos en la fase de transporte a distancia de la mezcla fresca de hormigón y la necesidad de capacitación de la fuerza técnica y muy particularmente de los choferes de los camiones hormigoneras para elevar su calificación a “Maestros para la entrega del hormigón”, es decir en donde puedan acceder a este beneficio más ciudades, ya que si el centro de operaciones estuviera menos alejado de los clientes se reducirían los costos por transporte, siendo más eficientes en los costos de producción y por ende más competitivos en los precios del producto final, por ejemplo tomando en consideración los clientes de hormigonera Napo la ciudad de Pujilí es una ciudad que está creciendo y la obra civil en especial viviendas también se está incrementando más con las noticias de una eminente erupción del volcán Cotopaxi, y la consideración de este cantón como zona segura.

Otro importante aspecto es la elevación de la eficiencia en la utilización de las materias primas del hormigón que tienen un fuerte consumo energético inducido, especialmente del cemento y la necesidad e importancia de lograr una elevación de la eficiencia en el uso del cemento en la producción de los hormigones, para lo cual se indican las pautas a seguir.

### **4.3- Objetivos de la propuesta**

#### **4.3.1. Objetivo general**

Proponer acciones, medidas y aspectos claves para la disminución del consumo de combustible en la producción de hormigón.

#### **4.3.2. Objetivos específicos.**

- Establecer acciones para elevar la eficiencia en el consumo de combustible en el proceso de obtención del hormigón.
- Determinar medidas para el consumo de combustible en la producción industrial del hormigón.
- Considerar aspectos claves que definen la eficiencia energética en una planta de hormigones.

### **4.4- Estructura de la propuesta**

Iniciamos con el análisis de la demanda de las cargas, luego de conocer el consumo energético en hormigonera Napo, ya que la fuente de alimentación energética principal es el combustible diésel, que no está acorde con la producción de hormigón, además el sobre consumo de combustible que tiene por defecto el generador eléctrico el mismo que alimenta las bandas transportadoras dosificadoras de áridos, contamina el aire al quemar más combustible, lo que hace que no sea amigable con el planeta, y con las personas que trabajan en la planta, al dar solución al problema del sobre consumo de combustible, se contaminara menos y además se ahorrara dinero con el consumo necesario de diésel en la planta de hormigones.

### **4.5 Desarrollo de la Propuesta**

Para desarrollar la propuesta se han considerado acciones, medidas y aspectos claves los mismos que serán de ayuda para solucionar la temática de el sobre consumo de combustible y de esta manera disminuir los costos innecesarios en el proceso industrial del hormigón.

#### **4.5.1 Acciones para la elevación de la eficiencia en el consumo de combustible**

La elevación de la eficiencia en el consumo de combustible en la utilización del cemento en los hormigones depende por su parte de un grupo importante de acciones tales como:

1. La extensión del empleo de los aditivos químicos y las adiciones minerales.
2. El mejoramiento sistemático de la calidad de los áridos.
3. La actualización periódica y sistemática de las dosificaciones de hormigón.
4. La implementación del método de ajuste de las dosificaciones gravimétricas por la humedad total de los áridos en sustitución del método de la humedad superficial de las arenas.
5. Garantizar el muestreo de todos los lotes de hormigón y su evaluación de conformidad.
6. La eliminación de las indisciplinas tecnológicas en la producción, transporte y vertido del hormigón, así como del desvío de las materias primas y de la propia mezcla fresca de hormigón.
7. Garantizar el curado del hormigón durante todo el tiempo requerido.

#### **4.5.2. Medidas para el consumo de combustible en la producción industrial del hormigón**

Se ha puesto en evidencia que el sistema de gestión energética en cuanto a consumo de combustible en la producción industrial del hormigón tiene que incluir las siguientes medidas:

- 1.- El análisis preliminar de los consumos de energía eléctrica específica real (por metro cúbico de hormigón) y los consumos reales específicos de portadores energéticos en el transporte a distancia de la mezcla y en el vertido con las bombas de hormigón (dentro del proceso industrial).

2.- Formular un programa complejo que garantice el ahorro y uso racional de energía eléctrica y portadores energéticos y que permita determinar el impacto real de las medidas tomadas y de las inversiones efectuadas a tal fin. El impacto complejo no solamente incluirá los ahorros energéticos directos, sino también los inducidos a partir del control de las materias primas utilización de balanzas ver anexo 5 (especialmente el cemento, los áridos y el agua) y del empleo de los aditivos químicos y las adiciones minerales y la determinación de las pérdidas reales en el proceso productivo.

3.- Establecer el monitoreo sistemático de las medidas establecidas en los aspectos claves con la periodicidad indicada.

#### **4.5.3. Aspectos claves en la eficiencia energética en plantas de hormigones**

En función de todo lo antes expuesto se considera que los aspectos claves, que definen la eficiencia energética en la producción industrial del hormigón en la planta Napo de forma estandarizada son los siguientes:

1.- El consumo eléctrico de las plantas preparadoras de hormigón, así como la productividad en dependencia del consumo específico de electricidad, en  $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$  de hormigón producido.

- En la cuadro 4.1 se muestra que a la medida en que se incrementa el rendimiento y con ello el grado de centralización de las plantas, se reduce el consumo energético específico en la producción de hormigón de la planta Napo, sin embargo en la medida en que se incrementa el grado de centralización de las plantas, se incrementa también la distancia promedio de transporte de la mezcla y con ello el consumo específico de portadores energéticos para garantizar la distribución de la mezcla de hormigón, lo que podemos apreciar en el cuadro 4.2 haciendo referencia a la mezcla de hormigón.

Cuadro 4.1: Indicadores promedios

Rendimiento nominal de la planta preparadora de hormigón (m3/h)	Indicador promedio de consumo específico de energía (kWh/m3)	Indicador promedio de consumo específico de combustible convencional (kgcc/m3)
15	3,26	1,178
30	2,33	0,842
60	1,56	0,564
120	1,03	0,372

Fuente: Elaboración Propia, ACURIO León, Carlos Manuel, 2015.

Cuadro 4.2: Rendimiento nominal.

Rendimiento nominal de la planta de hormigón (m3/h)	Radios típicos de entrega de la mezcla (km)	Demandas anuales promedios que pueden satisfacer (m3)
15	0 a 5	20 000
30	0 a 10	50 000
60	5 a 30	90 000
120	5 a 50	180 000

Fuente: Elaboración Propia, ACURIO León, Carlos Manuel, 2015.

2.- La medición de los consumos de portadores energéticos específicos (por metro cúbico de hormigón producido) en el transporte a distancia de la mezcla fresca de hormigón (camiones hormigoneras), con periodicidad mensual.

- En el índice energético específico (por metro cúbico de hormigón producido) de la planta juegan un papel fundamental: Su estado técnico

general, su grado de automatización y el nivel de organización logrado en el proceso productivo de la instalación.

- En el cuadro 4.3 se muestran los consumos específicos de portadores energéticos en toneladas de combustible convencional (tcc) que caracterizan el transporte a distancia de la mezcla para los ciclos de los camiones a distancias de entrega de 1, 5, 15 y 25 km. Esta tabla nos permite disponer de un consumo energético total bastante aproximado por cada variante. Para el ciclo de los camiones hormigoneras se ha considerado su descarga a bomba de hormigón. El número de camiones indicado es para obtener una eficiencia del 80% del rendimiento en la planta.

Cuadro 4.3: Consumos específicos.

Distancia de transporte de la mezcla (km)	Consumo total específico de diésel por camión y por ciclo de entrega (kg/m <sup>3</sup> )	Consumo energético específico total de preparación y transporte de la mezcla de hormigón en kgcc/m <sup>3</sup> para plantas con rendimiento nominal de: (Entre paréntesis cantidad de camiones)		
		15 m <sup>3</sup> /h	30 m <sup>3</sup> /h	60 m <sup>3</sup> /h
1	0,1462	2,72 (2 cam)	3,14 (3 cam)	4,41 (5 cam)
5	0,7308	12,72 (3 cam)	16,24 (4 cam)	27,50 (7 cam)
15	2,1924	45,03 (4 cam)	81,67 (7 cam)	139,1 (12 cam)
25	3,6540	116,65 (6 cam)	193,5 (10 cam)	346,9 (18 cam)

Fuente: Elaboración Propia, ACURIO León, Carlos Manuel, 2015.

- Comparando los consumos específicos de energía del cuadro 4.3 con los del cuadro 4.2, se pone en evidencia que el transporte a distancia de la mezcla fresca juega el papel decisivo en el consumo energético.

De ahí la conveniencia y la importancia de reducir al máximo las distancias promedios de transporte de la mezcla fresca, lo que sólo es posible acercando las plantas preparadoras de hormigón a los grandes núcleos urbanos, para lograr esto es indispensable que estas instalaciones cuenten con el kit ecológico mínimo. También es importante contar con plantas móviles que se puedan desplazar a los núcleos apartados de mayor demanda y que se emplacen en el lugar rápidamente y con inversiones mínimas.

3.- En las bombas de hormigón móviles o estacionarias para el vertido de la mezcla en las obras, la medición de los portadores energéticos específicos (por metro cúbico de hormigón producido) de estos equipos, también con periodicidad mensual.

4.- Ineficiente mantenimiento del sistema motor-generator que acciona los equipos de la planta preparadora de hormigón, lo que no garantiza a estas instalaciones, según sus volúmenes de producción de hormigón, de básculas para camiones, ya sea en las mismas plantas o en puntos comunes (adecuadamente ubicados) para varias instalaciones, así como de sensores en los silos de cemento para determinar con suficiente exactitud las cantidades disponibles en los cierres de inventario y poder calcular las pérdidas reales de cemento en el proceso productivo. Registrar estas pérdidas y llevar un récord de las mismas para tomar las medidas pertinentes en los casos necesarios.

### **Reducción de la contaminación ambiental**

El kit ecológico mínimo establecido en la estrategia para las plantas productoras de hormigón son los siguientes:

- Instalación de sprinklers o rociadores de agua en el patio de almacenaje de los áridos para evitar el polvo durante su manipulación y reapike.
- Tolvas de diario carenadas, cintas transportadoras cubiertas y cabina de carga cubierta, para evitar que el viento provoque la dispersión de polvo

- Instalación de algún sistema de extracción o manejo del polvo en la cabina de carga de los camiones hormigoneras (válido para las plantas que no mezclan el hormigón).
- Instalación de un equipo reciclador del agua de lavado de las tamboras de los camiones hormigoneras.
- Instalación de un sistema integrado de dosificar los aditivos químicos para evitar su manipulación indiscriminada y derrames al medio ambiente.

#### **4.6. Valoración económica de la propuesta**

La planta de hormigones, posee un sistema diésel eléctrico, es decir a partir de un generador eléctrico que funciona con combustible diésel, y proporciona electricidad la misma que es aprovechada en los sistemas electromecánicos de la planta como compresor de aire, servomotores de bandas transportadoras, bascula de pesaje, bomba de aditivos y bomba de agua.

La Hormigonera Napo consume 44 galones de combustible diarios según el registro que se dispone para clientes.

La capacidad de producción es en base a la demanda de clientes de Hormigonera Napo, pero esta tiene un estándar de 300 m<sup>3</sup> de hormigón mensuales y con esta producción, el consumo de combustible en la hormigonera con el transporte y bombeo es de 730 dólares mensuales y en generación se consume 290,36 dólares.

El consumo de diésel del sistema de generación es de 14 galones en 8 horas de trabajo, es decir consume 1,75 galones por hora, teniendo un costo de 1,8147 dólares por los 12 kW que consume la planta.

Es decir semanalmente se consume en 5 días de trabajo 228 galones, y el precio es de 228,14 dólares, el consumo del generador es de 14 galones diarios es decir en la semana se consumirá 70 galones, 72,59 dólares y al mes consume el moto-generador 290,36 dólares.

#### 4.6.1. Propuesta de variantes

En el presente trabajo de investigación se propone dos variantes para disminuir el consumo de combustible en el proceso industrial de obtención del hormigón las cuales a continuación son desarrolladas.

##### 4.6.1.1. Variante I. Garantizar Transporte por bandas transportadoras

Considerando los costos de inversión en repuestos y mano de obra en la reparación del motor a diésel del grupo electrógeno, el ahorro de energía en base al consumo de diésel es significativo ya que se produce.

Cuadro 4.4: Costo de reparación motor DEUTZ

<b>RECURSOS</b>	<b>P. UNITARIO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TOTAL</b>
Camisa de cilindro	\$ 42,50	4	\$ 170
Pistón	\$ 57,50	4	\$ 230
Anillos de pistón	\$ 62,50	4	\$ 250
Juego de empaques	\$ 120	1	\$ 120
Cojinetes de biela	\$ 24,50	4	\$ 98
Cojinetes de bancada	\$ 26	4	\$ 104
Válvulas y guías	\$ 62,50	4	\$ 250
Bomba de aceite	\$ 300	1	\$ 300
Mano de obra	\$ 300	1	\$ 300
<b>TOTAL</b>			<b>\$1822</b>

Fuente: Elaboración Propia, ACURIO León, Carlos Manuel, 2015.

La producción mensual de hormigón es de 300  $m^3$  y el consumo de combustible mensual es de 1020,36 dólares mensuales.

Cuadro 4.5: Consumo de combustible

<b>EQUIPO Y MAQUINARIA</b>	<b>CONSUMO DIARIO DE DIESEL (galones)</b>	<b>CONSUMO MENSUAL DE DIESEL (galones)</b>	<b>COSTO DE DIESEL USD</b>
Mixer y Bomba de hormigón	44	640,35	730
Generador planta de hormigón	14	254,70	290,36
<b>TOTAL</b>	<b>58</b>	<b>895,05</b>	<b>1020,36</b>

Fuente: Elaboración Propia, ACURIO León, Carlos Manuel, 2015.

El motor reparado, consumirá menos combustible y aceite para lo cual se valorará el valor de ahorro mensual y en qué tiempo puede recuperarse esta inversión:

Cuadro 4.6: Comparación motor reparado

<b>EQUIPO Y MAQUINARIA</b>	<b>CONSUMO DIARIO DE DIESEL (galones)</b>	<b>CONSUMO MENSUAL DE DIESEL (galones)</b>	<b>COSTO DE DIESEL USD</b>
Mixer y Bomba de hormigón	44	640,35	730
Generador planta de hormigón	7	127,35	145,18
<b>TOTAL</b>	<b>51</b>	<b>767,7</b>	<b>875.18</b>

Fuente: Elaboración Propia, ACURIO León, Carlos Manuel, 2015.

Ya con el equipo electrógeno reparado tenemos un ahorro de diésel:

**Ahorro mensual de diésel** = costo de consumo de diésel sin reparar el grupo electrógeno – costo de consumo mensual de diésel con el motor reparado

**Ahorro mensual de diésel** = 1020,36 USD – 875,18 USD

**Ahorro mensual de diésel** = 145,18 USD

Para conocer en cuanto tiempo se recuperaría la inversión de la reparación del motor:

**Tiempo de recuperación de la inversión** = costo de reparación/ ahorro mensual

**Tiempo de recuperación de la inversión** = 1822/145,18

**Tiempo de recuperación de la inversión** = 12,54aproximadamente 13 meses

Como se puede apreciar en un año y un mes se puede recuperar la inversión, para que un proyecto sea factible se necesita que hasta los cinco años se pueda recuperar la inversión, por este motivo, tenemos un proyecto factible.

Al identificar que la falta de demanda energética es por defectos del motor diésel DEUTZ, se pone en manifiesto a Hormigonera Napo, siendo este organismo como empresa capaz de decidir si repara el motor o lo sustituye.

#### **4.6.1.2. Variante II. Propuesta de Transporte por Gravedad**

Son los dispositivos más sencillos que utilizan la gravedad para mover materiales a granel o cargas unitarias en pendientes descendentes. Existen de dos tipos: rectos y en espiral en nuestro caso se propone el recto.

Consideraciones a tener en cuenta las instalaciones del sistema de transporte por gravedad:

1. Flexibilidad del sistema. Será preciso manejar o transportar una amplia gama de tamaños de cargas
2. Estado de los materiales que se manejarán.
3. Requisitos y métodos para cargar y descargar.
4. Capacidad del equipo.
5. Requisitos del equipo de apoyo. El material se clasificará, acumulará, pesará o someterá a un procesamiento adicional durante el manejo o el transporte.

6. Terreno y condiciones ambientales. Deben tomarse medidas contra el polvo, temperaturas altas o bajas, humedad elevada u otras condiciones ambientales en la planta.
7. Restricciones de la instalación. Las alturas exteriores, si hay suficiente espacio en la planta.
8. Distancias horizontales y verticales que deben recorrerse. Qué equipo es necesario para adaptarse a las subidas y bajadas del sistema.

Cuadro 4.7: Costo de construcción de criba para material pétreo

<b>RECURSOS</b>	<b>P. UNITARIO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TOTAL</b>
Plancha de 1.25 X 2.50 m de hierro forjado 4 mm de espesor	\$ 160	4	\$ 640
Buster neumáticos para accionamiento de compuertas	\$ 145,50	2	\$291
Válvulas neumáticas 5/2	\$ 42,50	2	\$ 85
Juego de mangueras neumáticas	\$ 120	1	\$ 120
Material eléctrico	\$ 48,50	1	\$ 48.50
Filtros y lubricadores de buster	\$ 200	1	\$ 200
Mano de obra	\$ 800	1	\$ 800
<b>TOTAL</b>			<b>\$2184.50</b>

Fuente: Elaboración Propia, ACURIO León, Carlos Manuel, 2015.

En la primera variante se puede observar según los cuadros 4.5 y 4.6 que existe un ahorro mensual de 145.18 dólares en el consumo de combustible, es decir si se optaría en reparar el motor de combustión interna que es parte del Sistema de Generación eléctrica.

En la segunda variante el considerar la construcción de una criba para que los agregados del hormigón se trasladen hasta la zona de mezclado involucra un costo de 2184.50 en versión a la reparación del motor que es de 1822 es decir 362.50 más costoso que en la primera variante; pero cabe resaltar que con esta segunda variante se obviaría la demanda de energía de las bandas transportadoras y los costos de su mantenimiento, es decir con esta propuesta se tendría un ahorro mensual de 290,36 dólares mensuales en el consumo de combustible como se puede apreciar en el cuadro 4.5, adicional el ahorro mensual de unos 300 dólares de costo de mantenimiento en el sistema de transportación por bandas; es decir un ahorro total de 590,36 dólares mensuales en las operaciones de producción industrial de hormigón.

A continuación se muestra la variante ya instrumentada en la planta donde se realiza las mezclas de cemento, árido, agua y aditivos utilizando la gravedad sin necesidad de utilizar las bandas transportadoras



Figura 4.1: Elevación de la descarga de materiales

Fuente: Empresa Napo (2015)



Figura 4.2: Cargar la tolva de cemento por silo en la planta de hormigón

Fuente: Planta de Hormigones Betomax (2015)



Figura 4.3: Cargar los agregados en la criba

Fuente: Plantas de Hormigones Betomax (2015)

Análisis económico de la variante

Se dejan de consumir

- Motor de 5.5 HP banda transportadora de áridos
- Motor de 5.5 HP banda transportadora de arena

El consumo total de la planta era de 10539 watts con esta variante se reduce el consumo a 2333 watts es decir se reduce a un 78 % del consumo.

Para alimentar esta carga se necesita un motor diésel de 11 kVA

El consumo de diésel del sistema de generación es de 3 galones en 8 horas de trabajo, es decir consume 0,37 galones por hora, teniendo un costo de 1,8147 dólares por los 3 kW que consume la planta con esta variante.

Se reduce el consumo de 70 galones semanales a 15 galones con un precio 1,14 usd al mes es de 68,4 para un ahorro de 221,96 usd al mes y al año 2663,52usd.

Para conocer en cuanto tiempo se recuperaría la inversión comprar un nuevo grupo electrógeno

**Tiempo de recuperación de la inversión = costo de criba/ ahorro mensual**

**Tiempo de recuperación de la inversión = 2184.50/221,96**

**Tiempo de recuperación de la inversión = 10 meses**

Se propone el siguiente esquema que se muestra en la figura 4.4.

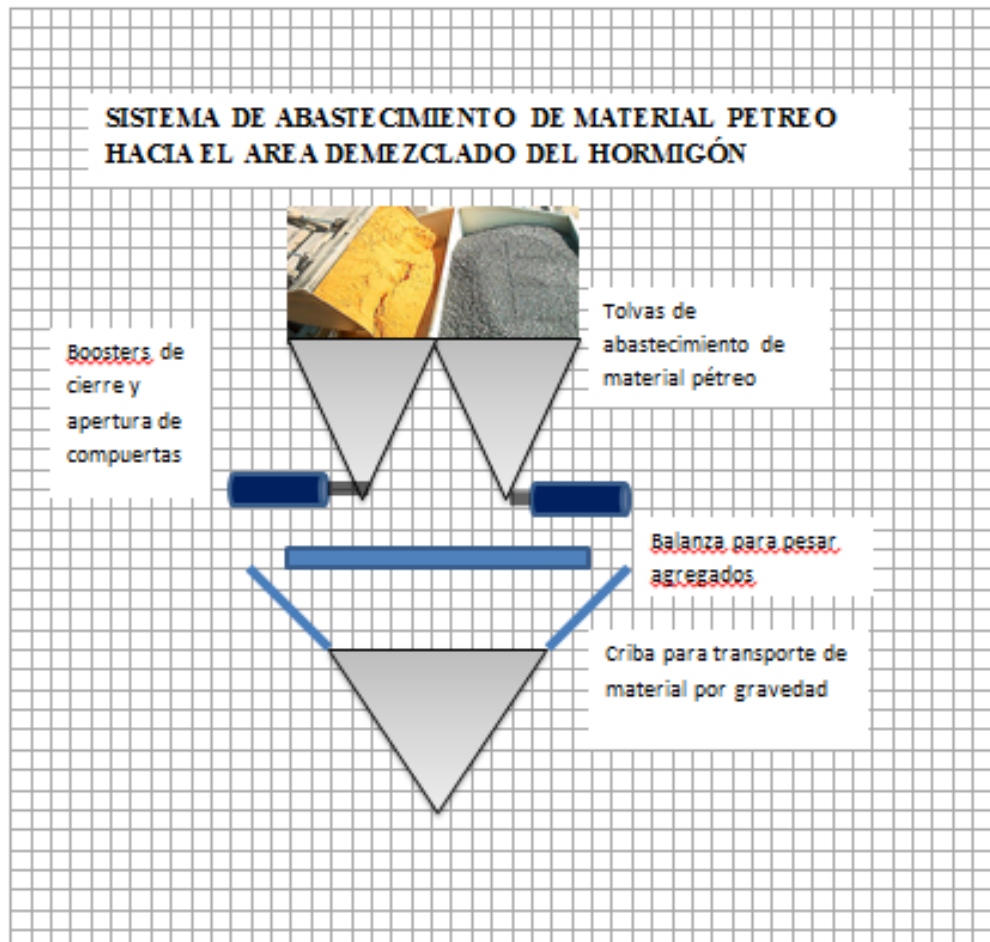


Figura 4.4. Esquema de vertido de agregados por gravedad

Fuente: Elaboración propia ACURIO León Carlos 2015

## CONCLUSIONES GENERALES

1. Se evaluó la situación energética en base al consumo de combustible de hormigonera Napo, demostrándose un promedio de consumo de 14 galones de diésel al día y en el mes 254,70 galones lo que al año sería 3056,40 galones por lo que se observó que existe un alto consumo de diésel con un excedente de 145.18 dólares mensuales y por consiguiente costo elevado en la producción.
2. Se determinó el índice energético específico el mismo que se estableció que es de 0,23 (por metro cúbico de hormigón producido) de la planta de hormigón el cual juegan un papel fundamental: Su estado técnico general, su grado de automatización y el nivel de organización logrado en el proceso productivo de la instalación.
3. Se ha puesto en evidencia que la eficiencia energética en la producción industrial del hormigón requiere de un análisis de tipo sistémico que tiene que tener en cuenta no solamente los factores de tipo técnico y tecnológico, sino también la actividad de ciencia e innovación tecnológica, la transferencia de tecnologías, la capacitación del personal involucrado y un grupo de medidas administrativas y de control sistemático del proceso.
4. Se determinó que el sistema de transporte que posee la planta no es eficiente ya que presenta fallas en el sistema moto-generator y el diseño del sistema portador de agregados de hormigón, para lo cual fue utilizado un software para un buen cálculo del diseño de las bandas transportadoras.
5. Las pruebas y análisis que se realizaron en este capítulo demuestran la gran eficiencia energética obtenida con la adecuación del motor diésel, ya que sin adecuarlo tiene un excedente de 85.7% de consumo de combustible, por consiguiente hay una mejora en la producción de hormigón y el tiempo de recuperación de la inversión que es de 18 meses demuestran la factibilidad de la propuesta realizada.
6. Se pone en consideración la construcción de un nuevo sistema de transportación de los agregados del hormigón por gravedad, el cual indica

que este tiempo de recuperación del dinero invertido será tan solo en un tiempo de 10 meses es decir menos de un año.

## **RECOMENDACIONES**

1. Presentar la propuesta a la dirección de la hormigonera Napo para su posible implementación de manera que se pueda garantizar la eficiencia energética en cuanto al consumo de combustible en la empresa.
2. Profundizar en el estudio de los demás portadores energéticos en la empresa Hormigonera Napo.
3. Monitorear los índices de consumo del motogenerador para diagnosticar previamente posibles fallas en el sistema de transportación de la Hormigonera Napo, en el caso de considerarse la reparación del sistema de generación eléctrica.
4. Mantener un plan de mantenimiento preventivo en las cribas y tolvas en el caso de haber seleccionado la variante dos para la solución de la disminución del consumo de combustible en Hormigonera Napo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### Referencias Citadas

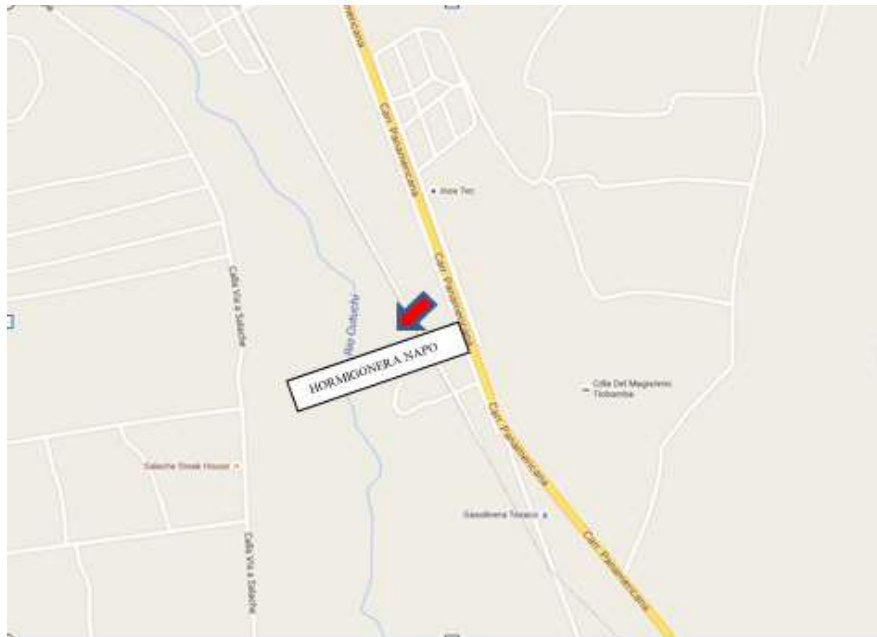
- Aïtcin, Pierre-Claude, Profesor Emérito de la Universidad de Sherbrooke, Québec Canadá, 2002
- Catálogo POWERPAD INSTRUMENTS (2009)
- Empresa Napo (2015)
- Manual de Motores Eléctricos SIEMENS (2009)
- Manual FOSN TOOLS (2001)
- Planta de Hormigones Betomax (2015)
- Lauhoff. (2005). Control de Velocidad en Correas Transportadoras. *Manejo de Sólidos a Granel*, Pág. 49.
- Patiño-Arcila. (2014). *Banda Transportadora para Consolidación de Producto Terminado Primer y Segundo Piso del Centro de Integración*. Documento presentado en Ingeniería Eléctrica, Pág. 96.
- Sierra-Pérez, R. J. (2009). *Optimización energética en el diseño de transportadores de banda para el mineral laterítico Cubano*. Inédita Tesis de Doctorado, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Moa.
- Sierra-Pérez, R. J., Legrá-Lobaina, A. A., & Velazquez, L. (2009). Evaluación del desgaste de la banda transportadora en las minas de níquel de Moa y Nicaro. *Minería y Geología*.
- Titov, V. S., Gutiérrez, F. S., & Rosales, M. G. O. (2008). *Técnica de simulación para mejorar parámetros de un transportador de cadena REX*. Documento presentado en Congreso Internacional Anual de la SOMIM.
- Torres, G., & Prieto, J. P. (2010). Desarrollo de un sistema de alimentación y picado de residuos agrícolas visto desde su metodología de diseño. *Vector*, 5, Pág 36.

# ANEXOS 1

Vista satelital de la planta Hormigonera Napo



Ubicación de Hormigonera Napo



Vista de la planta Hormigonera Napo



Grava utilizada



Árido tapado para reducir humedad



## ANEXO 2

### Estado de las instalaciones





### ANEXO 3

#### Camiones hormigoneros



## ANEXO 4 Características

### Características físicas del hormigón

Las principales características físicas del hormigón, en valores aproximados, son:

- Densidad: en torno a  $2.350 \text{ kg/m}^3$
- Resistencia a compresión: de  $150$  a  $500 \text{ kg/cm}^2$  ( $15$  a  $50 \text{ MPa}$ ) para el hormigón ordinario. Existen hormigones especiales de alta resistencia que alcanzan hasta  $2.000 \text{ kg/cm}^2$  ( $200 \text{ MPa}$ ).
- Resistencia a tracción: proporcionalmente baja, es del orden de un décimo de la resistencia a compresión y, generalmente, poco significativa en el cálculo global.
- Tiempo de fraguado: dos horas, aproximadamente, variando en función de la temperatura y la humedad del ambiente exterior.
- Tiempo de endurecimiento: progresivo, dependiendo de la temperatura, humedad y otros parámetros.
  - De 24 a 48 horas, adquiere la mitad de la resistencia máxima; en una semana  $3/4$  partes, y en 4 semanas prácticamente la resistencia total de cálculo.
- Dado que el hormigón se dilata y contrae en magnitudes semejantes al acero, pues tienen parecido coeficiente de dilatación térmico, resulta muy útil su uso simultáneo en obras de construcción; además, el hormigón protege al acero de la oxidación al recubrirlo.

### Fraguado y endurecimiento

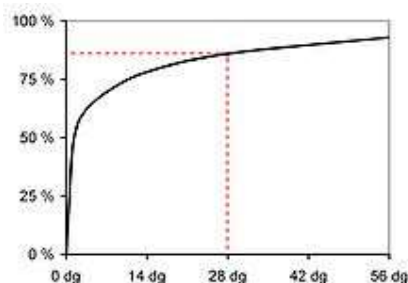


Figura A: Diagrama indicativo de la resistencia (en %) que adquiere el hormigón a los 14, 28, 42 y 56 días.

La pasta del hormigón se forma mezclando cemento artificial y agua debiendo embeber totalmente a los áridos. La principal cualidad de esta pasta es que fragua y endurece progresivamente, tanto al aire como bajo el agua.

El proceso de fraguado y endurecimiento es el resultado de reacciones químicas de hidratación entre los componentes del cemento. La fase inicial de hidratación se llama fraguado y se caracteriza por el paso de la pasta del estado fluido al estado sólido. Esto se observa de forma sencilla por simple presión con un dedo sobre la superficie del hormigón. Posteriormente continúan las reacciones de hidratación alcanzando a todos los constituyentes del cemento que provocan el endurecimiento de la masa y que se caracteriza por un progresivo desarrollo de resistencias mecánicas.

El fraguado y endurecimiento no son más que dos estados separados convencionalmente; en realidad solo hay un único proceso de hidratación continuo.<sup>2</sup>

En el cemento portland, el más frecuente empleado en los hormigones, el primer componente en reaccionar es el aluminato tricálcico con una duración rápida y corta (hasta 7-28 días). Después el silicato tricálcico, con una aportación inicial importante y continua durante bastante tiempo. A continuación el silicato bicálcico con una aportación inicial débil y muy importante a partir de los 28 días.

El fenómeno físico de endurecimiento no tiene fases definidas. El cemento está en polvo y sus partículas o granos se hidratan progresivamente, inicialmente por contacto del agua con la superficie de los granos, formándose algunos compuestos cristalinos y una gran parte de compuestos microcristalinos asimilables a coloides que forman una película en la superficie del grano. A partir de entonces el endurecimiento continúa dominado por estas estructuras coloidales que envuelven los granos del cemento y a través de las cuales progresa la hidratación hasta el núcleo del grano.

El hecho de que pueda regularse la velocidad con que el cemento amasado pierde su fluidez y se endurece, lo hace un producto muy útil en construcción. Una

reacción rápida de hidratación y endurecimiento dificultaría su transporte y una cómoda puesta en obra rellenando todos los huecos en los encofrados. Una reacción lenta aplazaría de forma importante el desarrollo de resistencias mecánicas. En las fábricas de cemento se consigue controlando la cantidad de yeso que se añade al 88linker de cemento. En la planta de hormigón, donde se mezcla la pasta de cemento y agua con los áridos, también se pueden añadir productos que regulan el tiempo de fraguado.

En condiciones normales un hormigón portland normal comienza a fraguar entre 30 y 45 minutos después de que ha quedado en reposo en los moldes y termina el fraguado trascurridas sobre 10 ó 12 horas. Después comienza el endurecimiento que lleva un ritmo rápido en los primeros días hasta llegar al primer mes, para después aumentar más lentamente hasta llegar al año donde prácticamente se estabiliza. En el cuadro siguiente se observa la evolución de la resistencia a compresión de un hormigón tomando como unidad la resistencia a 28 días, siendo cifras orientativas:

Cuadro A: Evolución de la resistencia a compresión

Fuente: Elaboración Propia, ACURIO León, Carlos Manuel, 2015.

<b>Edad del hormigón en días</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>28</b>	<b>90</b>	<b>360</b>
<b>Resistencia a compresión</b>	<b>0,40</b>	<b>0,65</b>	<b>1,00</b>	<b>1,20</b>	<b>1,35</b>

### **Resistencia**



Figura B: Comprobación de la resistencia del hormigón

Para comprobar que el hormigón colocado en obra tiene la resistencia requerida se rellenan con el mismo hormigón unos moldes cilíndricos normalizados y se calcula su resistencia en un laboratorio realizando ensayos de rotura a compresión.

En el proyecto previo de los elementos, la *Resistencia característica* ( $f_{ck}$ ) del hormigón es aquella que se adopta en todos los cálculos como resistencia a compresión del mismo, y dando por hecho que el hormigón que se ejecutará resistirá ese valor se dimensionan las medidas de todos los elementos estructurales.

La *Resistencia característica de proyecto* ( $f_{ck}$ ) establece por tanto el límite inferior, debiendo cumplirse que cada amasada de hormigón colocada tenga esa resistencia como mínimo. En la práctica, en la obra se realizan ensayos estadísticos de resistencias de los hormigones que se colocan y el 95% de los mismos debe ser superior a  $f_{ck}$ , considerándose que con el nivel actual de la tecnología del hormigón, una fracción defectuosa del 5% es perfectamente aceptable.

La resistencia del hormigón a compresión se obtiene en ensayos de rotura a compresión de probetas cilíndricas normalizadas realizados a los 28 días de edad y fabricadas con las mismas amasadas puestas en obra. La Instrucción española (EHE) recomienda utilizar la siguiente serie de resistencias características a compresión a 28 días (medidas en Newton/mm<sup>2</sup>): 20; 25; 30, 35; 40; 45 y 50.<sup>12</sup> Por ello, las Plantas de fabricación de hormigón suministran habitualmente hormigones que garantizan estas resistencias.



Figura C: Ensayo de Cono de Abrams

Ensayo de consistencia en hormigón fresco mediante el Cono de Abrams que mide el asiento que se produce en una forma troncocónica normalizada cuando se desmoldea.

### **Consistencia del hormigón fresco**

La consistencia es la mayor o menor facilidad que tiene el hormigón fresco para deformarse y consiguientemente para ocupar todos los huecos del molde o encofrado. Influyen en ella distintos factores, especialmente la cantidad de agua de amasado, pero también el tamaño máximo del árido, la forma de los áridos y su granulometría.<sup>13</sup>

La consistencia se fija antes de la puesta en obra, analizando cual es la más adecuada para la colocación según los medios que se dispone de compactación. Se trata de un parámetro fundamental en el hormigón fresco.

Entre los ensayos que existen para determinar la consistencia, el más empleado es *el cono de Abrams*. Consiste en llenar con hormigón fresco un molde troncocónico de 30 cm de altura. La pérdida de altura que se produce cuando se retira el molde, es la medida que define la consistencia.

Los hormigones se clasifican por su consistencia en secos, plásticos, blandos y fluidos tal como se indica en la tabla siguiente:

Cuadro B: Hormigones de acuerdo a su consistencia

Fuente: Elaboración Propia, ACURIO León, Carlos Manuel, 2015.

<b>Consistencia</b>	<b>Asiento en cono de Abrams (cm)</b>	<b>Compactación</b>
<b>Seca</b>	<b>0-2</b>	<b>Vibrado</b>
<b>Plástica</b>	<b>3-5</b>	<b>Vibrado</b>
<b>Blanda</b>	<b>6-9</b>	<b>Picado con barra</b>
<b>Fluida</b>	<b>10-15</b>	<b>Picado con barra</b>
<b>Líquida</b>	<b>16-20</b>	<b>Picado con barra</b>

## Durabilidad



Figura D.: Presa de Hoover

Las presas de hormigón son una tipología habitual en la construcción de embalses. En las imágenes la presa de Hoover construida en EE.UU. en 1936 y la de Atazar en España de 1972. Ambas diseñadas con forma parabólica para optimizar la capacidad de soportar esfuerzos a compresión del hormigón.

Se define en la Instrucción española EHE, la durabilidad del hormigón como la capacidad para comportarse satisfactoriamente frente a las acciones físicas y químicas agresivas a lo largo de la vida útil de la estructura protegiendo también las armaduras y elementos metálicos embebidos en su interior.

Por tanto no solo hay que considerar los efectos provocados por las cargas y sollicitaciones, sino también las condiciones físicas y químicas a las que se expone. Por ello se considera el tipo de ambiente en que se va a encontrar la estructura y que puede afectar a la corrosión de las armaduras, ambientes químicos agresivos, zonas afectadas por ciclos de hielo-deshielo, etc.

Para garantizar la durabilidad del hormigón y la protección de las armaduras frente a la corrosión es importante realizar un hormigón con una permeabilidad reducida, realizando una mezcla con una relación agua/cemento baja, una compactación idónea, un peso en cemento adecuado y la hidratación suficiente de éste añadiendo agua de curado para completarlo. De esta forma se consigue que haya los menos poros posibles y una red capilar interna poco comunicada y así se reducen los ataques al hormigón.

En los casos de existencia de sulfatos en el terreno o de agua de mar se deben emplear cementos especiales. Para prevenir la corrosión de armaduras hay que cuidar el recubrimiento mínimo de las mismas.<sup>15</sup>

### Tipos de hormigón

En la Instrucción española (EHE), publicada en 1998, los hormigones están tipificados según el siguiente formato siendo obligatorio referirse de esta forma en los planos y demás documentos de proyecto, así como en la fabricación y puesta en obra:<sup>16</sup>

#### Hormigón **T – R / C / TM / A**

**T:** se denominará HM cuando sea hormigón en masa, HA cuando sea hormigón armado y HP cuando sea hormigón pretensado.

**R:** resistencia característica del hormigón expresada en N/mm<sup>2</sup>.

**C:** letra inicial del tipo de consistencia: S Seca, P plástica, B Blanda, F Fluida y L Líquida.

**TM:** tamaño máximo del árido expresado en milímetros.

**A:** designación del ambiente a que estará expuesto el hormigón.

#### Cuadro C: Tipos de Hormigón

Fuente: Universidad de Alcalá, PALMA Ana María, 2014.

Hormigón ordinario	También se suele referir a él denominándolo simplemente hormigón. Es el material obtenido al mezclar cemento portland, agua y áridos de varios tamaños, superiores e inferiores a 5 mm, es decir, con grava y arena. <sup>17</sup>
Hormigón en masa	Es el hormigón que no contiene en su interior armaduras de acero. Este hormigón solo es apto para resistir esfuerzos de compresión. <sup>17</sup>
<u>Hormigón armado</u>	Es el hormigón que en su interior tiene armaduras de acero, debidamente calculadas y situadas. Este hormigón es apto para resistir esfuerzos de compresión y tracción. Los esfuerzos de tracción los resisten las armaduras de acero. Es el hormigón más habitual.
<u>Hormigón pretensado</u>	Es el hormigón que tiene en su interior una armadura de acero especial sometida a tracción. Puede ser pre-tensado si la armadura se ha tensado antes de colocar el hormigón fresco o post-tensado si la armadura se tensa cuando el hormigón ha adquirido su

	resistencia.
<u>Mortero</u>	Es una mezcla de cemento, agua y arena (árido fino), es decir, un hormigón normal sin árido grueso.
Hormigón ciclópeo	Es el hormigón que tiene embebidos en su interior grandes piedras de dimensión no inferior a 30 cm.
Hormigón sin finos	Es aquel que sólo tiene árido grueso, es decir, no tiene arena (árido menor de 5 mm).
Hormigón aireado o celular	Se obtiene incorporando a la mezcla aire u otros gases derivados de reacciones químicas, resultando un hormigón baja densidad.
Hormigón de alta densidad	Fabricados con áridos de densidades superiores a los habituales (normalmente barita, magnetita, hematita...) El hormigón pesado se utiliza para blindar estructuras y proteger frente a la radiación.

## **Características de los componentes del hormigón**

### **Cemento**

Los cementos son productos que amasados con agua fraguan y endurecen formándose nuevos compuestos resultantes de reacciones de hidratación que son estables tanto al aire como sumergidos en agua.

Hay varios tipos de cementos. Las propiedades de cada uno de ellos están íntimamente asociadas a la composición química de sus componentes iniciales, que se expresa en forma de sus óxidos, y que según cuales sean formaran compuestos resultantes distintos en las reacciones de hidratación.

Cada tipo de cemento está indicado para unos usos determinados; también las condiciones ambientales determinan el tipo y clase del cemento afectando a la durabilidad de los hormigones. Los tipos y denominaciones de los cementos y sus componentes están normalizados y sujetos a estrictas condiciones. La norma española establece los siguientes tipos: cementos comunes, los resistentes a los sulfatos, los resistentes al agua de mar, los de bajo calor de hidratación, los cementos blancos, los de usos especiales y los de aluminato de calcio. Los cementos comunes son el grupo más importante y dentro de ellos el portland es el

habitual. En España sólo pueden utilizarse los cementos legalmente comercializados en la Unión Europea y están sujetos a lo previsto en leyes específicas.

Además del tipo de cemento, el segundo factor que determina la calidad del cemento, es su clase o resistencia a compresión a 28 días. Esta se determina en un mortero normalizado y expreso la resistencia mínima, la cual debe ser siempre superada en la fabricación del cemento. No es lo mismo, ni debe confundirse la resistencia del cemento con la del hormigón, pues la del cemento corresponde a componentes normalizados y la del hormigón dependerá de todos y cada uno de sus componentes. Pero si el hormigón está bien dosificado a mayor resistencia del cemento corresponde mayor resistencia del hormigón. La norma española establece las siguientes clases de resistencias.

Cuadro D: Costo de reparación motor DEUTZ

Fuente: Universidad de Alcalá, PALMA Ana María, 2014.

Clase de resistencia	Resistencia (N/mm <sup>2</sup> )			Fraguado		Expansión (mm)
	a 2 días	a 7 días	a 28 días	Inicio (minutos)	Final (horas)	
32,5N		≥16,0	32,5— 52,5	≥75,0	≤12,0	≤10,0
32,5R	≥10,0		32,5— 52,5	≥75,0	≤12,0	≤10,0
42,5N	≥10,0		42,5— 62,5	≥60,0	≤12,0	≤10,0
42,5R	≥20,0		42,5— 62,5	≥60,0	≤12,0	≤10,0
52,5N	≥20,0		≥52,5	≥45,0	≤12,0	≤10,0
52,5R	≥30,0		≥52,5	≥45,0	≤12,0	≤10,0

**N** = Resistencia inicial normal. **R** = Alta resistencia inicial. Este cuadro es aplicable a los cementos comunes, es decir, al portland, a los portland con adiciones, a los siderúrgicos, a los puzolánicos y a los compuestos.

El cemento se encuentra en polvo y la finura de su molido es determinante en sus propiedades conglomerantes, influyendo decisivamente en la velocidad de las reacciones químicas de su fraguado y primer endurecimiento. Al mezclarse con el agua los granos de cemento se hidratan sólo en una profundidad de 0,01 mm, por lo que si los granos fuesen muy gruesos el rendimiento de la hidratación sería pequeño al quedar en el interior un núcleo inerte. Sin embargo una finura excesiva provoca una retracción y calor de hidratación elevados. Además dado que las resistencias aumentan con la finura hay que llegar a una solución de compromiso, el cemento debe estar finamente molido pero no en exceso.<sup>1</sup>

El almacenamiento de los cementos a granel se realiza en silos estancos que no permitan la contaminación del cemento y deben estar protegidos de la humedad. En los cementos suministrados en sacos, el almacenamiento debe realizarse en locales cubiertos, ventilados, protegidos de la lluvia y del sol. Un almacenamiento prolongado puede provocar la hidratación de las partículas más finas por meteorización perdiendo su valor hidráulico y que supone un retraso del fraguado y disminución de resistencias.

### **Cemento portland**

El cemento portland se obtiene al calcinar a unos 1.500 °C mezclas preparadas artificialmente de calizas y arcillas. El producto resultante, llamado clinker, se muele añadiendo una cantidad adecuada de regulador de fraguado, que suele ser piedra de yeso natural.

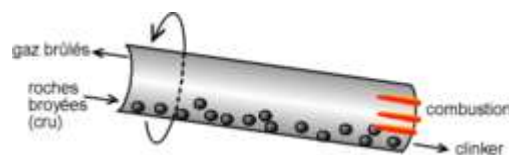


Figura E: Esquema de un Horno

Esquema de un horno rotativo donde se mezcla y calcina la caliza y la arcilla para formar el clinker de cemento.

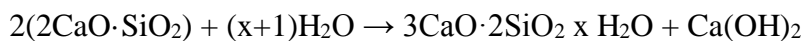
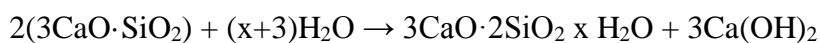


Figura F: Clinker de cemento antes de su molienda.

La composición química media de un portland, según Calleja, está formada por un 62,5% de CaO (cal combinada), un 21% de SiO<sub>2</sub> (sílice), un 6,5% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (alúmina), un 2,5% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (hierro) y otros minoritarios. Estos cuatro componentes son los principales del cemento, de carácter básico la cal y de carácter ácido los otros tres. Estos componentes no se encuentran libres en el cemento, sino combinados formando silicatos, aluminatos y ferritos cálcicos, que son los componentes hidráulicos del mismo o componentes potenciales. Un clinker de cemento portland de tipo medio contiene:

- Silicato tricálcico (3CaO·SiO<sub>2</sub>)..... 40% a 50%
- Silicato bicálcico (2CaO·SiO<sub>2</sub>)..... 20% a 30%
- Aluminato tricálcico (3CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)..... 10% a 15%
- Aluminato ferrito tetra cálcico (4CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)..... 5% a 10%

Las dos principales reacciones de hidratación, que originan el *proceso de fraguado y endurecimiento* son:



El silicato tricálcico es el compuesto activo por excelencia del cemento pues desarrolla una resistencia inicial elevada y un calor de hidratación también elevado. Fragua lentamente y tiene un endurecimiento bastante rápido. En los

cemento de endurecimiento rápido y en los de alta resistencia aparece en una proporción superior a la habitual.

El silicato bicálcico es el que desarrolla en el cemento la resistencia a largo plazo, es lento en su fraguado y en su endurecimiento. Su estabilidad química es mayor que la del silicato tricálcico, por ello los cementos resistentes a los sulfatos llevan un alto contenido de silicato bicálcico.

El aluminato tricálcico es el compuesto que gobierna el fraguado y las resistencias a corto. Su estabilidad química es buena frente al agua de mar pero muy débil a los sulfatos. Al objeto de frenar la rápida reacción del aluminato tricálcico con el agua y regular el tiempo de fraguado del cemento se añade al clinker piedra de yeso.

El aluminatoferritotetracálcico no participa en las resistencias mecánicas, su presencia es necesaria por el aporte de fundentes de hierro en la fabricación del clinker.

### **Otros cementos**

En España existen los llamados *cementos portland con adiciones activas* que además de los componentes principales de clinker y piedra de yeso, contienen uno de estos componentes adicionales hasta un 35% del peso del cemento: escoria siderúrgica, humo de sílice, puzolana natural, puzolana natural calcinada, ceniza volante silíceo, ceniza volante calcárea, esquistos calcinados o caliza.

Los cementos de alta resistencia inicial, los resistentes a los sulfatos, los de bajo calor de hidratación o los blancos suelen ser portland especiales y para ellos e limitan o potencian alguno de los cuatro componentes básicos del clinker.

El cemento siderúrgico se obtiene por molturación conjunta de clinker de portland y regulador de fraguado en proporción de 5-64% con escoria siderúrgica en proporción de 36-95%. Constituye la familia de los cementos fríos. La escoria se obtiene enfriando bruscamente en agua la ganga fundida procedente de procesos siderúrgicos; en este enfriamiento la escoria se vitrifica y se vuelve activa hidráulicamente por su contenido en cal combinada. La escoria por si sola fragua y endurece lentamente, por lo que para acelerarlo se añade el clinker de portland.

El cemento puzolánico es una mezcla de clinker de portland y regulador de fraguado en proporción de 45-89% con puzolana en proporción del 11-55%. La puzolana natural tiene origen volcánico y aunque no posee propiedades conglomerantes contiene sílice y alúmina capaces de fijar la cal en presencia de agua formando compuestos con propiedades hidráulicas. La puzolana artificial tiene propiedades análogas y se encuentran en las cenizas volantes, la tierra de diatomeas o las arcillas activas.

El cemento aluminoso se obtiene por fusión de caliza y bauxita. El constituyente principal de este cemento es el aluminato monocálcico.

### Áridos



Figura G: Acopio de áridos de tamaño 6-10 mm para la fabricación de hormigón.

Los áridos deben poseer por lo menos la misma resistencia y durabilidad que se exija al hormigón. No se deben emplear calizas blandas, feldespatos, yesos, piritas o rocas friables o porosas.

El árido que tiene mayor responsabilidad en el conjunto es la arena. Según Jiménez Montoya no es posible hacer un buen hormigón sin una buena arena. Las mejores arenas son las de río, que normalmente son cuarzo puro, por lo que aseguran su resistencia y durabilidad.

Con áridos naturales rodados, los hormigones son más trabajables y requieren menos agua de amasado que los áridos de machaqueo, teniéndose además la garantía de que son piedras duras y limpias. Los áridos machacados procedentes de trituración, al tener más caras de fractura cuesta más ponerlos en obra, pero se traban mejor y se refleja en una mayor resistencia.

Si los áridos rodados están contaminados o mezclados con arcilla, es imprescindible lavarlos para eliminar la camisa que envuelve los granos y que disminuiría su adherencia a la pasta de hormigón. De igual manera los áridos de machaqueo suelen estar rodeados de polvo de machaqueo que supone un incremento de finos al hormigón, precisa más agua de amasado y darán menores resistencias por lo que suelen lavarse.

Los áridos que se emplean en hormigones se obtienen mezclando tres o cuatro grupos de distintos tamaños para alcanzar una granulometría óptima. Tres factores intervienen en una granulometría adecuada: el tamaño máximo del árido, la compacidad y el contenido de granos finos. Cuando mayor sea el tamaño máximo del árido, menores serán las necesidades de cemento y de agua, pero el tamaño máximo viene limitado por las dimensiones mínimas del elemento a construir o por la separación entre armaduras, ya que esos huecos deben quedar rellenos por el hormigón y, por tanto, por los áridos de mayor tamaño. En una mezcla de áridos una compacidad elevada es aquella que deja pocos huecos; se consigue con mezclas pobres en arenas y gran proporción de áridos gruesos, precisando poca agua de amasado; su gran dificultad es conseguir compactar el hormigón, pero si se dispone de medios suficientes para ello el resultado son hormigones muy resistentes. En cuanto al contenido de granos finos, estos hacen la mezcla más trabajable pero precisan más agua de amasado y de cemento. En cada caso hay que encontrar una fórmula de compromiso teniendo en cuenta los distintos factores. Las parábolas de Fuller y de Bolomey dan dos familias de curvas granulométricas muy utilizadas para obtener adecuadas dosificaciones de áridos.<sup>23</sup>

#### Agua

El agua de amasado interviene en las reacciones de hidratación del cemento. La cantidad de la misma debe ser la estricta necesaria, pues la sobrante que no interviene en la hidratación del cemento se evaporará y creará huecos en el hormigón disminuyendo la resistencia del mismo. Puede estimarse que cada litro de agua de amasado de exceso supone anular dos kilos de cemento en la mezcla. Sin embargo una reducción excesiva de agua originaría una mezcla seca, poco manejable y muy difícil de colocar en obra. Por ello es un dato muy importante fijar adecuadamente la cantidad de agua.

Durante el fraguado y primer endurecimiento del hormigón se añade el agua de curado para evitar la desecación y mejorar la hidratación del cemento.

Ambas, el agua destinada al amasado, como la destinada al curado deben ser aptas para cumplir su función. El agua de curado es muy importante que sea apta pues puede afectar más negativamente a las reacciones químicas cuando se está endureciendo el hormigón. Normalmente el agua apta suele coincidir con la potable y están normalizados una serie de parámetros que debe cumplir. Así en la normativa está limitado el pH, el contenido en sulfatos, en ion cloro y los hidratos de carbono.

Cuando una masa es excesivamente fluida o muy seca hay peligro de que se produzca el fenómeno de la segregación (separación del hormigón en sus componentes: áridos, cemento y agua). Suele presentarse cuando se hormigona con caídas de material superiores a los 2 metros.

#### Otros componentes minoritarios

Los componentes básicos del hormigón son cemento, agua y áridos; otros componentes minoritarios que se pueden incorporar son: adiciones, aditivos, fibras, cargas y pigmentos.

Pueden utilizarse como componentes del hormigón los aditivos y adiciones, siempre que mediante los oportunos ensayos, se justifique que la sustancia agregada en las proporciones y condiciones previstas produce el efecto deseado sin perturbar excesivamente las restantes características del hormigón ni representar peligro para la durabilidad del hormigón ni para la corrosión de las armaduras.

Las **adiciones** son materiales inorgánicos, puzolánicos o con hidraulicidad latente que, finamente molidos, pueden ser añadidos al hormigón en el momento de su fabricación, con el fin de mejorar alguna de sus propiedades o conferirle propiedades especiales. La EHE recoge únicamente la utilización de las cenizas volantes y el humo de sílice, determinando sus limitaciones.

Los **aditivos** son sustancias o productos que se incorporan al hormigón, antes o durante el amasado, produciendo la modificación de alguna de sus características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento. La EHE establece una proporción no superior a los 5% del peso del cemento y otros condicionantes.

## Anexo 5

### Balanzas para dosificación de áridos

