



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI.**

**UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y  
APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**TESIS DE GRADO**

**TÍTULO:**

“INCREMENTAR LA CONFIABILIDAD DEL VARIADOR DE VELOCIDAD DE 1500 KW DEL VENTILADOR DE TIRO INDUCIDO DE LA PLANTA DE MOLIENDA LATACUNGA, HOLCIM ECUADOR S.A.”

Tesis presentada previa a la obtención del título de Ingeniero Industrial

**AUTOR:**

Aguilar Peñaloza Cristian Renán

**DIRECTOR:**

PhD. Ulloa Enríquez Medardo Ángel.

**LATACUNGA – ECUADOR.**

**2016**



## FORMULARIO DE LA APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi y por la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, el postulante:

- Aguilar Peñaloza Cristian Renán

Con la tesis, cuyo título es: **“INCREMENTAR LA CONFIABILIDAD DEL VARIADOR DE VELOCIDAD DE 1.500 KW DEL VENTILADOR DE TIRO INDUCIDO DE LA PLANTA DE MOLIENDA LATACUNGA, HOLCIM ECUADOR S.A.”**

Ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúnen los méritos suficientes para ser sometidos al **Acto de Defensa de Tesis** en la fecha y hora señalada.

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

Latacunga, 21 de marzo del 2016

Para constancia firman:

---

*Ing. Edison Salazar*  
**PRESIDENTE**

---

*Dr. Galo Terán*  
**MIEMBRO**

---

*Ing. Raúl Andrango*  
**OPOSITOR**

---

*Ing. Medardo Ulloa*  
**TUTOR (DIRECTOR)**



## AUTORÍA

Cada uno de los aspectos y criterios, fundamentados en el presente trabajo de investigación de tesis titulado **“INCREMENTAR LA CONFIABILIDAD DEL VARIADOR DE VELOCIDAD DE 1500 KW DEL VENTILADOR DE TIRO INDUCIDO DE LA PLANTA DE MOLIENDA LATACUNGA, HOLCIM ECUADOR S.A.”** son producto de la investigación, pertenecen y son de exclusiva responsabilidad del autor Aguilar Peñaloza Cristian Renán, portador de la CC: 070340394-9; por lo tanto la información presentada es veraz y en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos del autor vigentes.

.....  
Aguilar Peñaloza Cristian Renán

C.C: 070340394-9



## AVAL DE DIRECTOR DE TESIS

En calidad de Director del trabajo de investigación sobre el tema:  
**“INCREMENTAR LA CONFIABILIDAD DEL VARIADOR DE VELOCIDAD DE 1.500 KW DEL VENTILADOR DE TIRO INDUCIDO DE LA PLANTA DE MOLIENDA LATACUNGA, HOLCIM ECUADOR S.A.”**

Del señor estudiante; Aguilar Peñaloza Cristian Renán postulante de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas especialidad Ingeniería Industrial,

CERTIFICO QUE:

Una vez revisado el documento entregado a mi persona, considero que dicho informe investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científicos - técnicos necesarios para ser sometidos a la Evaluación del Tribunal de Grado, que el Honorable Consejo Académico de la Unidad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, 21 de marzo del 2016

EL DIRECTOR

.....  
PhD. Ulloa Enríquez Medardo Ángel.

CC: 1000970325

**DIRECTOR DE TESIS**



## AVAL DE ASESOR METODOLÓGICO

En calidad de Asesor Metodológico del trabajo de investigación sobre el tema:  
**“INCREMENTAR LA CONFIABILIDAD DEL VARIADOR DE VELOCIDAD DE 1.500 KW DEL VENTILADOR DE TIRO INDUCIDO DE LA PLANTA DE MOLIENDA LATACUNGA, HOLCIM ECUADOR S.A.”**

Del señor estudiante; Aguilar Peñaloza Cristian Renán, postulante de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas especialidad Ingeniería Industrial,

CERTIFICO QUE:

Una vez revisado el documento entregado a mi persona, considero que dicho informe investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científicos - técnicos necesarios para ser sometidos a la Evaluación del Tribunal de Grado, que el Honorable Consejo Académico de la Unidad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, 21 de marzo del 2016.

.....  
PhD. Medardo Ángel Ulloa Enríquez.

CC: 1000970325

**ASESOR METODOLÓGICO**



Holcim Ecuador S.A.  
San Rafael, Vía San Juan

Tel.: (593-3) 2389 177  
Tel.: (593-3) 2389 133  
Latacunga, Ecuador

## CERTIFICADO DE IMPLEMENTACIÓN

En calidad de coordinador del área de mantenimiento, de la planta Latacunga de Holcim Ecuador S.A., CERTIFICO, que el Sr. Aguilar Peñaloza Cristian Renán con CC: 0703403949, en calidad de egresado, de la carrera de Ingeniería Industrial, de la Universidad Técnica de Cotopaxi, ha realizado actividades relacionadas a la investigación (Tesis), sobre el tema: **“INCREMENTAR LA CONFIABILIDAD DEL VARIADOR DE VELOCIDAD DE 1.500 KW DEL VENTILADOR DE TIRO INDUCIDO DE LA PLANTA DE MOLIENDA LATACUNGA, HOLCIM ECUADOR S.A.”**

Tema que aportará con el desarrollo profesional en los ámbitos: productivo, de mantenimiento y operaciones.

Latacunga, 21 de marzo de 2016

Atentamente,

.....

Ing. Marco Alcázar Freire.

Coordinador de Mantenimiento.

## **AGRADECIMIENTO**

*El desarrollo profesional, se logra junto con el esfuerzo y dedicación. Quiero agradecer a mi familia, a mi esposa e hijos, el esfuerzo de cada uno me ha permitido cumplir un objetivo más; y a la empresa Holcim Ecuador S.A. por permitirme desarrollarme profesionalmente y realizar un tema de investigación.*

*A la Universidad Técnica de Cotopaxi, Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, a la carrera de Ingeniería Industrial, junto con todos los docentes; por brindarme el espacio académico y haberme dado la oportunidad de superarme en el ámbito profesional.*

*A mi tutor el Ing. Medardo Ulloa, quien ha permitido establecer las pautas para el desarrollo analítico y científico de mi trabajo de grado.*

*Cristian*

## **DEDICATORIA**

*El presente trabajo de investigación es dedicado a mi familia, juntos cada uno de ellos, padres, esposa e hijos me han permitido seguir adelante y me han brindado el apoyo durante todo el periodo universitario.*

*Agradecerle a Dios, por darme la fortaleza y salud para continuar con un logro profesional y familiar. Sin su bendición y cobijo cualquier ser humano puede sentirse débil y sucumbir.*

*Cristian*

# INDICE GENERAL

CARATULA.....	i
FORMULARIO DE LA APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	ii
AUTORÍA.....	iii
AVAL DE DIRECTOR DE TESIS .....	iv
AVAL DE ASESOR METODOLÓGICO.....	v
CERTIFICADO DE IMPLEMENTACIÓN .....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
DEDICATORIA .....	viii
INDICE GENERAL.....	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	xii
ÍNDICE DE CUADROS.....	xiv
INDICE DE TABLAS .....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT .....	xvii
AVAL DE TRADUCCIÓN .....	xviii
INTRODUCCIÓN .....	xix
CAPITULO I.....	1
1    Fundamentación Teórica.....	1
1.1    Antecedentes investigativos .....	1
1.2    Proceso para la elaboración del cemento.....	2
1.2.1    Descripción del proceso de elaboración del cemento.....	3
1.2.2    Molinos verticales para cemento. ....	6
1.2.3    Ventiladores. ....	8
1.2.4    Variadores de frecuencia.....	12

1.2.5	Confiabilidad de equipos. ....	18
CAPITULO II .....		36
2	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS. ....	36
2.1	Entorno del lugar de investigación. ....	36
2.1.1	Generalidades de la empresa.....	36
2.2	Tipo de investigación. ....	41
2.2.1	Metodología de la investigación. ....	42
2.3	Análisis e interpretación de resultados .....	43
2.3.1	Cálculo de potencia del ventilador principal del molino. ....	43
2.3.2	Consumo específico de energía eléctrica del ventilador principal.....	45
2.3.3	Datos estadísticos del consumo específico contra la producción de planta Latacunga. ....	47
2.1	Planteamiento de la hipótesis. ....	60
2.2	Verificación de la Hipótesis. ....	60
CAPITULO III .....		64
3	Presentación de la propuesta.....	64
3.1	Objetivo General .....	64
3.2	Objetivos Específicos .....	65
3.3	Análisis de factibilidad.....	65
3.3.1	Técnica.....	65
3.3.2	Económica.....	66
3.3.3	Operacional.....	67
3.4	Desarrollo de la propuesta. ....	68
3.4.1	Requisitos.....	68
3.4.2	Planes de Mantenimiento.....	72
3.4.3	Métodos de refrigeración. ....	100

3.4.4	Costo beneficio. ....	103
3.4.5	Consumo racional de energía eléctrica. ....	105
	CONCLUSIONES .....	106
	RECOMENDACIONES .....	107
	GLOSARIO DE TÉRMINOS Y SIGLAS .....	108
	TRABAJOS CITADOS .....	109
	BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA .....	110
	BIBLIOGRAFÍA VIRTUAL .....	111
	ANEXOS.....	113

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO: 1 PROCESO DE ELABORACIÓN DEL CEMENTO.....	3
GRÁFICO: 2 MOLIENDA DE CEMENTO PARA MOLINOS VERTICALES..	7
GRÁFICO: 3 METODOS DE REGULACIÓN EN VENTILADORES INDUSTRIALES .....	12
GRÁFICO: 4 ESQUEMA DE UN VARIADOR DE FRECUENCIA.....	15
GRÁFICO: 5 MODULACIÓN DE ANCHO DE PULSO.....	16
GRÁFICO: 6 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA PLANTA LATACUNGA, HOLCIM ECUADOR S.A.....	38
GRÁFICO: 7 CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELECTRICA VS. PRODUCCIÓN 2003 - 2015.....	47
GRÁFICO: 8 CONSUMO DE ENERGÍA ELECTRICA VS. PRODUCCIÓN 2005.....	48
GRÁFICO: 9 DATOS DEL VENTILADOR PRINCIPAL DICIEMBRE 2005..	49
GRÁFICO: 10 INTERFACE HOMBRE MÁQUINA DEL CONTROL CENTRAL, MOLIENDA DE CEMENTO PLANTA LATACUNGA.....	49
GRÁFICO: 11 CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA VS. PRODUCCIÓN 2006.....	53
GRÁFICO: 12 CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA VS. PRODUCCIÓN 2007 .....	54
GRÁFICO: 13 CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELECTRICA VS. PRODUCCIÓN 2008 .....	54
GRÁFICO: 14 CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA VS. PRODUCCIÓN 2009.....	55

GRÁFICO: 15 CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA VS. PRODUCCIÓN 2010.....	56
GRÁFICO: 16 CONSUMO DE ENERGÍA ELECTRICA VS. PRODUCCIÓN 2011.....	57
GRÁFICO: 17 CONSUMO DE ENERGÍA ELECTRICA VS. PRODUCCIÓN 2012.....	57
GRÁFICO: 18 CONSUMO DE ENERGÍA ELECTRICA VS. PRODUCCIÓN 2013.....	58
GRÁFICO: 19 CONSUMO DE ENERGÍA ELECTRICA VS. PRODUCCIÓN 2014.....	59
GRÁFICO: 20 CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA VS. PRODUCCIÓN 2015.....	59
GRÁFICO: 21 CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGIA ELÉCTRICA 2003- 2015.....	67
GRÁFICO: 22 VENTILADORES INDUSTRIALES SIEMENS.....	101
GRÁFICO: 23 COSTOS DE REPARACIÓN VS. AHORRO.....	103

## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1: FACTORES DE LA CONFIABILIDAD OPERACIONAL.....	19
CUADRO 2: HERRAMIENTAS PARA LA CONFIABILIDAD OPERACIONAL.....	22
CUADRO 3: CAUSAS DE UNA ALTA VIBRACIÓN. ....	24
CUADRO 4: FACTORES DE INFLUENCIA EN LA FIABILIDAD. ....	33
CUADRO 5: PROCESOS Y ETAPAS DEL MANTENIMIENTO.....	35
CUADRO 6: ORGANIGRAMA DE PLANTA LATACUNGA. ....	41
CUADRO 7: REGISTRO DE CONSUMO DE ENERGÍA ELECTRICA PARA ESTABLECER LA GARANTÍA. ....	46
CUADRO 8: ANÁLISIS FODA DE LA MANO DE OBRA. ....	66
CUADRO 9: PLANES DE MANTENIMIENTO .....	70
CUADRO 10: CALCULO DEL VALOR PRESENTE NETO.....	104
CUADRO 11: CONSUMIDORES DEL ÁREA DE MOLIENDA.....	105

## INDICE DE TABLAS

TABLA 1: CÁLCULO DE LAS FRECUENCIAS OBSERVADAS Y ESPERADAS.....	61
TABLA 2: ANÁLISIS DE AÑOS DE OPERACIÓN VENTILADOR PRINCIPAL Y CÁLCULO DEL CHI CUADRADO.....	62
TABLA 3: OPERACIONALIZACION DE VARIABLES.....	63
TABLA 4: REPUESTOS RECOMENDADOS.....	69
TABLA 5: MATERIALES.....	71
TABLA 6: MANO DE OBRA.....	71

**TEMA: “INCREMENTAR LA CONFIABILIDAD DEL VARIADOR DE VELOCIDAD DE 1.500 KW DEL VENTILADOR DE TIRO INDUCIDO DE LA PLANTA DE MOLIENDA LATACUNGA, HOLCIM ECUADOR S.A.”**

**Postulante:** Aguilar Peñaloza Cristian Renán.

## **RESUMEN**

Holcim Ecuador S.A. posee una planta de molienda de cemento, llamada planta Latacunga, uno de sus principales procesos es la molienda de cemento, denominada así por el proceso de pulverización de materias primas para la elaboración del cemento. Esta planta industrial cuenta con un molino vertical de rodillos y un ventilador principal como dos de los equipos más importantes para este proceso productivo. Esta planta implementó la instalación de un variador de frecuencia de 1500 Kw para la operación y control del ventilador principal en el 2003, los resultados esperados fueron alcanzados, demostrando un mejor control de flujo de aire y de la mano un significativo ahorro de energía eléctrica en este proceso. Sin embargo luego de aproximadamente dos años de operación, el variador de frecuencia empezó a reportar fallos que provocaban paradas del proceso de molienda de cemento, llegando en algunas ocasiones a quedar fuera de servicio.

Este trabajo de investigación está basado en un método básico de investigación de campo que parte desde el punto de vista general a lo particular con la utilización de herramientas de análisis como diagramas de causa – efecto, pareto, árbol de problemas entre otros, en busca de establecer e identificar las posibles causas de fallos en el variador de frecuencia del ventilador principal para aumentar su confiabilidad y garantizar una marcha continua del proceso de molienda de cemento, sin paradas provocadas por este equipo. La propuesta del presente trabajo de investigación fue enfocada en definir de planes de mantenimiento y acciones correctivas que cubran y garanticen el correcto funcionamiento del variador de frecuencia.

**TOPIC: “TO INCREASE THE REABILITY OF 1500 KW VARIABLE SPEED DRIVE FROM MAIN FAN IN LATACUNGA PLANT, HOLCIM ECUADOR S.A.”**

**Author:** Aguilar Peñaloza Cristian Renán

**ABSTRACT**

Holcim Ecuador has a cement grinding plant, called Latacunga plant, one of the main processes is cement grinding, it's denominated like the spraying process for the production of raw materials cement. This industrial plant has a vertical roller mill and a main fan as two of the most important equipment for this production process. This plant implemented the installation of a Variable Speed Drive of 1500 Kw for the operation and control of the main fan in 2003; the expected results were achieved, demonstrating a better airflow control and a significant saving of electric energy in this process. But after about two years of operation, the variable speed drive began to report failures. It provokes stops cement grinding process, sometimes reaching to out of service.

This research is based on field method that starts from a general point of view the particular with the use of analysis tools such as diagrams cause - effect, pareto, problem tree among others, seeking to establish and identify possible causes of faults in the variable speed drive in main fan to increase reliability and ensure continuous operation of the cement grinding process, it doesn't have stops caused by this equipment. The proposal of this research was focused on to define maintenance plans and corrective actions to cover and ensure the correct functioning of the variable speed drive.



## AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro Cultural de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal CERTIFICO que: La traducción del resumen de tesis al Idioma Inglés presentado por el señor Egresado de la Carrera de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas: **AGUILAR PEÑALOZA CRISTIAN RENÁN**, cuyo título versa, “**INCREMENTAR LA CONFIABILIDAD DEL VARIADOR DE VELOCIDAD DE 1.500 KW DEL VENTILADOR DE TIRO INDUCIDO DE LA PLANTA DE MOLIENDA LATACUNGA, HOLCIM ECUADOR S.A.**”, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimare conveniente.

Latacunga, 21 de marzo del 2016

Atentamente,

.....  
Lic. MSc. Marco Beltrán Semblantes.  
**DOCENTE CENTRO CULTURAL DE IDIOMAS**  
**C.C. 0502666514**

## INTRODUCCIÓN

En la planta de molienda de cemento de Holcim Ecuador S.A. ubicada en la ciudad de Latacunga, se encuentra instalado un molino vertical de rodillos y un ventilador de tiro inducido, dos equipos principales e importantes para poder realizar la molienda de cemento de esta planta. Cuando se concibe este proyecto se opta por el desarrollo de un molino vertical de la marca PFEIFFER de origen alemán, donde se conceptualizó y estableció el diseño para los dos equipos importantes (por su consumo de energía) y el método del control de flujo de gases calientes para el proceso de molienda de cemento.

Una vez realizadas las pruebas de garantía del molino en el año 2002, se registraron y comprobaron los valores de diseño tales como:

- Tasa de producción 116 t/h.
- Consumos específicos de energía eléctrica:
- Motor del molino en 17,5 Kwh/t.
- Motor del ventilador en 14,3 Kwh/t.
- Motor del separador en 1,88 Kwh/t.

Al inicio de la operación de la planta de Molienda Latacunga, el Ventilador de Tiro Principal del Molino se operaba, conectando el motor directamente a la línea de 4.160 V mediante un interruptor de media tensión. El Torque y la Corriente, al arranque del motor se controlaban mediante una resistencia variable conectada temporalmente a su rotor durante el tiempo de arranque; permitiendo controlar el torque y la corriente de arranque (aproximadamente 15 s), luego del cual sale de servicio la resistencia variable (resistencia en cortocircuito). El flujo de gases asociado a la operación del Ventilador se controlaba mediante una compuerta del tipo álabes instalada en la impulsión del mismo. Para una operación promedio, dicha compuerta debía estrangularse hasta alrededor de un 45 % de apertura.

Bajo este modo de operación, el consumo específico de energía eléctrica aportado por el Ventilador Principal era, en promedio, 14 Kwh/t (kilovatio-hora por tonelada de cemento). Este valor de consumo se considera excesivo para indicadores estándar respecto a la molienda de cemento.

Debido a la necesidad de controlar el flujo de gases (gas caliente y cemento) producido por el ventilador principal del molino vertical de cemento de una manera más eficiente, se instaló un Variador de Frecuencia (VSD, por sus siglas en inglés) para la operación del motor de accionamiento del mismo.

Este variador se instaló en el año 2003, seleccionando un tipo de tecnología conocida como HI-LO-HI (Alto – Bajo – Alto), del fabricante SIEMENS. La potencia nominal de este equipo es de 1500 KW y opera con un voltaje de entrada de 650 V.

En primera instancia, el voltaje se reduce de 4.160 V a 650 V mediante un Transformador Reductor de doble devanado secundario. Se puede decir entonces que el Variador, propiamente dicho, funciona con un voltaje de entrada de 650 V.

Luego de haber realizado su trabajo, el Variador envía su salida al Motor del Ventilador Principal pasando por un Transformador de Elevación de relación nominal 650V a 4.160 V, por esto su nombre de tecnología HI (alto) - LO (bajo) - HI (alto).

(SIEMENS AG, 1999)

El **Capítulo I** contiene la fundamentación teórica de la investigación la misma que contiene: Investigación de procesos productivos del cemento, Moliendas de cemento con molinos verticales, Ventiladores, Variadores de frecuencia, Confiabilidad de equipos.

El **Capítulo II** establece la reseña histórica de la institución donde se aplicó la investigación, por lo tanto se realizara el análisis e interpretación de los resultados basados en los métodos de investigación, a través de los consumos históricos de energía de la planta, también se encontrará la verificación y comprobación de la hipótesis.

El **Capítulo III** se plantea las propuestas de solución al tema de investigación; que están enfocadas a; Planes de mantenimiento del equipo, Implementar métodos de refrigeración, Establecer la relación del costo de mantenimiento y el beneficio obtenido para la empresa.

En los **anexos** se encontraran tablas comparativas, históricos sobre registros de mantenimiento del variador de velocidad, fotografías a cerca de las averías presentadas por el variador de velocidad, diagramas de pareto, análisis de causa efecto y gráficos históricos de las tendencias de la operación.

# **CAPITULO I**

## **1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **1.1 Antecedentes investigativos**

Una vez consultados y revisados los archivos bibliotecarios disponibles, no se encontraron trabajos de investigación similares acerca de este tema; por lo tanto el presente trabajo de investigación se fundamenta en la información recopilada de la planta Latacunga y los manuales de operación del Variador de Velocidad.

A partir de mediados del año 2003, con la instalación y puesta en marcha del Variador de Frecuencia para el motor del Ventilador Principal, el consumo específico de energía eléctrica relacionado con este equipo redujo a 7 Kwh/t, con su correspondiente reducción en el costo de producción. Esto como consecuencia de operación más eficiente con baja velocidad del ventilador y sin estrangulación para lograr el flujo de gases calientes para el proceso de molienda de cemento.

Luego del éxito inicial respecto al proyecto de Instalación del Variador de Frecuencia para el Ventilador Principal, se producen inconvenientes respecto a fallas de este nuevo equipo.

Las repetidas fallas del Variador de Frecuencia provocan un paro en la producción, alterando el proceso productivo por las variaciones en el flujo de gases calientes; pero además un consumo excesivo de energía eléctrica. Esto debido a que al salir de servicio el mismo se debe readecuar las instalaciones eléctricas para arrancar el motor según el diseño original (arranque directo sobre línea con resistencia rotórica) y para controlar el flujo de gases a través de compuerta estrangulada. Es decir, regresar a condiciones originales. Además se debe considerar el recurso hora-hombre de mantenimiento utilizado para la reparación.

El tiempo de reparación de este equipo está en el orden de cinco a ocho días, debido a la necesidad del traslado de un técnico especializado y la compra de repuestos desde el exterior.

## **1.2 Proceso para la elaboración del cemento**

El cemento portland fue inventado por los romanos en el siglo XVIII a través de varios procesos de pulverización y calcinación de materias primas como, caliza, arcilla, yeso, etc. Dando paso a la formación de subproductos como el crudo o harina cruda, clinker; este último es la base para la producción del cemento en conjunto con la adición de yeso y aditivos minerales como la puzolana que dan forma el cemento, conocido como cemento portland tipo puzolanico.

El cemento en conjunto con otros elementos puede formar:

Pastas de cemento (cemento + agua)

Morteros (cemento + agua + arena)

Hormigones (cemento + agua + arena + áridos)

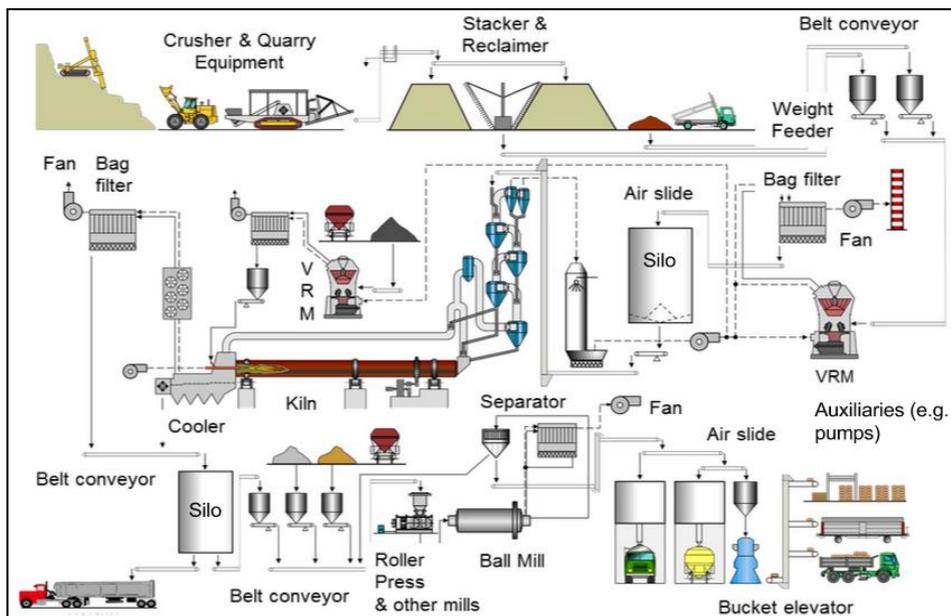
Para poder iniciar un proceso de fabricación de cemento se debe contar con las siguientes materia primas:

Caliza, que es una piedra natural y dura, compuesta químicamente por carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

Arcilla, es un material constituido principalmente de sílice y óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) aproximadamente 60% a 65% y óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) aproximadamente 16 a 18%; de cal ( $\text{CaO}$ ) aproximadamente 4 a 5% y óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) aproximadamente de 4 a 6%. Al adicionar la arcilla como componente provoca la transformación del cemento en un producto alcalino. Yeso, este material actúa como retardante en el proceso de fraguado y se adiciona en proporciones aproximadas de 4 a 6%.

### 1.2.1 Descripción del proceso de elaboración del cemento.

**GRÁFICO: 1** PROCESO DE ELABORACIÓN DEL CEMENTO.



**Fuente:** Holcim Ecuador S.A.  
**Elaborado por:** Cristian Aguilar Peñaloza.

El proceso de fabricación de cemento consta básicamente de seis etapas que se explican a continuación:

### **Extracción de caliza.**

Para este proceso se utilizan explosivos insertados a través de perforaciones profundas; que fraccionan la roca en las canteras de caliza. Permitiendo el proceso de cargue y acarreo de material en vehículos; para el transporte hasta las instalaciones industriales para luego ser triturado y reducir su tamaño (reducción o destrucción mecánica). Para el proceso de voladura se establecen parámetros de control tanto para la seguridad del personal operativo y el medio ya que por su característica de explosión, propaga la onda sonora en forma de ruido y vibraciones. A sí mismo la arcilla es extraída de canteras con equipo caminero y luego cargada para ser transportada hasta los centros de acopio en la planta industrial.

### **Pre-Homogenización.**

Esta es una etapa muy importante ya que esta permite controlar las variaciones en la composición química de las materias primas obtenidas en los procesos anteriores; generando controles que permiten garantizar las características requeridas para el producto final.

### **Molienda de crudo.**

En esta etapa se llevan la caliza, arcilla y aditivos minerales, que son dosificados a un sistema de transporte y llevados a molinos en donde se pulverizan a través de proceso de vía seca (destrucción mecánica); hasta obtener el subproducto llamado crudo o harina cruda. Este material es transportado y almacenado en grandes silos circulares de homogenización construidos de concreto por su alta capacidad de almacenamiento y volumen. Estos silos poseen en su interior un sistema de

aireación que impulsa aire al material provocando un movimiento continuo de la harina cruda y reduciendo las variaciones en su composición química.

### **Calcinación.**

El proceso de calcinación es llevado a cabo principalmente en sistemas de torres pre-calentadoras, hornos rotativos horizontales y enfriadoras, aquí es donde la harina cruda es sometida a una destrucción térmica para dar paso a la principal materia prima conocida como Clinker; con temperaturas que alcanzan los 1200 °C en las últimas etapas de los hornos y luego enfriado en cámaras de enfriamiento con ventiladores.

### **Molienda de Cemento.**

En esta etapa, se adicionan el Clinker y el yeso para producir el cemento; la mezcla de estos dos materiales da paso al cemento conocido como portland. Con el paso del tiempo y los estudios se han ido agregando aditivos como la puzolana y otros aditivos minerales, dando origen al cemento conocido como portland tipo puzolánico. Para esto se utilizan molinos horizontales de bolas también conocidos como molinos tubulares, y también molinos verticales; el cemento producido es almacenado en grandes silos de cemento.

### **Empaque y despacho.**

En esta área se utilizan por lo general dos líneas para el despacho, a granel y ensacado; en sacos de papel. El sistema de cargue al granel, permite despachar grandes volúmenes de cemento en camiones cisterna a través de mangas de cargue.

En cambio el sistema de ensacado, se realiza a través de máquinas de envasado rotativas por medio de las cuales el cemento es envasado en sacos de papel y transportado hacia las bahías de despacho o hacia sistemas automáticos de paletizado, para ser cargado en camiones plataforma o almacenado en pilas de sacos paletizados.

### 1.2.2 *Molinos verticales para cemento.*

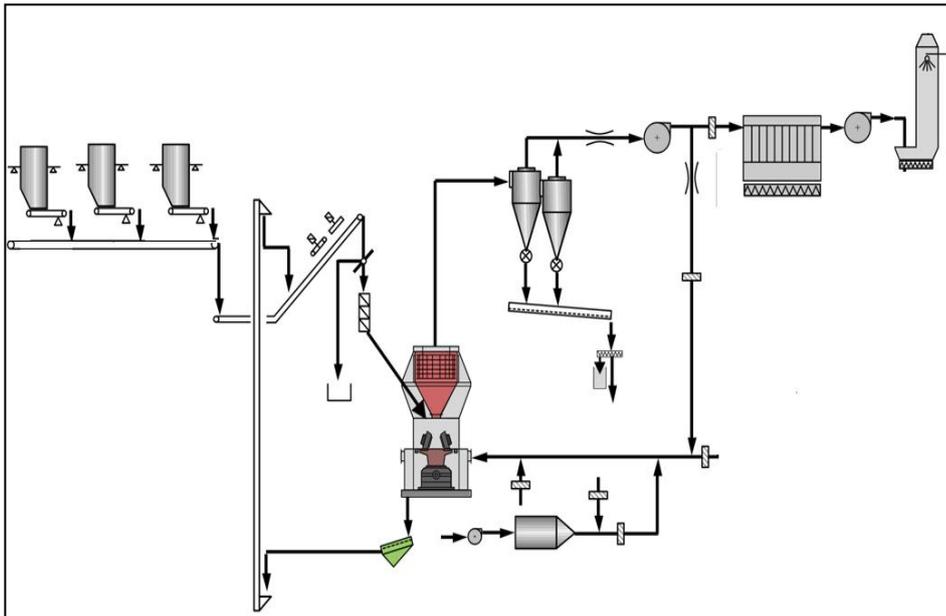
#### **Principios de trabajo.**

El material que llega desde la dosificación cae sobre la mesa o pista que se asienta sobre el plato, y éste, a su vez, sobre el reductor de engranajes, girando con él. Al pasar el material entre los rodillos y la pista se produce la molienda por un doble efecto de presión y roce. La fuerza centrífuga lanza el material hacia la periferia del plato, donde es recogido por la corriente ascendente de gases que penetran en la cámara de molienda a través de la corona de álabes, también conocida como anillo de toberas.

Las partículas molidas son succionadas desde la parte superior a través de un separador dinámico montado sobre el cuerpo del molino. La aspiración se realiza mediante una soplante o ventilador de forma que todo el circuito trabaja en depresión. Al girar, las paletas del separador, rechazan las partículas más gruesas, que vuelven a caer sobre la pista para ser molidas de nuevo. Modificando las revoluciones del separador se regula la finura del material.

El producto terminado abandona el separador junto con la corriente de gas que es decantada en ciclones o en un filtro de desempolvado para su posterior transporte y almacenamiento dentro de silos de almacenamiento. (Dr. Ing. JUAN M. HIDALGO DE CISNEROS ALONSO)

## GRÁFICO: 2 MOLIENDA DE CEMENTO PARA MOLINOS VERTICALES.



Fuente: Holcim Ecuador S.A.  
Elaborado por: Cristian Aguilar Peñaloza.

### Las ventajas

#### Bajos costes de inversión.

Los molinos MPS precisan de pocas máquinas adicionales, de ningún o de poco volumen de construcción, están exentos de polvo y tienen un nivel de sonido bajo.

#### Bajo consumo de energía eléctrica.

El principio de molienda y el separador de elevado rendimiento reducen el consumo de energía eléctrica, en comparación con los molinos de bolas convencionales, hasta en un 40 %.

#### Aprovechamiento óptimo del calor de proceso.

Los molinos de rodillos verticales MPS pueden aprovechar la energía térmica de los gases de escape del proceso de calcinación de los hornos de clinker.

### **Máxima disponibilidad.**

Porcentajes de desgaste específicos bajos, materiales de desgaste de alta calidad y conceptos de reparación avanzados reducen los tiempos de mantenimiento de los molinos de rodillos verticales MPS a un mínimo.

### **Acción de regulación económica.**

El alto rendimiento de secado, tiempo de permanencia del producto que debe ser molido y regulación a distancia de la presión de molido y del número de giros de la rueda del separador, posibilitan un funcionamiento completamente automático de los molinos de rodillos verticales MPS también con diferentes calidades de cemento.

(GEBR. PFEIFFER)

## **1.2.3 Ventiladores.**

Un ventilador esencialmente es una bomba de gas en vez de líquido; por lo tanto un ventilador es una turbo-máquina hidráulica generadora de gases.

A diferencia de los líquidos los gases son muy compresibles por esto la compresibilidad puede o no afectar al diseño de la máquina y también puede afectar la aplicabilidad de los conceptos y fórmulas; según que la variación de la densidad y por tanto del volumen específico, sea o no importante.

Existen consideraciones importantes para este análisis; si el gas puede considerarse incompresible, la máquina se llama ventilador y si el gas ha de considerarse compresible, la máquina se llama turbocompresor.

El ventilador es la turbo-máquina que absorbe energía mecánica y restituye energía a un gas, comunicándole un incremento de presión tal que el influjo de la compresibilidad puede despreciarse.

El compresor es la turbo-máquina, análoga a la anterior, pero que comunica al gas un incremento de presión tal que el influjo de la compresibilidad no puede despreciarse.

En resumen:

En el cálculo y funcionamiento del ventilador el gas se supone incompresible.

En el cálculo y funcionamiento del compresor el gas se supone compresible.

El ventilador es una máquina hidráulica.

El compresor es una máquina térmica.

### **Clasificación de los ventiladores según la presión total desarrollada.**

- Ventiladores de baja presión, presión total desarrollada inferior a 10 mbar.
- De media presión; presión total desarrollada superior a 10 e inferior a 30 mbar.
- De alta presión; presión total desarrollada superior a 30 e inferior a 100 mbar. (En estos últimos el efecto de la compresibilidad ya es apreciable.)

### **Clasificación de los ventiladores según la dirección del flujo.**

#### **1.2.3.1 Ventiladores Centrífugos.**

Los ventiladores centrífugos se adaptan a tres tipos conocidos como: baja, media y alta presión. No siendo el ventilador más que una bomba de gas, todas las formulas desarrolladas para las bombas son también aplicables a los ventiladores. Hay sin embargo, una excepción: el fenómeno de la cavitación, se produce al entrar el líquido en ebullición y es exclusivo, por tanto, de los líquidos.

La densidad del aire y la de cualquier gas varía mucho con la presión, aunque luego no varíe sensiblemente en su paso por el ventilador y la temperatura, no así la de los líquidos; tanto la presión que da un ventilador como la potencia de accionamiento del mismo son influenciadas grandemente por las variaciones de densidad en el aire o gas impulsado.

Un ensayo de un ventilador es inadmisiblesi no se conoce la densidad del gas con la cual se ha verificado el ensayo, o no se ha reducido el ensayo mediante leyes de semejanza a las condiciones normales. Afortunadamente, el aire y prácticamente todos los gases impulsados por los ventiladores obedecen con suficiente aproximación para los problemas prácticos a la ecuación de los gases perfectos. Esta ecuación sencilla permite determinar la densidad del gas en cada problema, a partir de la presión y de la temperatura.

Por el contrario, una bomba es prácticamente insensible a la variación de la densidad con la presión barométrica y mucho menos sensible que el ventilador a la variación de la densidad con la temperatura. El estado normal de un gas es el estado termodinámico que corresponde a una presión de 760 Torr y a una temperatura de 0°C. Aplicando la ecuación de los gases la densidad normal de aire será:

$$p_c = \frac{0.760 \times 13.600 \times 9.81}{286.9 \times 273.15} = 1.294 \frac{Kg}{m^3}$$

### **Ahorro de energía en equipos de carga variable. Ventiladores.**

Es el tipo de cargas en el cual las necesidades de potencia van disminuyendo conforme la velocidad de la carga disminuye. Este tipo de cargas se encuentra comúnmente en aplicaciones de flujo variable, como bombas, compresores y ventiladores centrífugos, etc. En este el VV ofrece grandes oportunidades de ahorro de energía, debido a que los requerimientos de potencia disminuyen considerablemente conforme la velocidad es menor.

#### **1.2.3.2 Aplicación de la ley cúbica.**

En el caso de sistemas de impulsión de fluidos líquidos y gaseosos cuando las presiones no son muy altas, como es el caso de bombas y ventiladores respectivamente, existen ciertos parámetros y leyes físicas que rigen su funcionamiento; por los fines y el alcance del presente curso no se detallará la teoría de dónde salen las relaciones que a continuación presentamos como las “leyes de semejanza” para fluidos y sus equipos impulsores.

Las ecuaciones utilizadas en bombas, ventiladores y compresores centrífugos son las siguientes:

$$\frac{D1}{D2} = \frac{Q1}{Q2} = \frac{N1}{N2}$$

$$\frac{D1}{D2} = \frac{Q1}{Q2} = \sqrt{\frac{H1}{H2}}$$

$$\frac{D1}{D2} = \frac{Q1}{Q2} = \sqrt[3]{\frac{Pot1}{Pot2}}$$

Tres de las cuatro variables deben ser conocidas para poder determinar la cuarta.

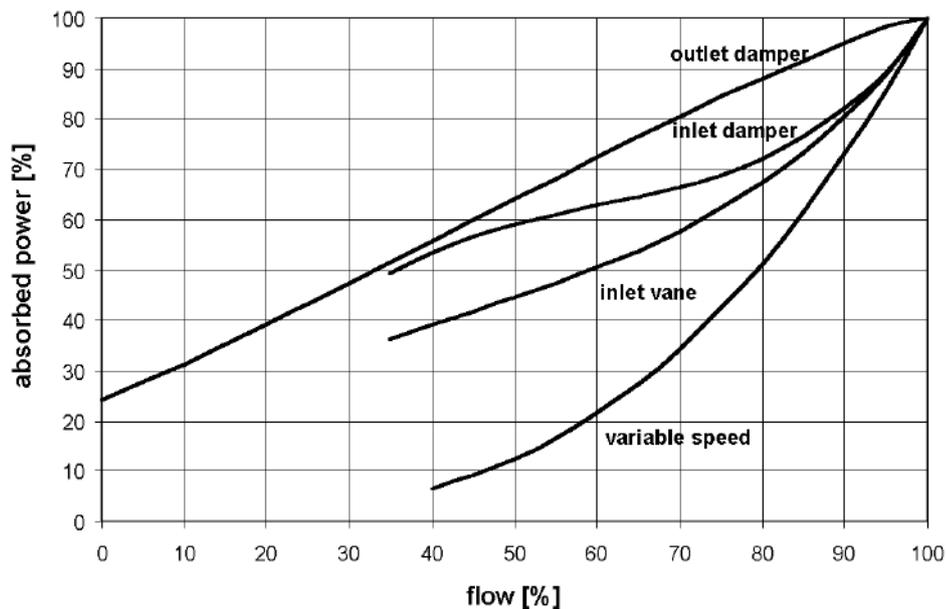
Q = Flujo [m<sup>3</sup>/s]

N = Velocidad de la bomba, ventilador, compresor [rpm]

Pot. = Potencia al freno, requerida por el equipo [Kw]

D = Diámetro del impulsor [m]

**GRÁFICO: 3 METODOS DE REGULACIÓN EN VENTILADORES INDUSTRIALES**



**Fuente:** Holcim Ecuador S.A.  
**Elaborado por:** Cristian Aguilar Peñaloza.

#### 1.2.4 *Variadores de frecuencia.*

Un accionamiento de velocidad variable (VSD, Variable Speed Drive) está constituido por un motor y algún tipo de controlador. Los primeros accionamientos eléctricos consistían en combinaciones de motores de CA y CC que eran utilizados como controladores rotatorios. A su vez, los primeros controladores eléctricos empleaban rectificadores (SCR) tiristores para controlar

la tensión y por consiguiente, la velocidad de los motores de CC. Esta clase de VSD de CC tiene todavía un extenso uso y ofrece una capacidad de control bastante sofisticada. Sin embargo, el motor de CC es caro, de gran tamaño y sus escobillas requieren de mantenimiento periódico.

El motor de inducción de CA, por el contrario, es sencillo, de bajo costo y tiene un extenso uso a nivel mundial. Pero para poder controlar la velocidad de un motor de inducción de CA, se requiere de un controlador más complejo que usualmente se denomina Convertidor de Frecuencia o Variador de Frecuencia (VFD, Variable Frequency Drives). A fin de entender el funcionamiento de un VFD es necesario entender primero el funcionamiento de un motor de inducción.

Un motor de inducción funciona igual que un transformador. Cuando se conecta el estator (devanado fijo externo) a una fuente de potencia trifásica, se genera un campo magnético rotatorio que gira de acuerdo a la frecuencia de la fuente.

Este campo giratorio cruza el entrehierro entre el estator y el rotor induciendo así corrientes en los devanados del rotor. Estas corrientes de rotor generan también un campo magnético rotatorio (en este caso, del rotor). Esto produce una fuerza sobre el rotor generándose un torque que pone al rotor en movimiento.

Si el rotor girase a la misma velocidad que el campo rotatorio del estator entonces no existirán inducciones en el rotor ni campo magnético rotatorio del rotor y, en consecuencia, tampoco existirá Torque. Por lo tanto, para poder generar Torque, el rotor siempre gira a una velocidad un poco menor que la del campo rotatorio del estator. Esta diferencia de velocidades se conoce como deslizamiento.

Al agrupar los devanados en pares (de polos), vemos que la frecuencia del campo rotatorio será menor a mayor número de polos en el motor. Por ejemplo, dos polos a  $50/60\text{Hz} = 3000/3600$  rpm, pero cuatro polos a  $50/60\text{Hz} = 1500/1800$  rpm.

En cualquier caso, la velocidad del campo giratorio depende de la frecuencia aplicada desde la fuente.

Por consiguiente, la velocidad del motor depende de la frecuencia aplicada, así como del arreglo del devanado y, en menor medida, de la carga. Por lo tanto, para controlar la velocidad de un motor de inducción es necesario controlar la frecuencia de la fuente de alimentación.

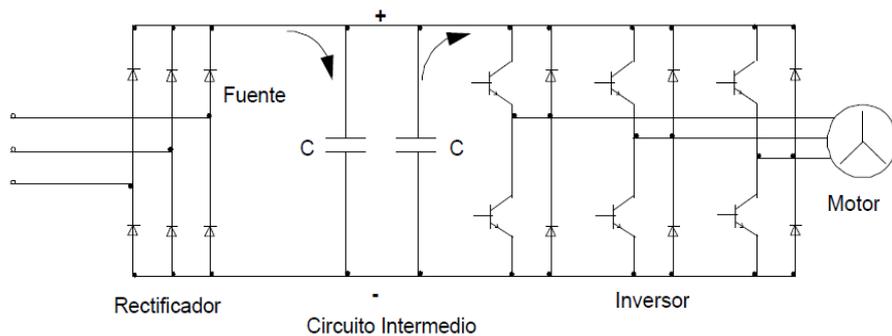
Si se reduce la frecuencia, es necesario reducir la tensión o de lo contrario el flujo magnético será demasiado elevado y el motor se saturará. Por tal motivo también es necesario controlar la tensión. Si se eleva la frecuencia por encima del valor nominal del motor, se necesitaría más tensión de la normal para mantener el flujo; usualmente esto es imposible por la limitación de tensión de la fuente. Por ello, es que existe menos torque disponible sobre la velocidad nominal del motor.

Por lo tanto, para poder controlar la velocidad de un motor de CA estándar es necesario controlar la frecuencia y tensión aplicadas. A pesar de que es difícil controlar la tensión y las frecuencias a potencias elevadas, el uso de un motor de inducción estándar permite un sistema de control de velocidad a un costo razonable.

Se conoce como inversor a un circuito electrónico que transforma la corriente continua (CC) en corriente alterna (CA). Los controladores electrónicos de velocidad para motores de CA, por lo general, convierten primero el suministro de CA en CC mediante el uso de un rectificador y, posteriormente, lo convierten una vez más utilizando un puente inversor, en una fuente de frecuencia y tensión de

CA variables. La conexión entre el rectificador y el inversor se denomina circuito intermedio. A continuación presentamos un diagrama de bloques de un controlador de velocidad, a menudo denominado VFD de Frecuencia.

**GRÁFICO: 4 ESQUEMA DE UN VARIADOR DE FRECUENCIA.**



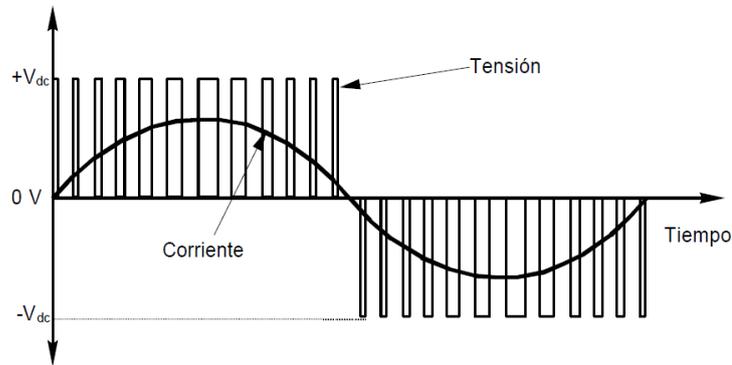
**Fuente:** Siemens AG, Accionamientos Estándar Siemens.

**Elaborado por:** Cristian Aguilar Peñaloza.

La fuente, que puede ser monofásica (usualmente a baja potencia) o trifásica, es aplicada a un rectificador de onda completa que alimenta a los capacitores del circuito intermedio. Los capacitores reducen los rizados de voltaje (especialmente en el caso de fuentes monofásicas) y suministran energía en lapsos cortos cuando existe una interrupción de la energía de entrada. La tensión en los capacitores no es controlada y depende de la tensión máxima del suministro de CA.

La tensión de CC es convertida nuevamente a CA a través de la Modulación por Ancho de Pulso (PWM, Pulse Width Modulation). La forma de onda deseada es creada conmutando los transistores de salida IGBTs (Insulated Gate Bipolar Transistors) entre encendido y apagado a una frecuencia fija (la frecuencia de conmutación). Se puede generar la corriente deseada al variar el tiempo de encendido y apagado de los transistores IGBT, pero la tensión de salida todavía es una serie de pulsos de onda cuadrada. En la siguiente figura se ilustra la Modulación por Ancho de Pulso.

## GRÁFICO: 5 MODULACIÓN DE ANCHO DE PULSO.



**Fuente:** Siemens AG, Accionamientos Estándar Siemens.  
**Elaborado por:** Cristian Aguilar Peñaloza.

Existen muchos aspectos complejos de los Variadores de frecuencia que deben considerarse durante el diseño:

El sistema de control para calcular los requerimientos PWM es muy complejo y se necesitan circuitos integrados de diseño especial (ASIC).

La electrónica de control a menudo se encuentra conectada al circuito intermedio, el cual está a su vez conectado a la fuente, por lo que las conexiones del cliente, pantalla, etc. deben de aislarse en forma segura. Es necesario monitorear cuidadosamente la corriente de salida para proteger el inversor y el motor durante alguna sobrecarga y/o cortocircuito.

Los capacitores están descargados en la primera conmutación del circuito intermedio por lo que es necesario limitar la corriente de arranque utilizando, por lo general, un resistor que es desconectado (bypass) mediante un relé, después de algunos segundos de haber energizado el equipo.

Todas las conexiones al VFD, en especial la fuente y las conexiones de control, pueden llevar mucha interferencia por lo que deben ser equipadas con

componentes adecuados de protección. Se requiere una fuente de alimentación interna con distintas tensiones de salida para abastecer la electrónica de control.

El VFD, en especial los transistores IGBT y diodos rectificadores, producen calor que debe ser disipado mediante el uso de un ventilador y un disipador. La tensión de salida PWM contiene muchos armónicos de alta frecuencia (debido a la rápida conmutación) que pueden ser una fuente importante de interferencia electromagnética (EMI).

El rectificador de entrada absorbe corriente solamente durante el pico de la forma de onda de la fuente por lo que las corrientes de entrada tienen un factor de forma débil (es decir, el valor RMS [valor cuadrático medio] puede ser bastante elevado, pero esto no significa que el VFD sea ineficiente).

El diseño de un VFD práctico debe ser de fácil uso e instalación. El diseño o ingeniería de los variadores de gran tamaño es por lo general específico para cada aplicación; el diseño de los variadores de menor tamaño es para aplicaciones generales y por tanto es estándar. La división A&D SD, Standard Drives, de Siemens fabrica variadores estándar hasta 125 HP (90 Kw) para aplicaciones de este tipo.

### **Gama de Accionamientos Estándar Siemens**

La actual gama de variadores estándar está constituida por cuatro tipos de productos:

MICROMASTER Vector. Accionamiento de velocidad variable de alto desempeño para aplicaciones generales, disponible en diversas gamas de tensión y potencia hasta 10 HP (7.5 Kw).

MICROMASTER. Gama similar con menos funciones para aplicaciones sencillas, como por ejemplo, donde requerimientos de baja velocidad y torque constante no son requeridos.

MIDIMASTER Vector. Versión de alta potencia del MICROMASTER Vector, con rango de potencia hasta 125 HP (90 Kw).

COMBIMASTER. Motor de inducción con un VFD (Micromaster Integrated) instalado sobre la caja de terminales del motor.

MASTERDRIVE Vector Control. Versión de alta potencia y control vectorial.

### ***1.2.5 Confiabilidad de equipos.***

#### ***1.2.5.1 Confiabilidad operacional.***

La Ingeniería de la Confiabilidad se destaca como el marco teórico en el cual conviven las metodologías y técnicas necesarias para la optimización del uso de los activos fijos.

La confiabilidad de un sistema o un equipo, es la probabilidad que dicha entidad pueda operar durante un determinado periodo de tiempo sin pérdida de su función. El fin último del Análisis de confiabilidad de los activos físicos es cambiar las actividades reactiva y correctivas, no programadas y altamente costosas, por acciones preventivas planeadas que dependan de análisis objetivos, situación actual e historial de equipos y permitan un adecuado control de costos.

La Confiabilidad Operacional se define como una serie de procesos de mejora continua, que incorporan en forma sistemática, avanzadas herramientas de diagnóstico, metodologías de análisis y nuevas tecnologías, para optimizar la gestión, planeación, ejecución y control de la producción industrial.

La Confiabilidad Operacional lleva implícita la capacidad de una instalación (procesos, tecnología, gente), para cumplir su función o el propósito que se espera de ella, dentro de sus límites de diseño y bajo un específico contexto operacional.

Es importante, puntualizar que en un sistema de Confiabilidad Operacional es necesario el análisis de sus cuatro parámetros operativos: confiabilidad humana, confiabilidad de los procesos, mantenimiento y confianza de los equipos; sobre los cuales se debe actuar si se quiere un mejoramiento continuo y de largo plazo. Estos cuatro elementos se muestran en el cuadro 1:

CUADRO 1: FACTORES DE LA CONFIABILIDAD OPERACIONAL



**Fuente:** Holcim Ecuador S.A.  
**Elaborado por:** Cristian Aguilar Peñaloza.

Un proceso de desarrollo de la Confiabilidad Operacional implica cambios en la cultura de la empresa, creando un organismo diferente con un amplio sentido de la productividad y con una visión clara de los fines del negocio. La variación en conjunto o individual que pueda sufrir cada uno de estos cuatro aspectos mostrados, afecta el desempeño general del sistema. Cualquier hecho aislado de mejora puede traer beneficios, pero no al considerarse los demás factores, sus

ventajas son limitadas o diluidas en la organización y pasan a ser el resultado de un proyecto y no de un cambio organizacional.

La confiabilidad en mantenimiento se estudia como la probabilidad que un equipo sobreviva sin fallas un determinado período de tiempo bajo determinadas condiciones de operación.

Sin embargo esta definición no demuestra en realidad todos los alcances que conlleva. La confiabilidad es más que una probabilidad; es una nueva forma de ver el mundo, en realidad es una cultura que debe implementarse a todos los niveles de la industria desde la alta dirección hasta el empleado de más bajo nivel. La confiabilidad como cultura busca que todas las actividades de producción y en general todas las tareas se efectúen bien desde la primera vez y por siempre; no se acepta que se hagan las cosas precariamente o a medias.

Esto implica un cambio en la mentalidad de todo el personal de la planta, nuevas formas de pensar y actuar, nuevos paradigmas; por esto es de radical importancia que la dirección de la empresa tome conciencia de la nueva situación y de su dificultad de conseguirla. Inculcar un cambio en la forma de pensar no es sencillo, cuesta gran cantidad de trabajo y tiempo; la dirección debe enfocar sus esfuerzos en la formación de sus empleados mediante políticas que permitan la participación del personal en planes de mejoramiento continuo de procesos, círculos de participación y demás elementos que persigan alcanzar los objetivos propuestos.

Todo lo anterior requiere de soporte gerencial de alto nivel y convencimiento de que no es una tarea fácil ni a corto plazo, donde se debe hacer una gran inversión de capital y tiempo, en capacitación y reconocimiento y donde los logros superan con creces las predicciones.

### 1.2.5.2 *Aplicación de la Confiabilidad Operacional*

Las estrategias de Confiabilidad Operacional se usan ampliamente en los casos relacionados con:

- Elaboración de los planes y programas de mantenimiento e inspección de equipos e instalaciones industriales.
- Solución de problemas recurrentes en los activos fijos que afecten los costos y la efectividad de las operaciones.
- Determinación de las tareas que permitan minimizar riesgos en los procesos, equipos e instalaciones y medio ambiente.
- Establecer procedimientos operacionales y prácticas de trabajo seguro.
- Determinar el alcance y frecuencia óptima de paradas de planta.

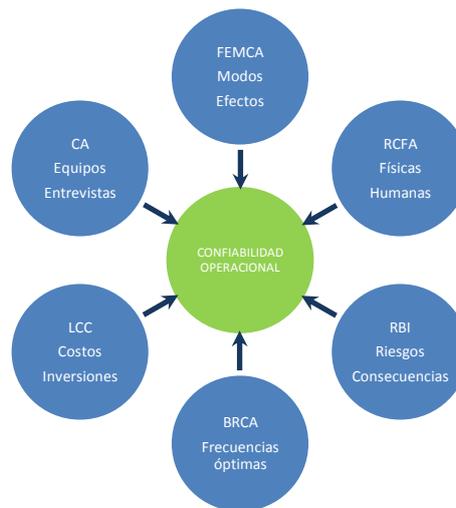
La Confiabilidad Operacional impulsa el establecimiento de tecnologías que faciliten la optimización industrial, entre las cuales se pueden destacar:

Modelaje de sistemas, en la confiabilidad operacional se gasta a nivel de elementos (equipos, procesos y clima organizacional) y se recibe beneficios a nivel de planta. Confiabilidad Organizacional, llamada también en forma sesgada error humano siendo este el ancla más fuerte. Gestión del Conocimiento, valor agregado de nuevas prácticas y conocimientos, a través de mediciones sistémicas, bancos de datos, correlaciones, simulaciones, minería de datos y estadísticas. Manejo de la incertidumbre, a través del análisis probabilístico de incertidumbre y riesgo asociado. Optimización Integral de la Productividad, a través de pruebas piloto en seguridad y confiabilidad desde el diseño.

### 1.2.5.3 *Herramientas de Confiabilidad Operacional*

La confiabilidad como metodología de análisis debe soportarse en una serie de herramientas que permitan evaluar el comportamiento del activo de una forma sistemática a fin de poder determinar el nivel de operatividad, la cuantía del riesgo y las demás acciones de mitigación que se requieren, para asegurar su integridad y continuidad operacional. Son múltiples las herramientas de que se sirve la confiabilidad con el fin de formular planes estratégicos para lograr la excelencia en las actividades e mantenimiento. Las seis que se muestran en el siguiente cuadro, a continuación son las más utilizadas:

CUADRO 2: HERRAMIENTAS PARA LA CONFIABILIDAD OPERACIONAL.



**Fuente:** Holcim Ecuador S.A.  
**Elaborado por:** Cristian Aguilar Peñaloza.

**Análisis de Criticidad (CA).** Es una técnica que permite jerarquizar sistemas, equipos e instalaciones, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones.

**Análisis de Modos y efectos de Falla y Criticidad (FMECA).** Es una metodología que permite determinar los modos de falla de los componentes de un sistema, el impacto y la frecuencia con que se presentan.

**Análisis Causa Raíz (RCFA).** Es una técnica sistemática que se aplica con el objetivo de determinar las causas que originan las fallas, sus impactos y frecuencias de aparición, para poder mitigarlas o eliminarlas.

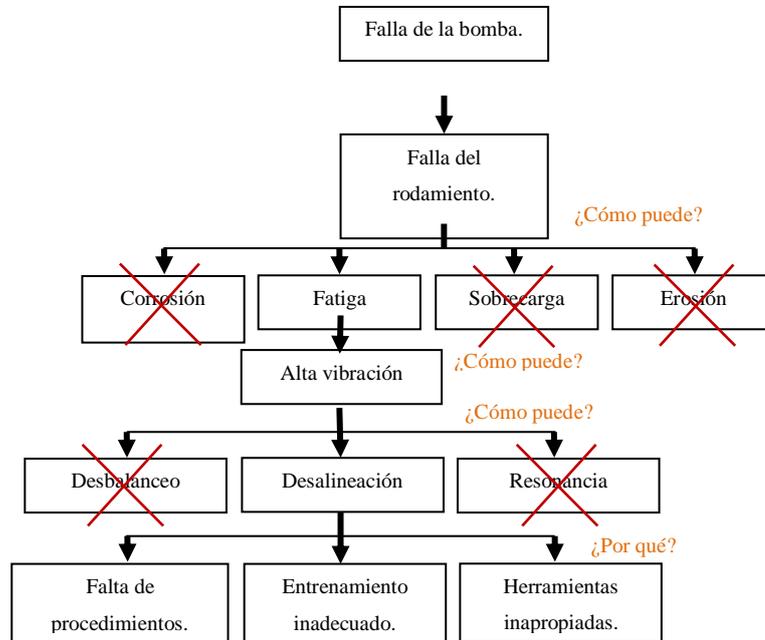
**Inspección Basada en Riesgos (RBI).** Es una técnica que permite definir la probabilidad de falla de un equipo o sistema, y las consecuencias que las fallas pueden generar sobre la gente, el ambiente y los procesos.

**Análisis Costo Riesgo Beneficio (BRCA).** Es una metodología que permite establecer una combinación óptima entre los costos de hacer una actividad y los logros o beneficios que la actividad genera, considerando el riesgo que involucra la realización o no de tal actividad.

**Costo del Ciclo de Vida (LCC).** El análisis LCC es una metodología que permite elegir entre opciones de inversión o acciones de incremento de la confiabilidad con base en su efecto en el costo total del ciclo de vida de un activo nuevo o en servicio.

#### 1.2.5.4 *Análisis de causa raíz: Árbol Lógico*

**CUADRO 3: CAUSAS DE UNA ALTA VIBRACIÓN.**



**Fuente:** UTALCA, CONFIABILIDAD OPERACIONAL DE EQUIPOS: METODOLOGÍAS Y HERRAMIENTAS, Fernando Espinosa Fuentes.

**Elaborado por:** Cristian Aguilar Peñaloza

### **Introducción**

La mayoría de los analistas de fallas han escuchado el término: Análisis de Causa Raíz (RCA por sus siglas en inglés) y seguramente cada quién tiene una interpretación diferente de su significado.

Esta es la razón por la cual en muchos casos se tiene una forma poco efectiva de usarlo, y hay comunicación deficiente o nula entre quienes lo usan. Si se está usando diversas formas de RCA, entonces, al comparar los resultados no se estará comparando "manzanas con manzanas".

Desde la evolución del Mantenimiento Productivo Total (TPM) ha habido un movimiento consistente hacia la exploración de la calidad del proceso en vez de la calidad del producto. Antes de la llegada del TPM, las organizaciones de calidad se contentaban con medir la calidad del producto terminado como salía de la línea. Aún cuando admirable esa medida era demasiado tardía si se hallaban defectos de calidad. El producto, y probablemente todo el lote tenía que ser reprocesado a un alto costo para la organización.

Entonces se introdujeron los principios de W. Edwards Deming e impulsaron el concepto de "calidad del proceso". En pocas palabras, esto significa que se debe medir variables clave en el proceso para detectar cualquier variación inaceptable. De esta manera, se corrige la variación en el proceso y se evita la manufactura de productos fuera de especificación. Esta era se está continuando actualmente con la introducción del índice de calidad Seis Sigma (99.999996% calidad).

Como se discutió anteriormente, RCA tiene diferentes significados para diferentes personas. Algunos aplican esfuerzos indisciplinados como el método de "prueba y error" como su perspectiva de RCA. Esto significa que se percatan de un problema, y se va directo a lo que es la causa más obvia, ¡PARA LOS ANALISTAS!

Usando la perspectiva del "producto terminado" no se valida ninguna de las suposiciones, simplemente se adopta una y se gasta dinero en un arreglo esperando que funcione. La experiencia ha demostrado que esta forma de hacerlo es cara e inefectiva. Ahora, aplicando un sistema disciplinado tipo TPM de RCA, un Árbol Lógico permite representar gráficamente las relaciones de causa y efecto que conducen a descubrir el evento indeseable y cuál fue la causa raíz del problema.

En este procedimiento, se debe identificar claramente el evento indeseable y todos sus detalles asociados mediante hechos que los respalden. Los hechos deben respaldarse con observación directa, documentación y algunos conceptos.

Se puede ver que a medida que se desarrollan nuevas series de hipótesis, se irá probando lo que se dice a cada nivel del proceso. A medida que avanza este proceso reiterativo, se van validando las conclusiones a cada paso del camino. De esta forma, cuando se llega a conclusiones en cada etapa, esas conclusiones serán las correctas, porque no se están haciendo suposiciones, sino se están basando en "hechos".

Esto también implica que se comprometen a efectuar gastos para poder superar las causas que se identifican, que se invertirá dinero en evitar que el problema se repita. En un esfuerzo por mover nuestras culturas hacia la precisión, se deben usar los conceptos de TPM en los procesos administrativos también. La perspectiva del TPM es aplicable a: Maquinaria, Procesos y Situaciones Humanas.

Así que para algunos, RCA es pedir que un experto local les proporcione una solución al problema, mientras para otros, representa el reunirse y discutir para llegar a una conclusión; para otros más, RCA representa usar un proceso disciplinado de pensamiento hasta llegar a la verdadera causa original del problema.

Arriba se describe un proceso disciplinado de pensamiento lógico en la eliminación de variables no relacionadas al RCA. Regresando a los anteriores escenarios de RCA. Si una bomba crítica fallara, dado el caso, se trataría que los mejores de nuestros técnicos la fueran a ver. Quizás concluirían luego de una gran discusión, que lo que se necesita es un rodamiento de trabajo más pesado.... Dadas las condiciones que se han analizado en el diagrama, ¿se resolvería el problema en forma permanente? Naturalmente que no ¡!

O qué tal si todos los técnicos de mantenimiento se reúnen y deciden que lo que está mal es el tipo de lubricante que se está usando...pues tampoco con esa acción

se resolvería el problema en forma definitiva y permanente. Este último es un concepto enraizado y con muy poco argumento, muchas personas del “que hacer del mantenimiento” emiten esta crítica sin ninguna base sólida o respaldo documentado.

En cambio si se usa el proceso disciplinado del diagrama, se hará examinar el rodamiento por un metalurgista o un experto, quien reportará (de manera científica) que hay evidencia de que existe fatiga en el material. Se preguntará entonces: ¿qué puede estar causando esa fatiga en el rodamiento? Se establece hipótesis: puede ser por vibración excesiva.

#### 1.2.5.5 *Análisis Causa Raíz: Árbol De Eventos*

El Análisis Causa Raíz (RCA) es un proceso diseñado para su uso en la investigación y la categorización de las causas de los acontecimientos relacionados con la seguridad, la salud, el medio ambiente, calidad, fiabilidad y que repercute en la producción. El término "evento" se utiliza para identificar de forma genérica los sucesos que producen o tienen el potencial para producir este tipo de consecuencias.

En pocas palabras, la RCA es una herramienta diseñada para ayudar a identificar no sólo qué y cómo se produjo un evento, sino también por qué sucedió. Sólo cuando los investigadores son capaces de determinar por qué un suceso o la falla se produjeron van a ser capaces de especificar las medidas correctivas viables que eviten futuros eventos del tipo observado. Entender por qué se produjo un evento es la clave para desarrollar recomendaciones eficaces. Imaginar un suceso durante el cual se encargó a un operador cerrar la válvula A, en cambio, el operador cerró la válvula B.

La investigación típica probablemente llegaría a la conclusión que un error del operador fue la causa. Esta es una descripción exacta de lo que ocurrió y cómo ocurrió. Sin embargo, si los analistas se detienen aquí, no han investigado lo suficiente como para entender las razones para el error. Por lo tanto, no saben qué hacer para evitar que ocurra de nuevo. Para el caso en que el operador cerró la válvula equivocada, es probable que se redacten las recomendaciones para volver a entrenar al operador en el procedimiento, recordar además a todos los operadores que deben estar alerta cuando procedan con la manipulación de las válvulas o destacar a todo el personal que la atención cuidadosa al trabajo se debe mantener en todo momento.

Estas recomendaciones ayudan poco más para evitar que se repitan en el futuro. En general, los errores no ocurren por casualidad, pero se puede remontar a algunas de las causas bien definidas. En el caso de la válvula del error, se podría preguntar: "¿Fue el procedimiento confuso? ¿Estaban las válvulas claramente identificadas? ¿Estaba el operador familiarizado con esta tarea en particular?" Las respuestas a estas y otras preguntas le ayudarán a determinar por qué ocurrió el error (falla) y lo que la organización puede hacer para prevenir la recurrencia en el caso del error de la válvula.

Unas recomendaciones, por ejemplo, podrían incluir la modificación del procedimiento o la realización de los procedimientos de validación para asegurar que las referencias a las válvulas coincidan con las etiquetas de las válvulas que se encuentra en la fábrica.

La identificación de las causas fundamentales es la clave para la prevención de recurrencias similares. Un beneficio adicional de un efectivo RCA es que, con el tiempo, las causas identificadas en la población de los sucesos pueden ser utilizadas para identificar las principales oportunidades de mejora.

Si, por ejemplo, un número significativo de los análisis apuntan a las deficiencias de contratación, los recursos pueden ser enfocados en el mejoramiento de este sistema de gestión. Las tendencias de las causas permite el desarrollo de mejoras y evaluación sistemática del impacto de los programas correctivos. Definición Para la definición de la causa raíz, se basa en lo siguiente:

1. Las causas fundamentales son específicas de las causas subyacentes.
2. Las causas fundamentales son las que razonablemente se puede identificar.
3. Las causas fundamentales son las que gestión tiene el control de arreglar.
4. Las causas fundamentales son aquellas en las que se pueden generar recomendaciones eficaces para la prevención de recurrencias.

Las causas fundamentales son producto de las causas subyacentes. El objetivo del investigador debe ser la identificación de causas subyacentes específicas. Cuanto más específico sea el investigador acerca del por qué se produjo un evento, más fácil será llegar a las recomendaciones que eviten recurrencia. Las causas fundamentales son las que razonablemente se puede identificar. La investigación de incidentes debe estar apoyada en la razón costo-beneficio. No es práctico mantener la mano de obra valiosa ocupada indefinidamente en la búsqueda de las causas de los sucesos.

Un RCA estructurado ayuda a los analistas a sacar el máximo partido del tiempo que han invertido en la investigación. Las causas fundamentales son aquellas sobre las que la gestión tiene el control. Los analistas deben evitar el uso de las clasificaciones generales de las causas, como un error del operador, fallas de equipos o factor externo. Esas causas no son lo suficientemente específicas como para permitir que la administración haga cambios que tengan efecto. La administración necesita saber exactamente por qué se produjo una falla antes de que puedan ser tomadas acciones para prevenir la recurrencia. También hay que

identificar la causa raíz donde la gestión de la organización pueda influir. La identificación de "mal tiempo" como la causa fundamental de que las partes no se entreguen a tiempo a los clientes no es apropiada. El clima severo no es controlado por la administración.

Las causas fundamentales son aquellas para las que se pueden generar recomendaciones efectivas. Las recomendaciones deben directamente abordar las causas fundamentales identificadas durante la investigación. Si los analistas llegan a recomendaciones vagas como "mejorar la adhesión a las políticas y procedimientos escritos," entonces probablemente no ha encontrado unas causas bastante básicas y específicas y necesitan gastar más esfuerzo en el proceso de análisis.

Cuatro pasos importantes La RCA es un proceso de cuatro etapas que implica lo siguiente:

1. Recopilación de datos.
2. Gráficas del factor causal
3. Identificación de la causa raíz.
4. Generación de recomendación e implementación.

**Paso 1 - Recopilación de datos.** El primer paso en el análisis consiste en reunir los datos. Sin la información completa y una comprensión de los eventos, los factores causales y las causas asociadas con el evento no pueden ser identificados. La mayoría del tiempo que se usa en el análisis de un evento es en la recolección de datos.

**Paso 2 - Gráficas de los factores causales.** Las gráficas del factor(es) causal proporcionan una estructura a los investigadores para organizar y analizar la

información recopilada durante la investigación e identificar los vacíos y deficiencias en el conocimiento a medidas que la investigación avanza. La carta del factor causal es simplemente un diagrama de secuencias con las pruebas lógicas que describen los acontecimientos que condujeron a un evento, además de las condiciones que rodean estos eventos. La preparación de la tabla de factor causal debe comenzar tan pronto como los investigadores comienzan a recopilar información acerca de la ocurrencia. Se inicia con un diagrama preliminar que se modifica a medida que más datos relevantes no están cubiertos. La tabla de factor causal debe conducir el proceso de recolección de datos mediante la identificación de las necesidades de datos. La recolección de datos continúa hasta que los investigadores están satisfechos con la minuciosidad de la tabla. Cuando el suceso se ha trazado a totalidad, los investigadores están en una buena posición para identificar los principales contribuyentes a los incidentes, llamadas factores causales. Los factores causales son los contribuyentes (los errores humanos y fallas de los componentes) que, si se eliminan, se habría evitado la ocurrencia o reducido su gravedad. Sin embargo, hay un solo factor causal, los eventos son generalmente el resultado de una combinación de los contribuyentes. Cuando sólo uno de los factores causales evidentes es tratado, la lista de recomendaciones probablemente no será completa. En consecuencia, la aparición puede repetirse porque la organización no aprendió todo lo que podía del evento.

**Paso 3 - Identificación de la causa raíz.** Después que todos los factores causales han sido identificados, los investigadores comienzan identificación de causas raíz. Este paso implica el uso de un diagrama de decisión llamado el Mapa de Causa Raíz para determinar la causa o las razones de cada factor causal.

El mapa estructura el proceso de razonamiento de los investigadores, ayudándoles a responder a las preguntas acerca de por qué determinados factores causales existen o se produjeron. La identificación de las causas fundamentales ayuda al investigador a determinar las razones de la ocurrencia del suceso como de los problemas que rodean la ocurrencia para que puedan ser abordados.

Paso 4 - **Recomendaciones generales e implementación.** El siguiente paso es la generación de recomendaciones. Siguiendo la identificación de las causas raíz de un factor causal en particular, se generan las recomendaciones factibles para la prevención de su recurrencia.

El analista de la causa raíz a menudo no es el responsable de la aplicación de las recomendaciones generadas por el análisis. Sin embargo, si las recomendaciones no son implementadas, el esfuerzo puesto en la realización del análisis se desperdicia. Además, los acontecimientos que desencadenaron el análisis se debería esperar que se repitan. Las organizaciones necesitan asegurarse que las recomendaciones sean seguidas hasta su finalización.

#### 1.2.5.6 *Mantenimiento y fiabilidad de acuerdo al estándar de Holcim.*

### **Introducción**

En el siguiente capítulo se desarrollará un entendimiento común de lo que es Confiabilidad. Como se muestra fiabilidad es un campo muy grande con muchos factores de influencia. Muchos de estos factores tales como por ejemplo "Planificación y Programación" y "Mantenimiento Preventivo" se analizaran en capítulos separados.

### **Confiabilidad - ¿Qué significa eso?**

Generalmente hablando Fiabilidad se puede definir como la capacidad de una persona o sistema de realizar y mantener sus funciones en circunstancias rutinarias, así como hostil o circunstancias inesperadas.

Como se muestra en el siguiente cuadro, hay varios factores que influyen en confiabilidad.

CUADRO 4: FACTORES DE INFLUENCIA EN LA FIABILIDAD.



**Fuente:** Holcim Ecuador S.A.  
**Elaborado por:** Cristian Aguilar Peñaloza.

Algunos de los factores mostrados en el cuadro 4, tales como “planeamiento y programación” o “Manejo de partes de repuesto” están estrechamente relacionados. Otros factores como “seguridad y salud Ocupacional” o ‘Personal’ también están estrechamente relacionados. También se pueden encontrar factores de influencia en otros niveles o departamentos de una planta.

En los siguientes párrafos se deberá poner especial atención a los puntos mostrados en el cuadro 4:

- Resolución de problemas.
- Enfoque /procesos sistemáticos.
- Atención cuando y como desarrollar RCFA.
- Seguimiento de acciones para implementar programas de mantenimiento, fiabilidad, etc.
- Desarrollo de análisis.

Poner énfasis en establecer buenos diagramas de Pareto por equipos principales. El análisis sistemático y frecuente de Pareto, el costo y eficiencia aplicada a los programas de mantenimiento.

### **Mejoras continuas.**

Antes de abordar los factores; cabe mencionar que un común entendimiento de los datos y la información que se debe elaborar; deben ser correctos siendo estos un requisito previo para cualquier proceso de resolución y análisis de problemas por lo tanto es de suma importancia tener una comprensión clara y adecuada de los datos.

### **¿Qué es un dato y que es información?**

Un dato puede ser definido como números, caracteres, imágenes u otras salidas de un dispositivo para convertir las cantidades físicas en símbolos. Un dato puede ser visto como hechos y cifras que son colectadas y almacenadas. Un dato no estructurado carece de contexto y no puede ser importante para el destinatario.

La información puede ser definida como datos procesados. Para transformar datos en datos de información se dispone y se presentan en una forma significativa a una persona para un propósito específico.

En un paso más información puede entonces ser utilizada para tomar decisiones. Estas decisiones pueden ser de rutina o de una sola vez y hacen en el caso de mantenimiento; el foco en los objetivos de mantenimiento (ver siguiente cuadro).

CUADRO 5: PROCESOS Y ETAPAS DEL MANTENIMIENTO.



**Fuente:** Holcim Ecuador S.A.  
**Elaborado por:** Cristian Aguilar Peñaloza.

## **CAPITULO II**

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

#### **2.1 Entorno del lugar de investigación.**

##### **2.1.1 *Generalidades de la empresa.***

###### **Reseña histórica.**

La industria cementera nace en el año de 1922 de la mano de José Rodríguez Bonin, ciudadano de origen español, dedicado por entero al desarrollo de esta industria en el Ecuador. Luego de algunos años nace La Cemento Nacional, grupo cementero que toma la posta para continuar con el desarrollo de la industria cementera con sus operaciones en la ciudad de Guayaquil, en la década de los noventa, nace el proyecto de instalar una molienda de cemento que atendiera las demandas de cemento de la región centro, norte y oriente del país.

La molienda de cemento conocida en sus inicios como planta de cemento “San Rafael” inicia sus operaciones en diciembre del año 2001, con una nave de almacenamiento de materias primas, un molino vertical de rodillos, silo de almacenamiento de cemento, una línea de envasado de sacos, un sistema de carguío de cemento a granel, y bahías de despacho en sacos, de carga manual.

En el año 2004 la planta se amplía e instala una paletizadora para sacos de cemento e implementa el sistema de cargue de sacos a vehículos plataforma a través de montacargas; en este año 2004, la Multinacional HOLCIM de origen suizo, se hace cargo de las plantas de cemento, hormigones y agregados, que representaba el grupo La Cemento Nacional, basando su estrategia en los segmentos de: cemento, hormigón y agregados para el sector de la construcción.

Holcim Ecuador S.A. es una de las principales industrias cementeras del país. Holcim Ecuador trabaja con la misma mística con la que se desarrolla todo el Grupo Holcim de manera internacional.

Holcim Ecuador S.A. posee dos plantas cementeras; la principal ubicada en el KM 18,5 de la vía a la costa en la ciudad de Guayaquil y la segunda ubicada en el sector de San Rafael, de la ciudad de Latacunga. Además posee siete plantas de hormigones y una de agregados en las ciudades más importantes del país.

La planta de molienda de cemento Latacunga cuenta con una capacidad instalada de 870.000 toneladas de cemento al año; actualmente abastece al sector de la construcción con aproximadamente 60.000 toneladas de cemento mensuales siendo sus principales puntos de entrega las provincias de Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Puyo, Pastaza, entre otras.

A igual que todas las plantas del grupo Holcim, la planta Latacunga se desarrolla con altos estándares de seguridad, calidad, ambiente y convivencia comunitaria, con el manejo responsable de los recursos para su proceso de producción.

Planta Latacunga ha obtenido logros importantes; el reconocimiento del CAP Latacunga por el CEMEFI como la mejor práctica de responsabilidad social

empresarial de América latina en el 2010 y el reconocimiento de dos puntos verdes en 2012 y 2014 con dos proyectos.

Manejo eficiente de la cantera “Manejo de recursos no renovables” y “Optimización de energía eléctrica” con el uso del variador de frecuencia en el ventilador principal del molino. (Holcim Ecuador S.A., 2010)

### Ubicación Geográfica

País: Ecuador

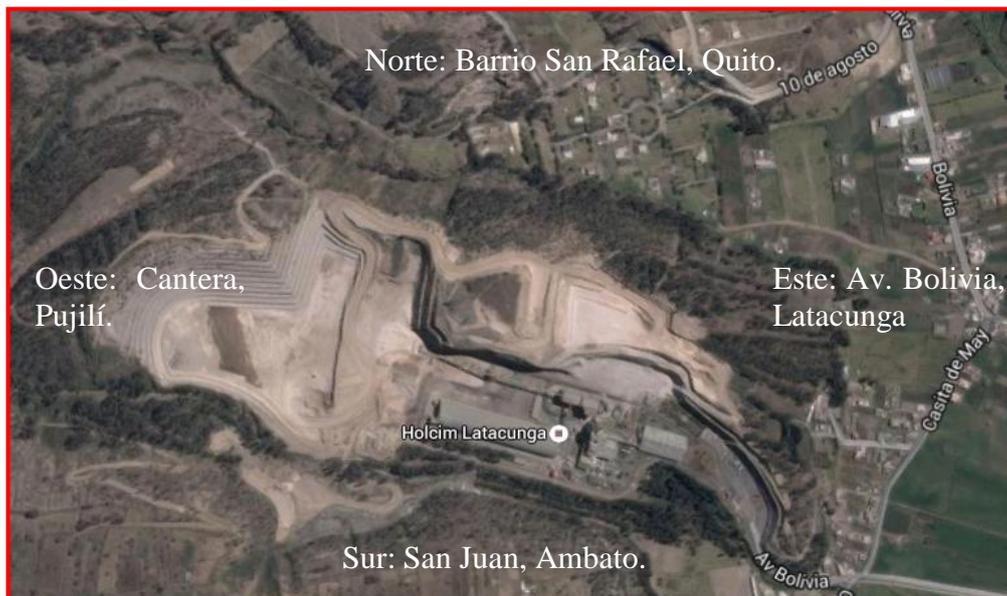
Región: Sierra

Provincia: Cotopaxi

Cantón: Latacunga

Dirección: Barrio San Rafael.

### GRÁFICO: 6 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA PLANTA LATACUNGA, HOLCIM ECUADOR S.A.



**Fuente:** Google Maps.

**Elaborado por:** Cristian Aguilar Peñaloza.

A continuación se describe la declaración de la misión, visión y los objetivos organizacionales de Holcim Ecuador. S.A.

(© 2015 Holcim Ecuador S.A., 2015)

### **Misión**

Ser la compañía más respetada y exitosamente operada en nuestra industria, creando valor para nuestros clientes, empleados, accionistas y comunidad implicada.

### **Visión**

Crear los cimientos para el futuro de la sociedad.

### **Objetivos organizacionales**

- Alcanzar y mantener los más altos estándares de satisfacción al cliente en nuestra industria, a través de productos y servicios innovadores.
- Nos aliamos con los mejores proveedores del mundo, entregando valor agregado tanto para el Grupo así como para nuestros clientes.
- Ser reconocidos como empleadores de primer nivel.
- Somos una organización multicultural. Empoderar a nuestros empleados de todos los niveles, e integrarlos completamente a nuestra red global.
- Ampliar selectivamente nuestro portafolio global de empresas.

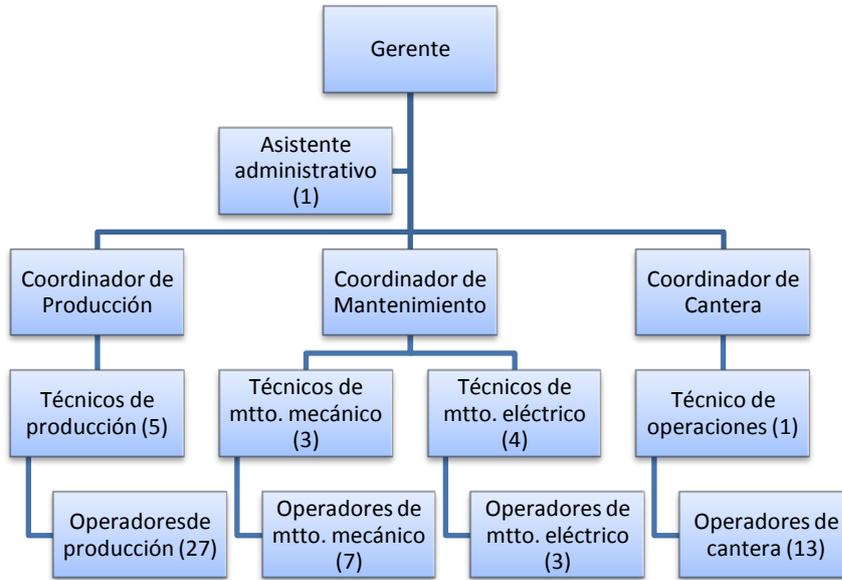
- Mantener un diálogo activo con los gobiernos, organizaciones internacionales y no gubernamentales (ONG's) para ser reconocidos como un socio valioso y confiable.
- Continuamente demostrar nuestro compromiso con el desarrollo sostenible y jugar un rol preponderante en la responsabilidad social dentro de nuestro círculo de influencia.
- Tener un desempeño financiero a largo plazo y ser la organización más recomendada en nuestra industria.

### **Infraestructura y organización.**

La planta Latacunga cuenta con una cantera de explotación de material puzolánico para abastecer a las plantas de Guayaquil y propiamente así misma, una nave de almacenamiento de materias primas en donde se almacena clinker y yeso; con una capacidad de 20.000 toneladas para clinker y 5.000 toneladas para yeso, un edificio metálico para el área de molienda para sus equipos principales con un molino vertical de rodillos con una capacidad de 110 t/h, un silo de cemento de almacenamiento multi-cámaras con una capacidad de 6.000 toneladas, una línea de carga al granel de cemento con una capacidad de 150 t/h, una máquina envasadora rotatoria para el envasado de sacos con una capacidad de 180 t/h y una paletizadora con capacidad de 170 t/h.

Un edificio administrativo en donde se encuentran la sala de control central, de donde se controla el proceso productivo; oficinas administrativas, bodega de repuestos y talleres.

CUADRO 6: ORGANIGRAMA DE PLANTA LATACUNGA.



**Fuente:** Holcim Planta Latacunga.  
**Elaborado por:** Cristian Aguilar Peñaloza.

## 2.2 Tipo de investigación.

Para la recopilación y fundamentación del trabajo de investigación se utilizó la investigación descriptiva ya que se analizó el proceso productivo en el área de molienda de cemento y los datos históricos del consumo de energía eléctrica para identificar las causas del posible incremento del consumo de energía eléctrica y bajo qué circunstancias se presenta este incremento, de la empresa Holcim Ecuador, planta Latacunga.

### 2.2.1 *Metodología de la investigación.*

#### **Método deductivo.**

Se utilizó este método partiendo desde el punto de vista general a lo particular para ordenar, cuantificar y correlacionar; el incremento del consumo específico de energía eléctrica, del ventilador principal del molino y las causas de fallos generados por el variador de frecuencia, del ventilador principal del proceso de molienda de cemento; que afectan directamente al tiempo medio entre fallas del molino vertical (MTBF). Para de esta manera poder plantear una posible hipótesis de solución y poder alcanzar un alto estándar de confiabilidad de este importante equipo.

#### **Técnicas e instrumentos de investigación.**

Para iniciar con la recolección de datos del proceso productivo y la información del equipo, se optó por las siguientes técnicas:

#### **La observación.**

Mediante la observación se pudo establecer las condiciones del proceso productivo de una estación de molienda de cemento y la estrecha relación que se guarda entre las máquinas importantes del proceso que interactúan en la cadena productiva para dar forma a la estación de molienda de cemento y las causas frecuentes que afectan al variador de frecuencia del ventilador principal del molino; desencadenando en la baja confiabilidad de este equipo importante.

## **Diagrama de Pareto.**

El diagrama de Pareto es una importante y potente herramienta para el desarrollo del análisis de las fallas que se pueden presentar, ya sea en un equipo, proceso, o situación cotidiana; al implementar el uso de esta herramienta, permitió recopilar las experiencias y sistematizar las causas que provocan los fallos del variador de frecuencia y a la vez se estableció un ambiente para desarrollar el conocimiento del personal de mantenimiento y oportunidades de mejora dentro del área.

## **2.3 Análisis e interpretación de resultados**

### ***2.3.1 Cálculo de potencia del ventilador principal del molino.***

Para calcular la potencia al eje, del ventilador principal del molino, se tomaron los datos del fabricante para *P1* y tomando en cuenta los datos de operación del cuarto de control central para determinar *P2*.

Datos del fabricante: ***Fläktwoods***

Caudal de diseño: 480.000 m<sup>3</sup>/h.

Velocidad de diseño: 890 rpm.

Datos de Control Central: ***Holcim planta Latacunga***

Velocidad de trabajo: 720 rpm.

Para determinar el valor de caudal de operación se aplicó una de las ecuaciones para los sistemas de impulsión como es el caso de la ley de semejanzas en los fluidos para el caso del ventilador.

$$\frac{D1}{D2} = \frac{Q1}{Q2} = \frac{N1}{N2}$$

$$\frac{890}{720} = \frac{480.000}{Q2}$$

$$Q2 = \frac{480.000 \times 720}{890}$$

El caudal requerido por la operación es de **388.315** m<sup>3</sup>/h.

Con esta información se aplicó, la tercera ecuación de la ley de semejanzas para fluidos en ventiladores.

$$\frac{D1}{D2} = \frac{Q1}{Q2} = \sqrt[3]{\frac{P1}{P2}}$$

Datos:

*Q1*: 480.000 m<sup>3</sup>/h.

*Q2*: 388.315 m<sup>3</sup>/h.

*P1*: 1620 Kw.

$$\frac{480.000}{388315} = \frac{\sqrt[3]{1620}}{\sqrt[3]{P2}}$$

$$\sqrt[3]{P2} = \frac{388.315 \times \sqrt[3]{1620}}{480.000}$$

La potencia de trabajo @720 rpm es de **858** Kw.

### ***2.3.2 Consumo específico de energía eléctrica del ventilador principal.***

Para establecer el consumo específico de energía del ventilador principal del molino se establece la relación entre la potencia adsorbida por el ventilador y la tasa nominal de producción del molino vertical. Estos son los datos para establecer la línea base o el punto de partida para el análisis.

Consumo de potencia establecido a velocidad nominal (890 rpm):

$$\frac{1620 \text{ Kw}}{110 \frac{\text{t}}{\text{h}}}.$$

El consumo específico calculado es de **14,7** Kwh/t.

Como se puede apreciar en el cálculo del consumo específico a velocidad nominal y regulación por compuerta a la succión del ventilador, el valor encontrado es similar a los datos de prueba de garantía establecidos en el inicio de la operación del molino vertical del año 2002; bajo las condiciones de arranque directo y regulación del flujo por compuerta a la succión del ventilador principal ver el cuadro 7 a continuación.

CUADRO 7: REGISTRO DE CONSUMO DE ENERGÍA ELECTRICA PARA ESTABLECER LA GARANTÍA.

<b>Prueba de Garantia</b>					
<b>Fecha: 30 abril 2002</b>					
Hora	Molino	CONSUMO ESPECIFICO	Ventilador	CONSUMO ESPECIFICO	
	LECTURA Kwh	KWH/TON	LECTURA Kwh	KWH/TON REAL	KWH/TON CALCULADO
22:25	616526		929475		
23:00	617602	<b>16,31</b>	930503	<b>15,59</b>	7,96
0:00	619716	<b>16,95</b>	932157	<b>14,25</b>	7,57
1:00	622008	<b>18,11</b>	933944	<b>14,77</b>	7,68
2:00	623760	<b>17,14</b>	935323	<b>13,86</b>	7,64
3:00	625959	<b>17,43</b>	937037	<b>13,97</b>	7,62
4:00	627942	<b>17,31</b>	938628	<b>13,88</b>	7,62
5:00	630107	<b>17,44</b>	940350	<b>13,96</b>	7,61
6:00	632299	<b>17,56</b>	942100	<b>14,06</b>	7,60
7:00	634090	<b>17,26</b>	943536	<b>13,82</b>	7,59
8:00	636669	<b>17,64</b>	945581	<b>14,11</b>	7,55
9:00	638678	<b>17,63</b>	947153	<b>14,07</b>	7,58
10:00	640652	<b>17,52</b>	948723	<b>13,97</b>	7,57
11:00	642780	<b>17,54</b>	950424	<b>14,00</b>	7,57
12:00	644899	<b>17,57</b>	952096	<b>14,01</b>	8,13
14:00	649150	<b>17,59</b>	955474	<b>14,02</b>	7,56
15:00	650479	<b>18,14</b>	957060	<b>14,73</b>	7,97
16:00	651226	<b>17,41</b>	958540	<b>14,58</b>	7,94
17:00	652929	<b>17,60</b>	960447	<b>14,98</b>	8,09
18:00	654664	<b>17,54</b>	961792	<b>14,87</b>	8,11
	Promedio	<b>17,46</b>	Promedio	<b>14,29</b>	

Fuente: Holcim Ecuador, planta Latacunga.

Elaborado por: Cristian Aguilar Peñaloza.

A continuación se calcula el consumo específico a velocidad de trabajo con el uso del variador de frecuencia (720 rpm):

Para determinar el consumo específico se tomaron el dato de potencia adsorbida por el ventilador teórico a partir de la velocidad de trabajo.

$$\frac{858 \text{ Kw}}{110 \frac{\text{t}}{\text{h}}}$$

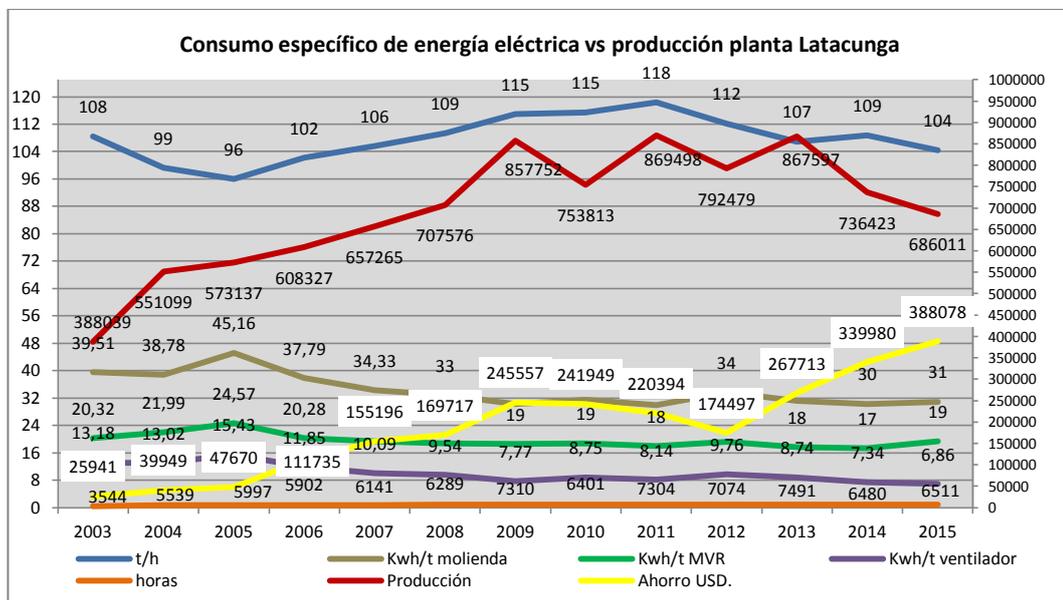
El consumo específico calculado a velocidad de trabajo es de **7,8 Kwh/t**.

### 2.3.3 Datos estadísticos del consumo específico contra la producción de planta Latacunga.

Con la observación e investigación de los datos de operación y los registros históricos del consumo de energía eléctrica de la planta se pudo establecer una gráfica comparativa desde el inicio de la operación del variador de frecuencia en el año 2003 hasta el año 2015.

Arrojando el siguiente gráfico a continuación; esta comparación permite apreciar la importancia de operar el ventilador principal con el variador de frecuencia; y el potencial de ahorro energético a la vez económico; que aporta la aplicación de control por velocidad variable en este ventilador.

**GRÁFICO: 7 CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELECTRICA VS. PRODUCCIÓN 2003 - 2015**

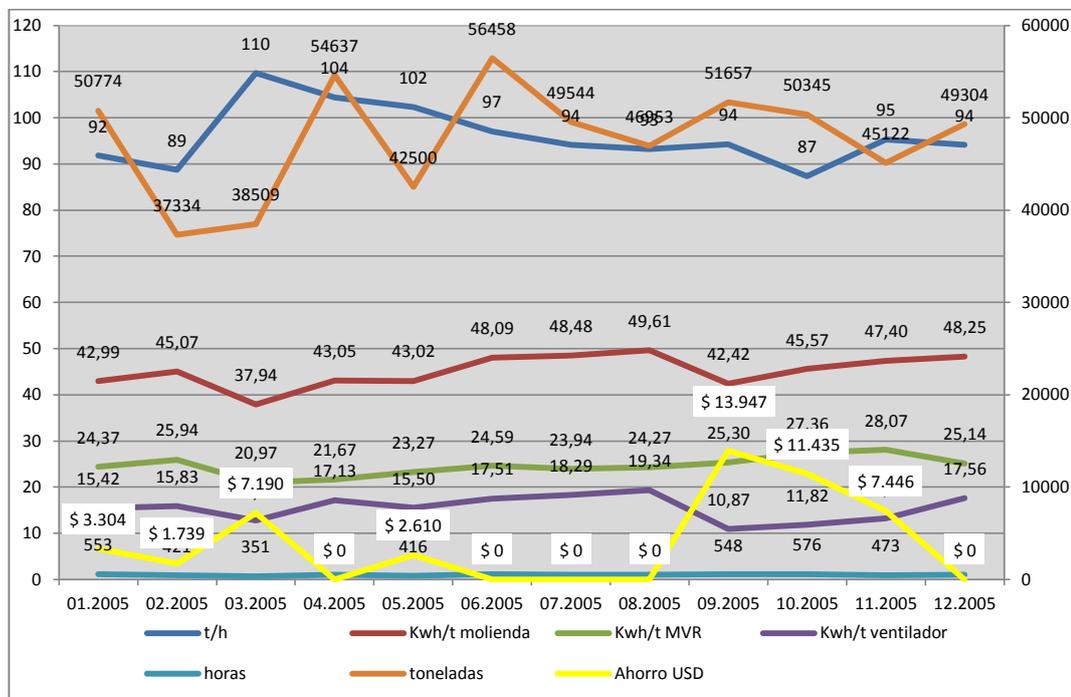


**Fuente:** Holcim Ecuador, planta Latacunga.  
**Elaborado por:** Cristian Aguilar Peñaloza.

Como se puede apreciar en el gráfico 7, la serie de color amarillo representa el ahorro económico que ha generado el variador de frecuencia desde su instalación, cabe resaltar que a medida que aumenta la producción de la planta, el ahorro también se incrementa por qué el proceso logra alcanzar y superar sus valores nominales de diseño, mejorando la eficiencia energética de los equipos, es decir se logra producir más toneladas de cemento con menor cantidad de energía eléctrica. Dentro de este análisis, existen factores importantes como el costo de la energía eléctrica, la tasa de producción que influye en el ahorro.

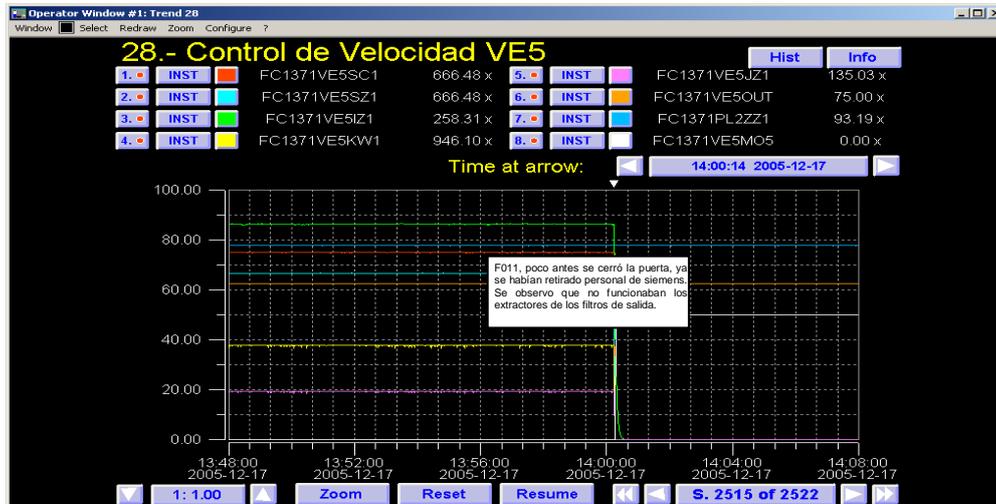
Sin embargo el equipo ha presentado fallos; que afectan al desarrollo normal del proceso de molienda de cemento y en algunas ocasiones paradas por fallos de “consideración” que lo han dejado en algunas ocasiones fuera de la operación, elevando el consumo específico del ventilador durante esos lapsos.

**GRÁFICO: 8** CONSUMO DE ENERGÍA ELECTRICA VS. PRODUCCIÓN 2005.



**Fuente:** Holcim Ecuador, planta Latacunga.  
**Elaborado por:** Cristian Aguilar Peñaloza.

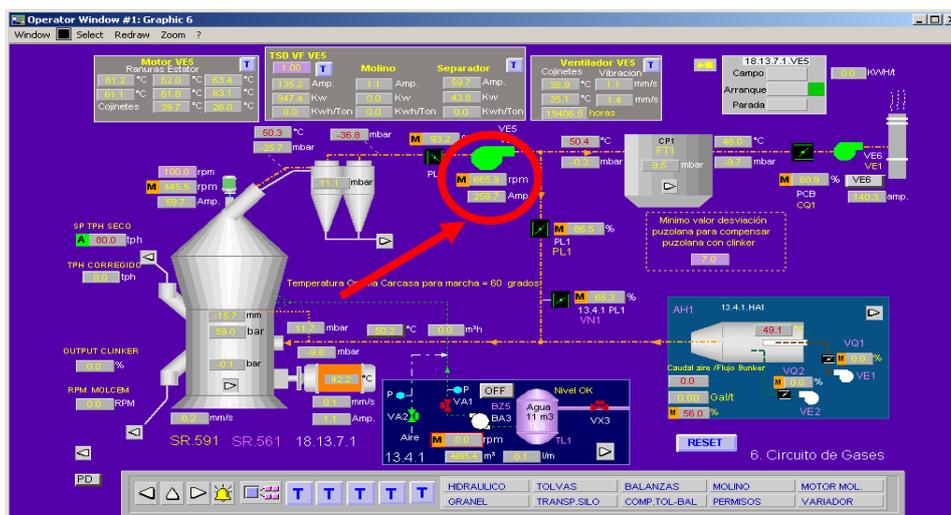
## GRÁFICO: 9 DATOS DEL VENTILADOR PRINCIPAL DICIEMBRE 2005.



Fuente: Holcim Ecuador, planta Latacunga.  
Elaborado por: Cristian Aguilar Peñaloza.

Se nota que en varias ocasiones del año 2005, el variador de frecuencia no operó aproximadamente 5 meses por problemas internos, el registro de mantenimiento indica fallo por sobre-corriente (F011) también se nota incremento de vibración transmitida por el molino vertical, ver gráfico 8.

## GRÁFICO: 10 INTERFACE HOMBRE MÁQUINA DEL CONTROL CENTRAL, MOLIENDA DE CEMENTO PLANTA LATACUNGA.



Fuente: Holcim Ecuador, planta Latacunga.  
Elaborado por: Cristian Aguilar Peñaloza.

A continuación se muestra una narración de cómo se presentaron los problemas con el variador de frecuencia en el 2005; registrado por el encargado de mantenimiento y la necesidad de la asistencia de técnicos de la marca nacionales y del extranjero.

### *NARRACIÓN*

*En esta primera revisión por un técnico de Siemens Brasil se determinó fallo en tarjeta IPI de medición.*

*FECHA: MARZO 2005*

- 1 El 23 de marzo la planta para por mantenimiento.*
- 2 El 24 de marzo se quiere proceder a balancear turbina del ventilador pero nos encontramos con fallo F029 (error en medición, ver manual).*
- 3 Se revisa cableado flojo pero no resetea.*
- 4 Se revisa cableado flojo en tarjeta detrás de la CUVC por sugerencia de Orly Macias pero no resetea.*
- 5 Se resetea cambiando parametro P555.01 de 20 a 1 y P55.02 de 1 a 20. Luego se invierte, dejandolo en condición P555.01 = 20 y P555.02 = 1. Con esta acción el variador queda ready.*
- 6 Los 3 siguientes arranques de prueba fallan por sobrecarga al arrancar. F011.*
- 7 Para el siguiente arranque se cambia tiempo de aceleración de 240 a 300 segundos P462. Con esto el motor sale pero se escucha ruido a muy baja velocidad y luego alrededor de 450 rpm.*
- 8 Se desacopla el motor pero los problemas de ruido en el motor y sobrecarga continúan. Se piensa que hay problemas en motor.*
- 9 Se revisó interiormente el motor porque se pensó que los ruidos provenían del ventilador del motor flojo. Estaba muy fijo.*  
*Se dudó entonces de los rodamientos.*

- 10 *Se revisó rodamientos con un dial y girando el motor con la mano, no se observa desviación ni cabeceo.*
- 11 *Cuando se vuelve a energizar variador luego de la última falla por sobrecarga aparece nuevamente F029 pero ahora no resetea de ninguna manera.*
- 12 *Se concluye que los problemas de ruido y sobrecarga son consecuencia de la falla en el variador.*
- 11 *Se decide llamar a SIEMENS para que envíe a técnico para revisión.*
- 12 *Con técnico Siemens se revisa físicamente tarjetas del variador lado rectificadores y lado inversores fase 1. No se observa daños físico obvios. Técnico de Siemens Ecuador hace la consulta con Brasil, se decide llamar a técnico de Brasil.*
- 13 *Hasta la llegada del técnico de Brasil se decide pasar el funcionamiento del motor al sistema anterior, compuerta y arrancador líquido. Se llama a RETME para reparación de anillos del motor.*
- 14 *Se logra rectificar los anillos y reinstalar el damper de succión.*
- 15 *Se prueba el motor desacoplado y marcha normal. 179 A corriente de vacío, igual a información en manual.*
- 16 *Al probar el motor acoplado, con 5 aletas cerradas y 1 sin poner "por ganar tiempo", se presenta carga nominal en estado estable.*
- 345 A ,1800 KW, F.p. 0,79*
- Se piensa que los anillos rectificadores están dando problemas al motor. También se balancea turbina.*
- 17 *Se revisa resistencia del contactor de cortocircuito y está bien 0 ohms. (Cables desconectados).*
- 18 *También se midió resistencia arrancador líquido, 10 ohms (cables desconectados).*

19 *Luego de colocar la 6ta aleta (en el eje del actuador), el motor marcha normal y según condiciones originales (con arrancador líquido y sin capacitores) se compara valores con registros de control central. 316 A, 35 %.*

*Se midió corrientes rotoricas al arranque en un hilo de cada fase, aprox 600A, 700 A, 800 A.*

*Se define que el problema de carga fue por la aleta faltante.*

20 *Llega técnico de Brasil siemens (30 de marzo) y determina fallo en tarjeta de medición de corrientes lado inversores tarjeta 6ES7 090 0XX84 1CEO (tarjeta IPI detrás de la tarjeta CUVVC), luego de probar también transformadores de corriente.*

*Técnico Siemens: José Almeida*

21 *El fallo en la tarjeta provocó un mal funcionamiento en el inversor, como consecuencia, ruidos en el motor y disparos por sobrecarga. F011.*

22 *nota: Antes, 14 de marzo, se presentó un fallo F011, sobrecarga y desde ese entonces la carga del motor, bajo las mismas condiciones de operación, se medía en 206 A en lugar de 240 A aprox.*

23 *Se reconecta el sistema para arrancar motor con arrancador líquido y damper de aspiración, hasta la llegada de la tarjeta.*

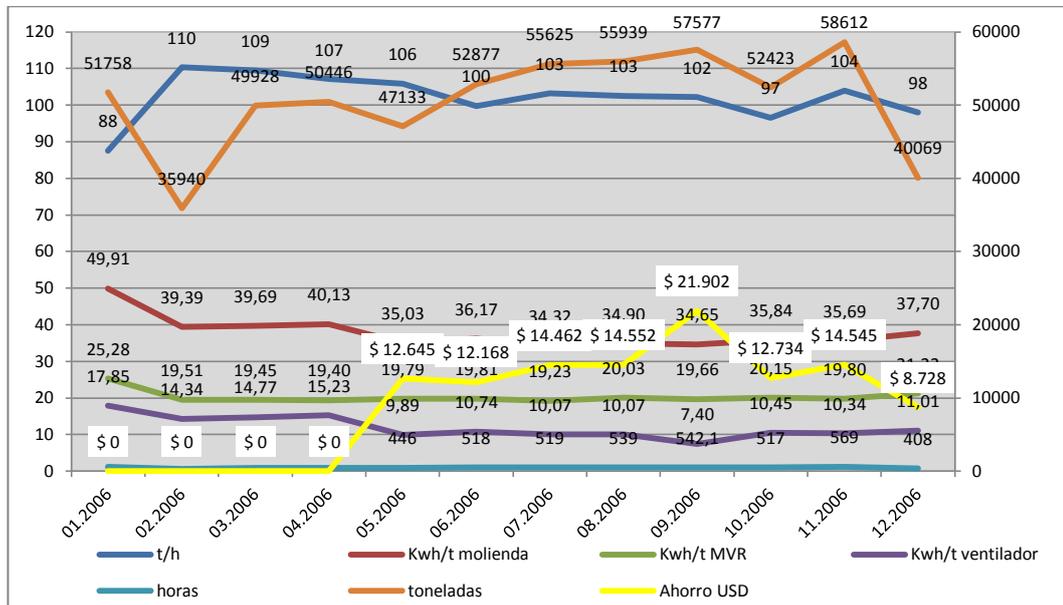
24 *El sistema actual consume aprox. 6.25 KWH/t más respecto al funcionamiento con variador.*

*Luego de la instalación de caucho de amortiguamiento en su cimentación y correcciones internas del variador, entro en operación en mayo de ese año.*

(P., 2006)

**Fuente:** Holcim Ecuador planta Latacunga.  
**Elaborado por:** Coordinador de mantenimiento eléctrico.

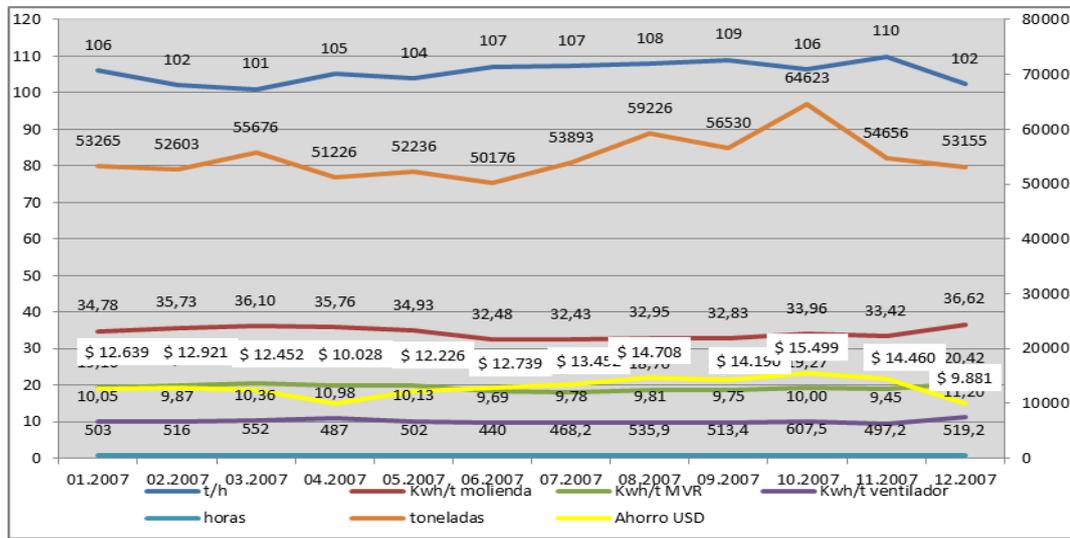
**GRÁFICO: 11 CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA VS. PRODUCCIÓN 2006.**



**Fuente:** Holcim Ecuador, planta Latacunga.  
**Elaborado por:** Cristian Aguilar Peñaloza.

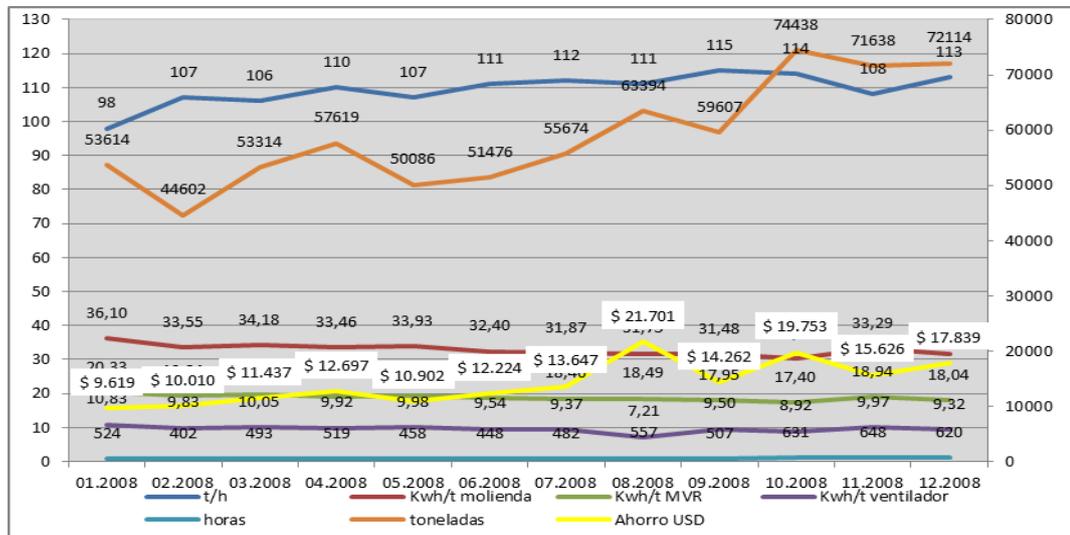
Al investigar los reportes de consumo de energía eléctrica vs. La producción del año 2006, se puede establecer claramente el incremento del consumo específico de energía eléctrica en el ventilador principal, debido a que el variador de frecuencia estuvo fuera de servicio durante los primeros meses, como se puede apreciar en el gráfico 11.

**GRÁFICO: 12 CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA VS. PRODUCCIÓN 2007**



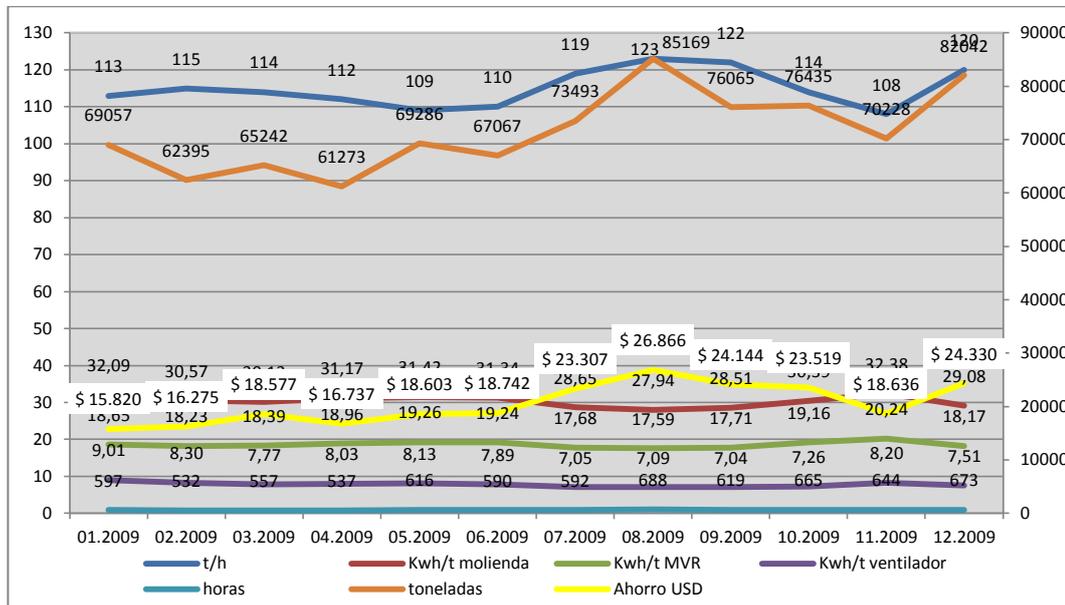
Fuente: Holcim Ecuador, planta Latacunga.  
Elaborado por: Cristian Aguilar Peñaloza.

**GRÁFICO: 13 CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELECTRICA VS. PRODUCCIÓN 2008**



Fuente: Holcim Ecuador, planta Latacunga.  
Elaborado por: Cristian Aguilar Peñaloza.

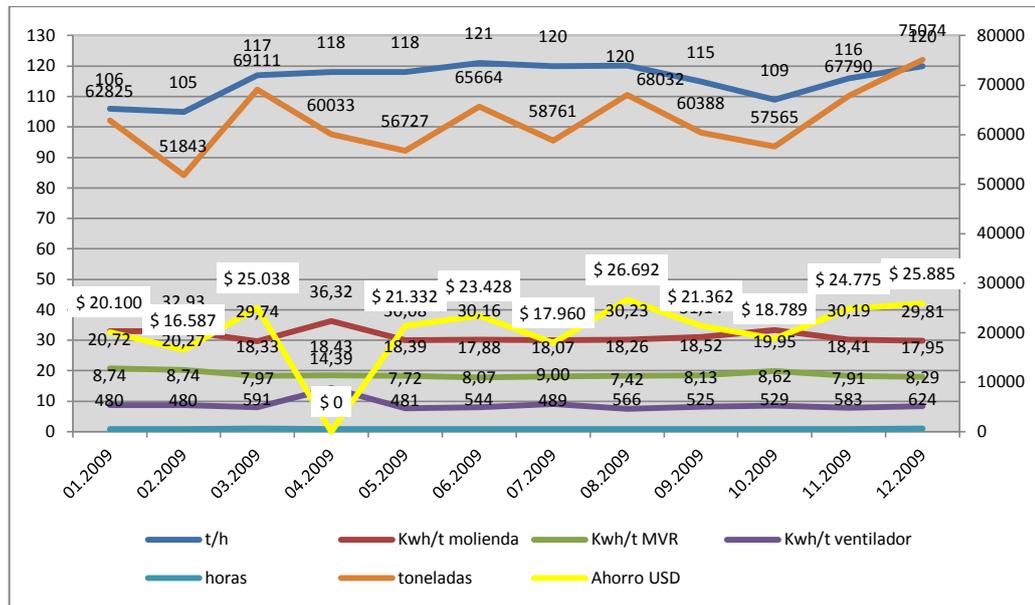
**GRÁFICO: 14 CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA VS. PRODUCCIÓN 2009.**



**Fuente:** Holcim Ecuador, planta Latacunga.  
**Elaborado por:** Cristian Aguilar Peñaloza.

Como se puede apreciar en los gráficos 12, 13 y 14, estos representan los datos del consumo específico de energía eléctrica vs la producción de los años 2007 – 2008-2009, predominando un comportamiento estable del consumo específico del ventilador de tiro inducido.

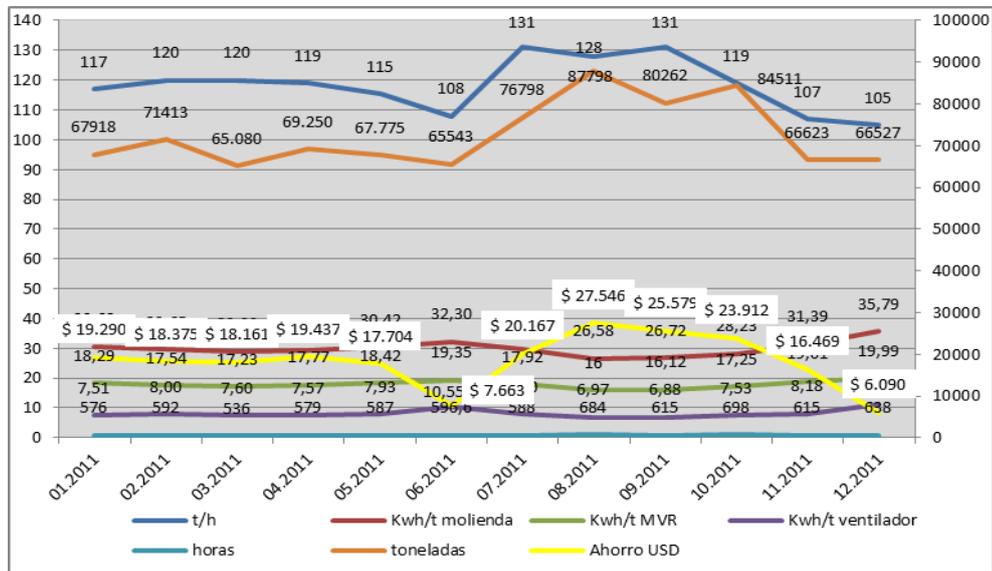
**GRÁFICO: 15 CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA VS. PRODUCCIÓN 2010.**



**Fuente:** Holcim Ecuador, planta Latacunga.  
**Elaborado por:** Cristian Aguilar Peñaloza.

Cabe recalcar que el variador de frecuencia presentó un fallo de consideración que lo dejó nuevamente fuera de servicio en abril del 2010, pero entró en operación en la primera semana de mayo 2010 luego de su reparación; una vez más se puede apreciar en el incremento del consumo específico de energía eléctrica consumida por este ventilador en el gráfico 15.

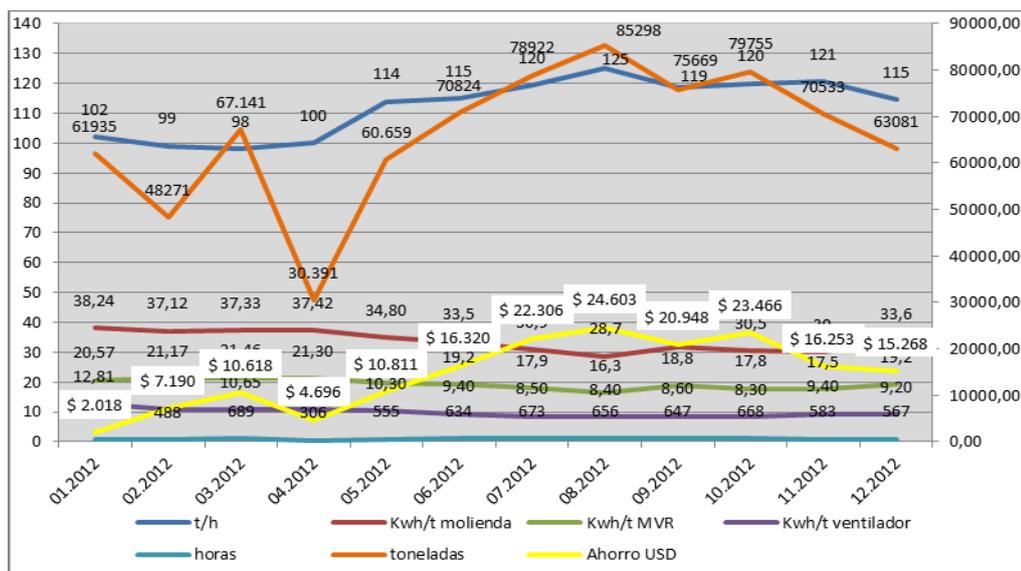
**GRÁFICO: 16 CONSUMO DE ENERGÍA ELECTRICA VS. PRODUCCIÓN 2011.**



Fuente: Holcim Ecuador, planta Latacunga.  
Elaborado por: Cristian Aguilar Peñaloza.

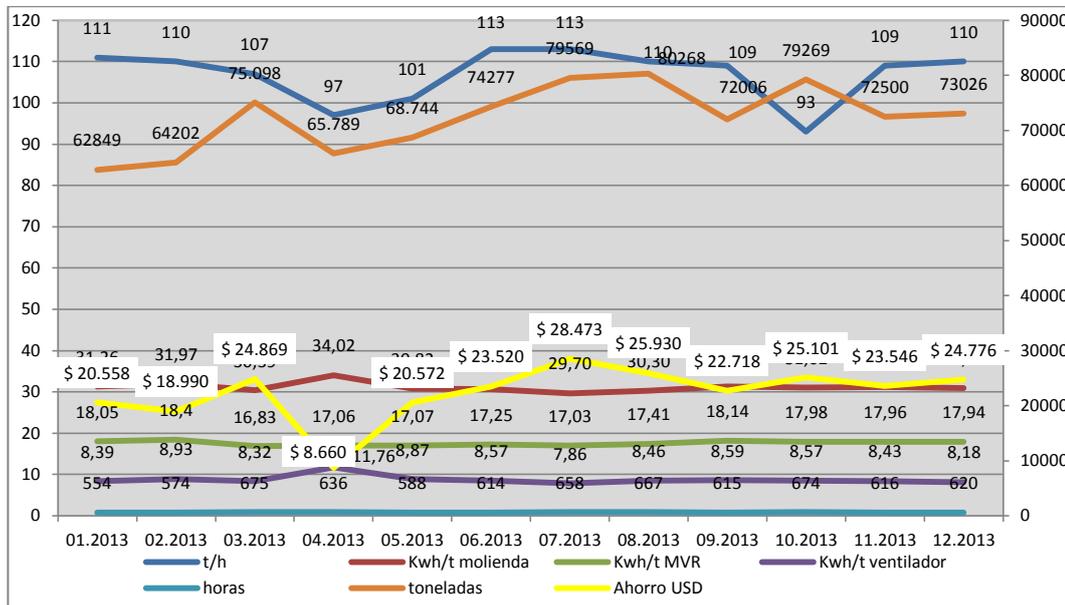
En el año 2011, también se nota un ligero incremento en el mes de junio, del consumo específico de energía eléctrica del ventilador principal, al revisar en el historial de esta máquina se encuentra que también estuvo fuera de servicio por un fallo interno, como se ve en el gráfico 16.

**GRÁFICO: 17 CONSUMO DE ENERGÍA ELECTRICA VS. PRODUCCIÓN 2012.**



Fuente: Holcim Ecuador, planta Latacunga.  
Elaborado por: Cristian Aguilar Peñaloza.

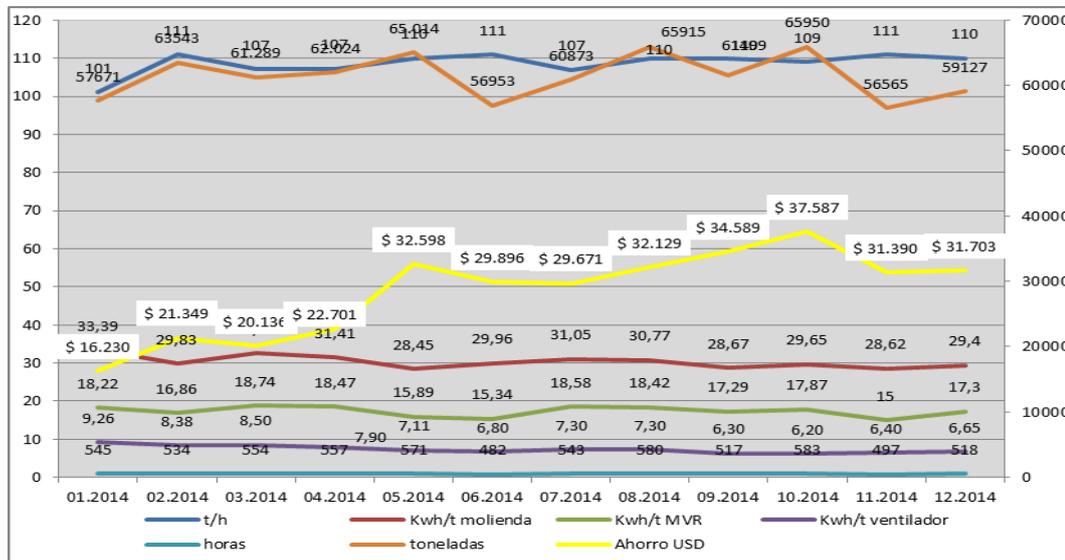
**GRÁFICO: 18 CONSUMO DE ENERGÍA ELECTRICA VS. PRODUCCIÓN 2013.**



**Fuente:** Holcim Ecuador, planta Latacunga.  
**Elaborado por:** Cristian Aguilar Peñaloza.

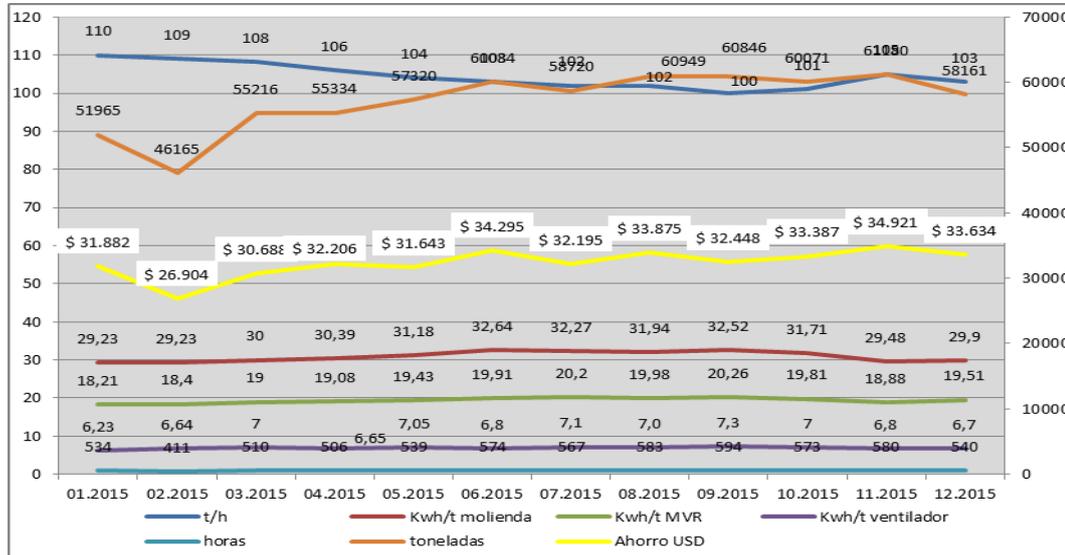
En abril del año 2013, también se nota un ligero incremento del consumo específico de energía eléctrica del ventilador principal, al revisar en el historial de esta máquina se encuentra que también estuvo fuera de servicio por un fallo interno, como se ve en el gráfico 18.

**GRÁFICO: 19 CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA VS. PRODUCCIÓN 2014.**



Fuente: Holcim Ecuador, planta Latacunga.  
Elaborado por: Cristian Aguilar Peñaloza.

**GRÁFICO: 20 CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA VS. PRODUCCIÓN 2015.**



Fuente: Holcim Ecuador, planta Latacunga.  
Elaborado por: Cristian Aguilar Peñaloza.

Como se puede apreciar en los gráficos 19 y 20, estos representan los datos del consumo específico de energía eléctrica vs la producción de los años 2014 – 2015, predominando un comportamiento estable del consumo específico del ventilador de tiro inducido.

## 2.1 Planteamiento de la hipótesis.

**Hipótesis de trabajo:** ¿Sí se incrementa la confiabilidad del variador de velocidad de 1500 Kw del ventilador de tiro inducido de la planta de molienda Latacunga, se permitirá mejorar el costo de producción?

**Hipótesis Nula:** ¿No es necesario, incrementar la confiabilidad del variador de velocidad de 1500 Kw del ventilador de tiro inducido de la planta de molienda Latacunga, y no se permitirá mejorar el costo de producción?

## 2.2 Verificación de la Hipótesis.

Como se puede observar más adelante; para la verificación de la hipótesis se utilizó los datos estadísticos del consumo específico de energía eléctrica del ventilador principal vs la producción de cada año. A continuación se aplicó el método estadístico de las frecuencias observadas y las frecuencias esperadas para luego continuar con la prueba del Chi cuadrado.

El resultado obtenido fue:

$$XC^2 = 29,25$$

$$XT^2 = 4,574$$

Como se puede observar el valor de  $XC^2$  (29,25) es mayor que  $XT^2$  (4,574), entonces se acepta la hipótesis de trabajo y se rechaza la hipótesis nula.

TABLA 1: CÁLCULO DE LAS FRECUENCIAS OBSERVADAS Y ESPERADAS.

Años	MESES F/S. OBSERVADOS		ESPERADO	
	SI	NO	SI	NO
2004	0	12	1,33	10,67
2005	5	7	1,33	10,67
2006	4	8	1,33	10,67
2007	0	12	1,33	10,67
2008	0	12	1,33	10,67
2009	0	12	1,33	10,67
2010	1	11	1,33	10,67
2011	2	10	1,33	10,67
2012	3	9	1,33	10,67
2013	1	11	1,33	10,67
2014	0	12	1,33	10,67
2015	0	12	1,33	10,67
TOTAL	16	128		

#### **Determinación de los grados de libertad.**

Se establece contabilizando el total de filas (12) -1 multiplicado por el total de columnas (2) -1, el valor encontrado es de 11. Se verificó el valor crítico en la tabla de distribución del chi -cuadrado (ver anexo 1). El valor registrado es de 4,5748 con el 95 % de confiabilidad para XT<sup>2</sup>.

TABLA 2: ANÁLISIS DE AÑOS DE OPERACIÓN VENTILADOR PRINCIPAL Y CÁLCULO DEL CHI CUADRADO.

Años	MESES F/S. OBSERVADOS		ESPERADO		CHI <sup>2</sup> _CALCULADO		
	SI	NO	SI	NO	SI	NO	
2004	0	12	1,33	10,67	1,333	0,167	
2005	5	7	1,33	10,67	10,083	1,260	
2006	4	8	1,33	10,67	5,333	0,667	
2007	0	12	1,33	10,67	1,333	0,167	
2008	0	12	1,33	10,67	1,333	0,167	
2009	0	12	1,33	10,67	1,333	0,167	
2010	1	11	1,33	10,67	0,083	0,010	
2011	2	10	1,33	10,67	0,333	0,042	
2012	3	9	1,33	10,67	2,083	0,260	
2013	1	11	1,33	10,67	0,083	0,010	
2014	0	12	1,33	10,67	1,333	0,167	
2015	0	12	1,33	10,67	1,333	0,167	
TOTAL	16	128			26,000	3,250	29,250

El valor para  $\chi^2$  calculado es de 29,25.

TABLA 3: OPERACIONALIZACION DE VARIABLES.

Variable Dependiente	Variable Independiente	Indicador	Herramientas
Utilización	Paradas por fallos del equipo	$\frac{hr.operación}{\# fallas}$ (MTBF)	Análisis de consumo específico de energía eléctrica.
Operación	Operar con Variador de frecuencia ventilador principal	$\frac{hr.variador}{hr.producción} \times 100$	Reporte de producción.
	Optimizar el consumo de energía	Kwh/t del ventilador.	Reporte de consumo de energía eléctrica planta.
Tiempo Promedio de Reparación (MTTR)	Tiempo Total de Reparación (Anual)	Horas	Reporte de Mantenimiento
	Tiempo de Reparación, # de Fallos (Anual)	Horas	Reporte de Mantenimiento

## **CAPITULO III**

### **3 PRESENTACIÓN DE LA PROPUESTA**

Mi propuesta se basa en proponer acciones para incrementar la confiabilidad del variador de frecuencia del ventilador de tiro inducido, en el proceso de molienda de cemento, de la planta Latacunga ya que este equipo desde su instalación en el año 2003 y el éxito inicial; al regular el flujo de gases con un accionamiento de velocidad variable; ha sido beneficioso para la empresa no sólo por el ahorro energético sino también al reducir los costos de producción y reducir, a un menor desgaste, de parte internas del molino vertical y para el mismo ventilador (rueda) ya que por ser un flujo de mezcla de gases calientes y polvo de cemento “material abrasivo”, esto genera un desgaste considerable y por ende una demanda de mantenimiento por revestimiento o blindaje en los dos equipos principales.

#### **3.1 Objetivo General**

Incrementar la confiabilidad del variador de velocidad de 1500 Kw del ventilador de tiro inducido, de la planta de molienda Latacunga de Holcim Ecuador S.A.

## 3.2 Objetivos Específicos

- Desarrollar planes de mantenimiento preventivos, para reducir fallos internos del equipo.
- Implementar métodos de refrigeración para el cuarto eléctrico donde se encuentra el Variador de frecuencia.
- Evaluar y reemplazar equipos electrónicos de potencia, al menos entre 5 – 8 años desde su funcionamiento.
- Establecer la relación costo beneficio entre el costo de mantenimiento y el potencial de ahorro energético por ahorro consumo de energía eléctrica aproximado USD/año 240.000 al operar el ventilador de tiro con variador de frecuencia.

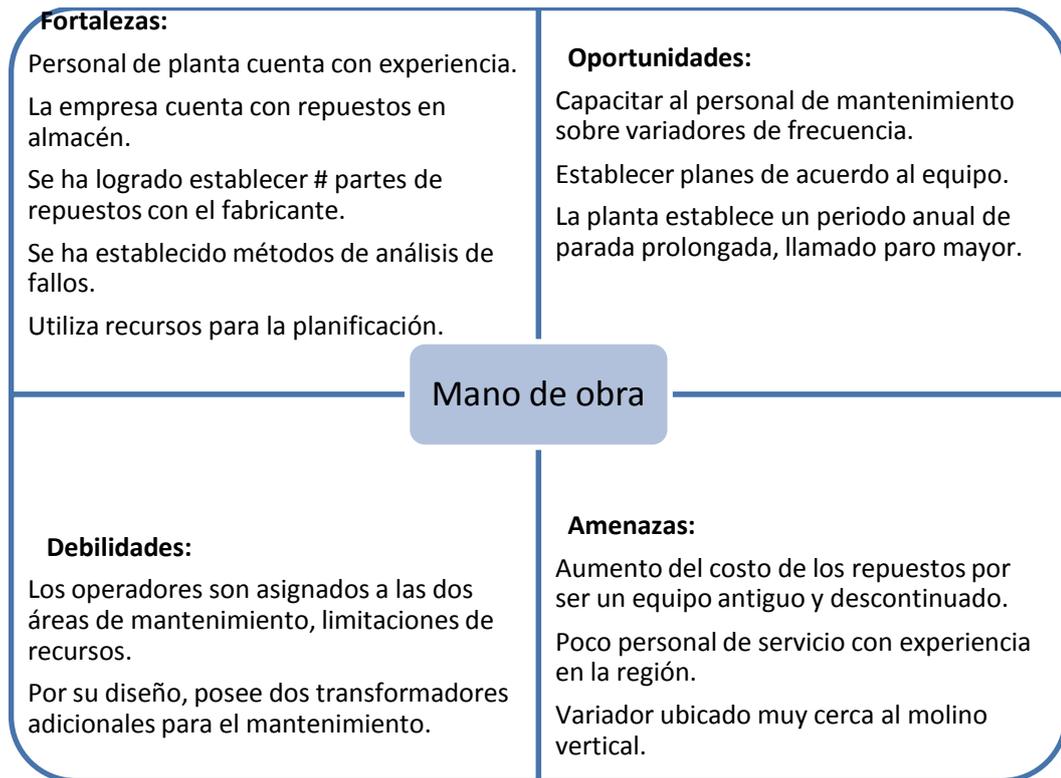
## 3.3 Análisis de factibilidad

### 3.3.1 *Técnica*

De acuerdo a la estructura y organización de la planta Latacunga, esta cuenta con un departamento de mantenimiento, que puede hacerse cargo del mantenimiento del variador de velocidad de 1500 Kw tanto para el mantenimiento predictivo como preventivo. Además la planta cuenta con sistemas informáticos para la administración del mantenimiento como SAP R3. Base importante para establecer los planes y programas de mantenimiento industrial.

Planta Latacunga cuenta con un plan anual de mantenimiento por áreas, espacio en el cual se pueden establecer frecuencias y recursos de mantenimiento, para el variador de velocidad en el área de molienda de cemento.

CUADRO 8: ANÁLISIS FODA DE LA MANO DE OBRA.

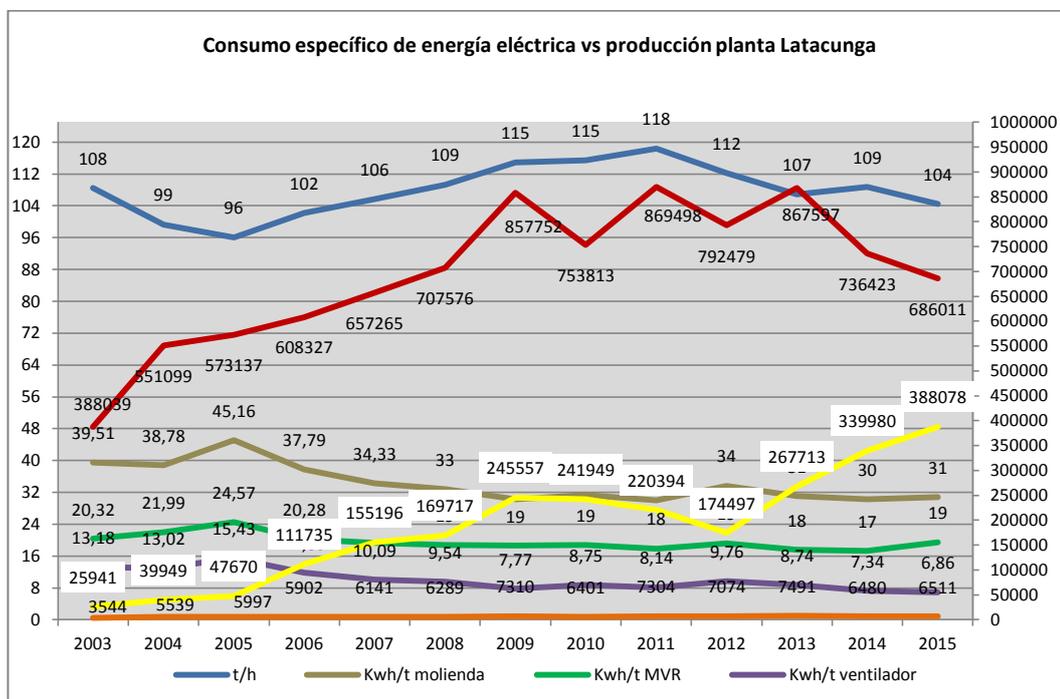


**Realizado por:** Cristian Aguilar Peñaloza.

### 3.3.2 Económica

En base al cálculo estimado del ahorro de energía eléctrica, solamente por operar el ventilador de tiro inducido con el variador de frecuencia, permite establecer una tasa de retorno a la inversión de aproximadamente USD 240.000 por año a costo de 0,06 USD/Kwh de energía eléctrica; es decir brinda la confianza para establecer una investigación; así poder incrementar y asegurar su confiabilidad.

**GRÁFICO: 21 CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA 2003-2015.**



**Fuente:** Holcim Ecuador, planta Latacunga.  
**Realizado por:** Cristian Aguilar Peñaloza.

### 3.3.3 Operacional

Desde el punto de vista de la operación; la regulación del flujo de gases por medio de un accionamiento de velocidad variable permite establecer un flujo de gases óptimo en el proceso de molienda estableciendo rangos de operación flexibles de acuerdo a lo que el proceso de molienda de cemento demande dentro de los parámetros normales de operación; a la vez establecer una alta confiabilidad del variador de frecuencia permitirá; establecer periodos de producción continuos sin afectaciones al proceso de molienda por fallos de este equipo, además representa un aporte significativo en los costos de producción para esta planta de cemento.

### 3.4 Desarrollo de la propuesta.

#### 3.4.1 *Requisitos*

##### **Mano de obra.**

Para el mantenimiento de este equipo se requiere de personal calificado con conocimientos básicos de electricidad industrial, y elementos electrónicos de potencia. Sin embargo los altos estándares de seguridad exigidos por la empresa Holcim Ecuador S.A. se recomienda establecer un periodo de aprendizaje de por los menos tres meses al personal de mantenimiento nuevo que ingrese al grupo, en los temas de FPE2 y FPE4 (Fatality Prevention Element).

El FPE2 está relacionado a las prevenciones y acciones que se deben enfocar en la identificación de las fuentes de energía y sus respectivos métodos de aislamiento y bloqueo, para prevenir la activación o reconexión de las fuentes de energía en los puntos de bloqueo definidos; para evitar accionamientos inesperados o involuntarios.

El FPE4 está relacionado a las prevenciones y acciones enfocadas al manejo de la seguridad de la energía eléctrica y de las instalaciones eléctricas, es decir los requisitos mínimos que debe cumplir una instalación de un circuito eléctrico.

##### **Repuestos.**

Se debe contar con un stock de repuestos mínimos en el almacén de la planta, debido a la antigüedad y características del variador de frecuencia, ya que estos no

se encuentran en el país y la adquisición de estos es vía importación, ya sea a través de SIEMENS o el departamento de importaciones de Holcim Ecuador S.A.

De entre los repuestos de alta rotación se pueden establecer los siguientes:

TABLA 4: REPUESTOS RECOMENDADOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Filtros para captación de polvo.	40 un.
Ventilador inversor	2 un.
Ventilador rectificador	4 un.
Ventilador filtro de salida	2 un.
IGBT'S FZ1800 R16 KFZ	12 un.
Tiristores	3 un.
Interruptor 3WL	1 un.
Bobina UV 3WL	2 un.
Rodamiento NU1036MC3	1 un.
Rodamiento 6036MC3	1 un.
Rodamiento UN 1032MC3	1 un.

**Realizado por:** Cristian Aguilar Peñaloza.

### Periodos para el mantenimiento.

Planta Latacunga cuenta con un plan anual por aéreas definidas; para realizar labores de mantenimiento a los equipos principales, de entre estos existe la posibilidad de incorporar los planes de mantenimiento para el variador de frecuencia. Como los detallados a continuación:

CUADRO 9: PLANES DE MANTENIMIENTO

<b>Componentes a inspeccionar</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>No. Personas</b>	<b>Can t. Horas</b>	<b>Trabajo</b>
- Limpieza de filtros colectores de polvo. - Limpieza de partes internas. - Revisión de ventiladores de enfriamiento, rectificador, inversor, filtro sinusoidal.	1M	1	2	2
- Revisar interruptores de entrada rectificador. - Revisar mecanismo de cierre, interruptor. - Revisar contactos de potencia y cámaras interruptores.	3M	1	4	4
- Revisar y ajustar tornillería de barras BUS DC.	1A	2	8	16
- Cambiar ventiladores de enfriamiento filtros sinusoidal. - Cambiar ventiladores de enfriamiento inversores. - Cambiar ventiladores de enfriamiento rectificadores. - Revisar IGBT'S inversor	3A	2	8	16
- Abrir y revisar estado de IGBT'S inversores +A20, +A23.	5A	2	16	32
- Abrir y revisar estado de condensadores filtros sinusoidal	5A	1	8	8
- Cambiar IGBT'S en inversores.	7A	2	24	48
- Cambiar Tiristores en rectificadores.	7A	2	24	48

**Realizado por:** Cristian Aguilar Peñaloza.

### **Capital de inversión.**

Para llevar adelante la estrategia de mantenimiento, se requiere de una inversión a corto plazo de USD 55.000 para implementar un sistema de acondicionamiento de aire, y rutinas preventivas en el equipo.

Para largo plazo se requiere de una inversión de USD 145.000 para renovar los componentes electrónicos de potencia en el equipo.

**TABLA 5: MATERIALES**

Materiales	Costo unitario	Total.
IGBT'S 24 un.	5.000	120.000

**Realizado por:** Cristian Aguilar Peñaloza.

**TABLA 6: MANO DE OBRA.**

Mano de obra	Servicio externo	Total
5.000	20.000	25.000

**Realizado por:** Cristian Aguilar Peñaloza.

### 3.4.2 *Planes de Mantenimiento.*

#### **PLAN DE INSPECCIÓN MENSUAL.**

##### Componentes a inspeccionar:

Retiro y limpieza de filtros de captación de polvo.

Limpieza de partes internas.

Revisión de 2 ventiladores de enfriamiento inversor.

Revisión de 4 ventiladores de enfriamiento rectificador.

Revisión de 2 ventiladores de enfriamiento filtro sinusoidal.

##### Requerimientos

Descripción	Estimado
Personas propias (#)	1
Tiempo (horas)	4

\* Anote las personas y el tiempo empleadas en la actividad

##### Equipos de Protección Personal (EPP)

Básico
Casco
Gafas de seguridad

Específico
Guantes
Respirador / mascarilla

Botas punta de acero
Uniforme con reflectivos

Protección auditiva / orejeras

Medidas de Bloqueo y Etiquetado

Sencillo: SI Punto (HAC): **5P1- 1S2.**

Múltiple 2 o más equipos: NO

Bloquear todos los puntos de bloqueo (aguas arriba y abajo) con los candados respectivos.

Etiquetar todos los puntos de bloqueados (tarjetas rojas / amarillas).

Confirmar con Control Central (CC) que los equipos están sin energía (estado en pantalla)

Pedir a CC el control “local” de los equipos y probar energía CERO desde las botoneras; comprobar que no arranquen.

Llenar Análisis de Tarea Segura (ATS) y Permisos de Trabajo de Riesgo (PTR)

Herramientas y Materiales

Herramientas Generales

Descripción	Cantidad
Caja de herramientas básica	1
Soplador portátil 110 VAC	1
Extensión eléctrica 110 VAC	1

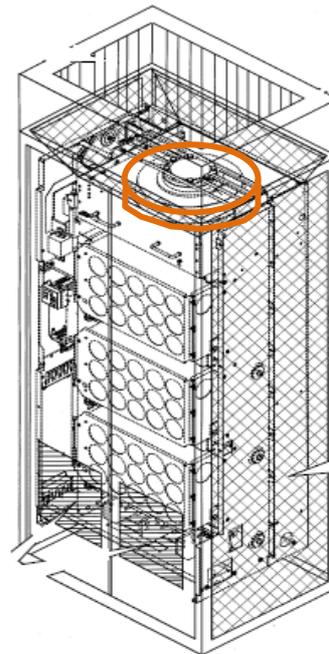
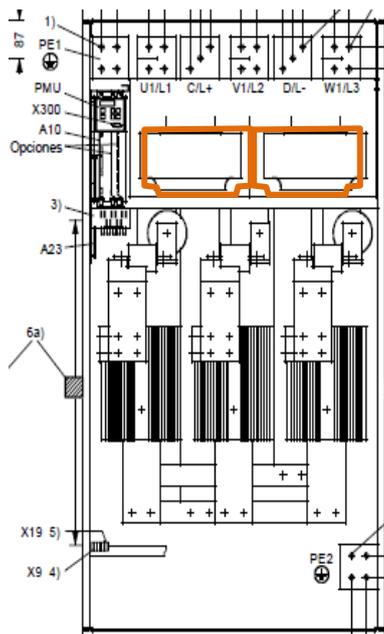
## Herramientas Específicas

Descripción	Cantidad
Juego de llaves TORX	1
Escalera de acceso	1

## Instrucciones de Mantenimiento (check-list)

Unidad de Alimentación (rectificador)

Unidad de Modulación (Inversor)



Esta rutina tiene por objetivo asegurar el buen funcionamiento del sistema de enfriamiento del 591-1U1.

## Conjunto 1

Actividad	Rev.	
	B	M
Estado de filtros de captación de polvo		
Revisión de estado de ventiladores rectificador		
Revisión de estado de ventiladores inversor		
Revisión de estado de ventiladores filtro sinusoidal RLC		

### **Recomendaciones:**

Una vez terminado el mantenimiento, recoger todas las herramientas específicas de la actividad, verificar y no dejar objetos extraños dentro del equipo.

Limpiar el área de trabajo retirar, todos los restos de lubricantes, materiales sobrantes, y otros.

Al término del mantenimiento entregar al Técnico la orden de trabajo con las observaciones identificadas.

### Documentos de Referencia

Archivo técnico

Manual Masterdrive Vector Control.

Observaciones

---

---

PLAN DE INSPECCION TRIMESTRAL.

Componentes a inspeccionar:

Revisión y limpieza de mecanismo de los interruptores entrada rectificador.

Revisión y limpieza de contactos de potencia de los interruptores de entrada del rectificador.

Requerimientos

Descripción	Estimado
Personas propias (#)	1
Tiempo (horas)	6

\* Anote las personas y el tiempo empleadas en la actividad

Medidas de Bloqueo y Etiquetado

Sencillo: SI Punto (HAC): **5P1- 1S2.**

Múltiple 2 o más equipos: NO

Bloquear el interruptor de alimentación de 4160 V con los candados respectivos.

Etiquetar todos los puntos de bloqueados (tarjetas rojas / amarillas).

Confirmar con Control Central (CC) que los equipos están sin energía (estado en pantalla)

Pedir a CC el control “local” de los equipos y probar energía CERO desde las botoneras; comprobar que no arranquen.

Llenar Análisis de Tarea Segura (ATS) y Permisos de Trabajo de Riesgo (PTR).

### Equipos de Protección Personal (EPP)

Básico	Específico
Casco	Guantes
Gafas de seguridad	Respirador / mascarilla
Botas punta de acero	Protección auditiva / orejeras
Uniforme con reflectivos	

### Herramientas y Materiales

#### Herramientas Generales

Descripción	Cantidad
Caja de herramientas básica	1

Herramientas Específicas

Descripción	Cantidad
Soplador portátil 110 VAC	1
Extensión eléctrica 110 VAC	1
Juego de llaves TORX	1

Actividades Preliminares (Advertencia / Preparación)

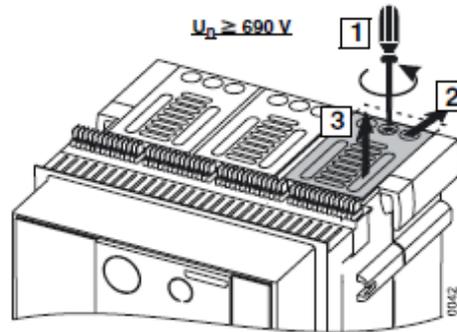
Actividad	OK
<b>Antes de retirar cualquier elemento o pieza, es imprescindible descargar el acumulador de resorte del interruptor de potencia.</b>	

Instrucciones de Mantenimiento (check-list)

	DESCRIPCIÓN	B	M
1	Revisar cámara de extinción y contactos.		
2	Revisar mecanismo de apertura y cierre.		

## Revisar contactos de potencia

Retiro de cámara de extinción.

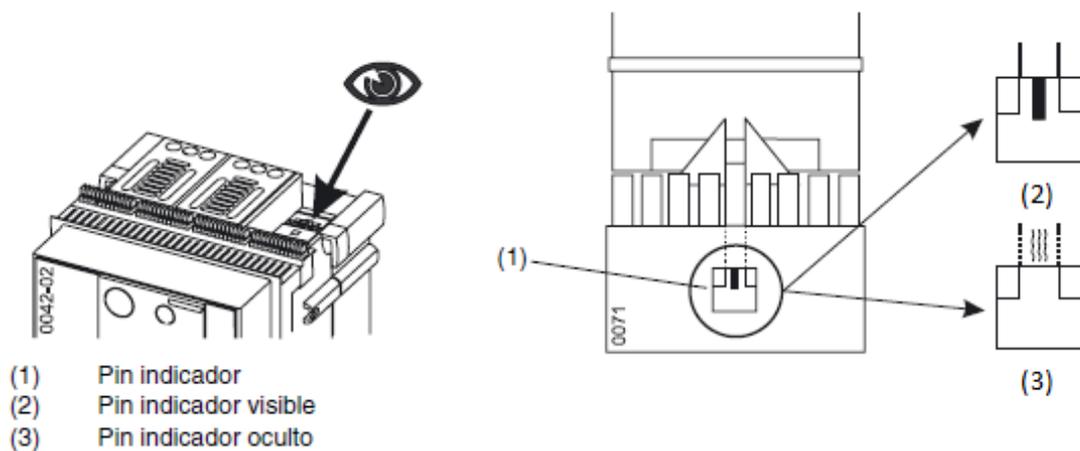


Desatornillar el tornillo aproximadamente 15 mm y no extraerlo.

Retirar hacia atrás la cubierta.

Retirar la cámara de arco eléctrico, hacia arriba.

## Revisar ajuste del contacto de potencia.



Cargar manualmente el acumulador del resorte.

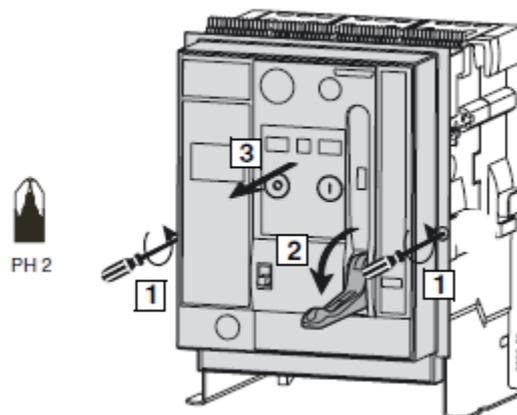
Cerrar manualmente el interruptor.

Verificar el estado del pin indicador como se muestra la figura.

Una vez que quede oculto el pin indicador, se debe cambiar el sistema de contactos.

Utilizar si es necesario un espejo para realizar el control visual de los interruptores fijos.

### **Revisar mecanismo de interruptor.**



Retirar la máscara del interruptor.

Limpiar y revisar mecanismo de apertura/ cierre.

Lubricar elementos mecánicos.

**Recomendaciones:**

Una vez terminado el mantenimiento, recoger todas las herramientas específicas de la actividad, verificar y no dejar objetos extraños dentro del equipo.

Limpiar el área de trabajo retirar, todos los restos de lubricantes, materiales sobrantes, y otros.

Al término del mantenimiento entregar al Técnico la orden de trabajo con las observaciones identificadas.

Documentos de Referencia

Archivo técnico

Instrucciones de servicio interruptores 3WL SENTRON

Observaciones

---

---

## PLAN DE INSPECCION ANUAL

### Componentes a inspeccionar:

Barras de cobre, elementos de conexión, tornillería.

### Requerimientos

Descripción	Estimado
Personas propias (#)	1
Tiempo (horas)	8

\* Anote las personas y el tiempo empleadas en la actividad

### Medidas de Bloqueo y Etiquetado

Sencillo: SI Punto (HAC): **5P1- 1S2.**

Múltiple 2 o más equipos: NO

Bloquear el interruptor de alimentación de 4160 V con los candados respectivos.

Etiquetar todos los puntos de bloqueados (tarjetas rojas / amarillas).

Confirmar con Control Central (CC) que los equipos están sin energía (estado en pantalla)

Pedir a CC el control "local" de los equipos y probar energía CERO desde las botoneras; comprobar que no arranquen.

Llenar Análisis de Tarea Segura (ATS) y Permisos de Trabajo de Riesgo (PTR).

### Equipos de Protección Personal (EPP)

Básico	Específico
Casco	Guantes
Gafas de seguridad	Respirador / mascarilla
Botas punta de acero	Protección auditiva / orejeras
Uniforme con reflectivos	

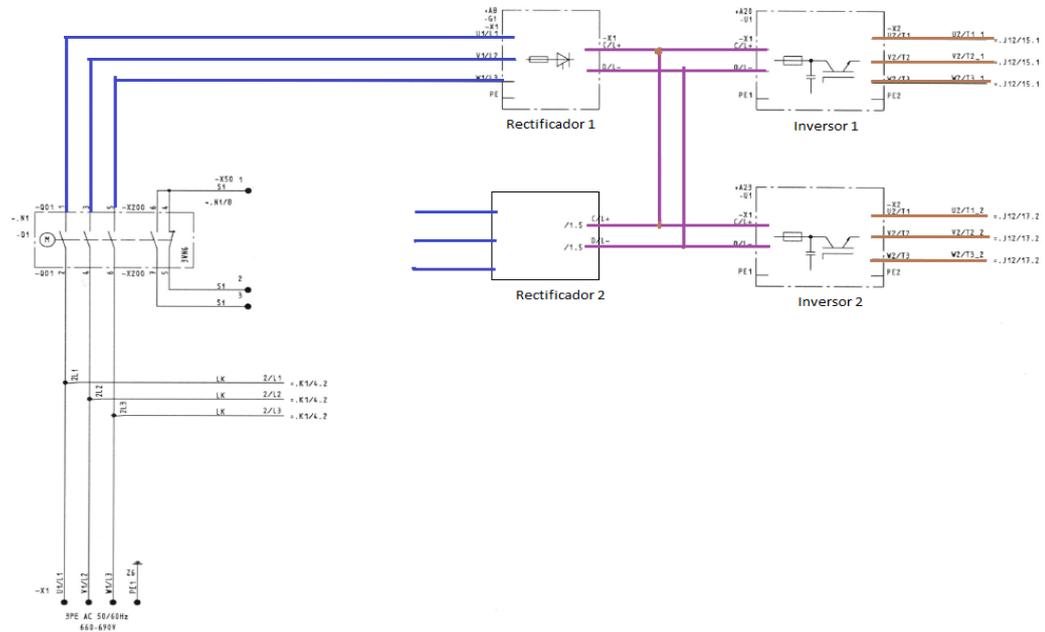
### Herramientas y Materiales

#### Herramientas Generales

Descripción	Cantidad
Caja de herramientas básica	1
Extensión eléctrica 110 VAC	1

## Instrucciones de Mantenimiento (check-list)

### Diagrama de circuito de potencia



Revisar y reajustar barraje etapa interruptor – rectificador (líneas azules).

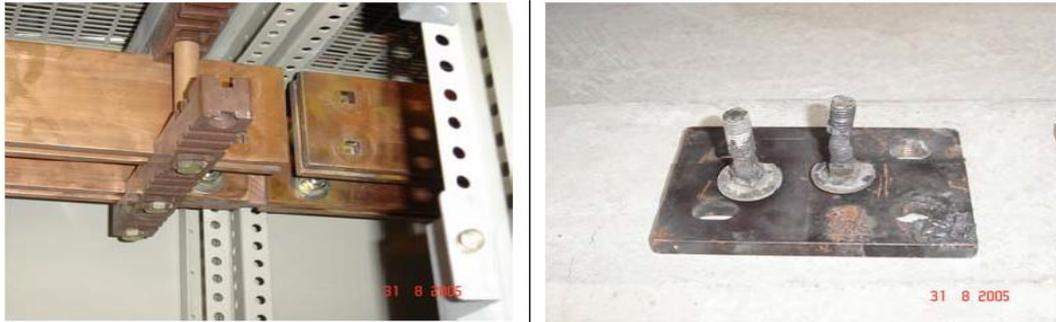
Revisar y reajustar barraje etapa rectificador – inversor bus DC (líneas lila).

Revisar y ajustar barraje etapa inversor – filtro sinusoidal (líneas cafés).



**Realizado por: Cristian Aguilar Peñaloza.**

### Sistema de barras de potencia defectos.



Realizado por: Cristian Aguilar Peñaloza.

### **Recomendaciones:**

Una vez terminado el mantenimiento, recoger todas las herramientas específicas de la actividad, verificar y no dejar objetos extraños dentro del equipo.

Limpiar el área de trabajo retirar, todos los restos de lubricantes, materiales sobrantes, y otros.

Al término del mantenimiento entregar al Técnico la orden de trabajo con las observaciones identificadas.

### Documentos de Referencia

Archivo técnico

Planos de diseño variador Hi\_lo\_Hi.

Registros de fallas VSD.

### Observaciones

---

---

## PLAN DE INSPECCIÓN TRES AÑOS

### Componentes a inspeccionar:

Ventiladores de enfriamiento

### Requerimientos

Descripción	Estimado
Personas propias (#)	2
Tiempo (horas)	8

\* Anote las personas y el tiempo empleadas en la actividad

### Medidas de Bloqueo y Etiquetado

Sencillo: SI Punto (HAC): **5P1- 1S2.**

Múltiple 2 o más equipos: NO

Bloquear el interruptor de alimentación de 4160 V con los candados respectivos.

Etiquetar todos los puntos de bloqueados (tarjetas rojas / amarillas).

Confirmar con Control Central (CC) que los equipos están sin energía (estado en pantalla)

Pedir a CC el control "local" de los equipos y probar energía CERO desde las botoneras; comprobar que no arranquen.

Llenar Análisis de Tarea Segura (ATS) y Permisos de Trabajo de Riesgo (PTR).

### Equipos de Protección Personal (EPP)

Básico
Casco
Gafas de seguridad
Botas punta de acero
Uniforme con reflectivos

Específico
Guantes
Respirador / mascarilla
Protección auditiva / orejeras

### Herramientas y Materiales

#### Herramientas Generales

Descripción	Cantidad
Caja de herramientas básica	1

#### Herramientas Específicas

Descripción	Cantidad
Juego de llaves TORX	1
Caja de dados mm	1
Escalera de acceso	1

## Instrucciones de Mantenimiento (check-list)

Cambiar ventiladores rectificadores.

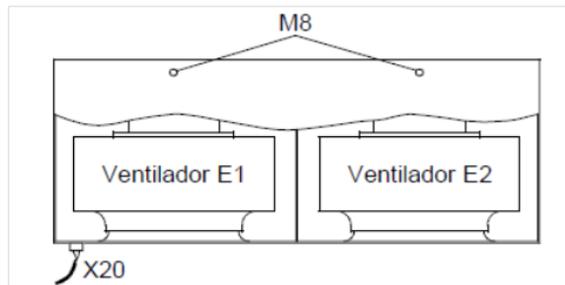
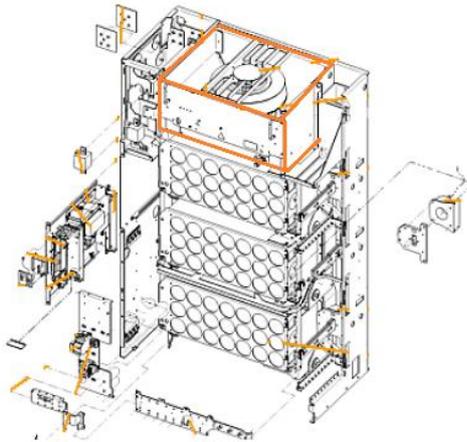


Figura 8.2 Ventiladores (AC 230V) para tamaño K

- Los dos ventiladores se encuentran en el compartimento situado en la parte superior del equipo.
- Desenchufar el conector X20
- Soltar los dos tornillos de fijación M8 (SW 13).
- Sacar hacia adelante el compartimento del ventilador.
- El montaje se realiza en sentido inverso.

Retirar y cambiar ventilador inversor.



El módulo de ventilación está compuesto de:

La caja del ventilador y

El ventilador

El módulo de ventilación está montado sobre la batería de condensadores.

- Saque el enchufe X20.
- Retire la fijación del cable.
- Suelte ambos tornillos Torx M6x12.
- Saque el módulo del ventilador hacia delante.
- Monte el ventilador siguiendo los mismos pasos de forma inversa.
- Controle, antes de poner en servicio el ventilador, que este gire libremente y controle a su vez la dirección de la corriente del aire.

El aire tiene que circular saliendo del aparato por la parte superior.

**Recomendaciones:**

Una vez terminado el mantenimiento, recoger todas las herramientas específicas de la actividad, verificar y no dejar objetos extraños dentro del equipo.

Limpiar el área de trabajo retirar, todos los restos de lubricantes, materiales sobrantes, y otros.

Al término del mantenimiento entregar al Técnico la orden de trabajo con las observaciones identificadas.

Documentos de Referencia

Simovert Masterdrives, forma constructiva en chasis.

Instrucciones de servicio, simovert Masterdrives unidad de alimentación.

Observaciones

---

---

## PLAN DE INSPECCION A LOS CINCO AÑOS

### Componentes a inspeccionar:

Inversor, IGBT'S, bancos de condensadores.

### Requerimientos

Descripción	Estimado
Personas propias (#)	2
Tiempo (horas)	48

\* Anote las personas y el tiempo empleadas en la actividad

### Medidas de Bloqueo y Etiquetado

Sencillo: SI Punto (HAC): **5P1- 1S2.**

Múltiple 2 o más equipos: NO

Bloquear el interruptor de alimentación de 4160 V con los candados respectivos.

Etiquetar todos los puntos de bloqueados (tarjetas rojas / amarillas).

Confirmar con Control Central (CC) que los equipos están sin energía (estado en pantalla)

Pedir a CC el control "local" de los equipos y probar energía CERO desde las botoneras; comprobar que no arranquen.

Llenar Análisis de Tarea Segura (ATS) y Permisos de Trabajo de Riesgo (PTR).

### Equipos de Protección Personal (EPP)

Básico	Específico
Casco	Guantes
Gafas de seguridad	Respirador / mascarilla
Botas punta de acero	Protección auditiva / orejeras
Uniforme con reflectivos	

### Herramientas y Materiales

#### Herramientas Generales

Descripción	Cantidad
Caja de herramientas básica	1

#### Herramientas Específicas

Descripción	Cantidad
Jgo. Llaves mixta en mm	1
Juego de llaves TORX en T	1
Caja de dados en mm	1

## Instrucciones de Mantenimiento

Retirar banco de condensadores, inversor

### PRECAUCIÓN:

La batería de condensadores puede pesar, según la potencia del convertidor hasta 30 kg!



**Realizado por:** Cristian Aguilar Peñaloza.

- Desconecte el conector de resistencia de cada banco de condensadores, antes de retirar la tornillería.
- Retire los tornillos de sujeción en todo el marco metálico.
- Proceda a abatir cada banco, esto desconectara la parte de potencia.
- Una vez abiertos, levante y retire de su base a apoyo, el banco de condensadores.

## Retirar la placa de, enlace del bus DC con IGBT'S.



Realizado por: Cristian Aguilar Peñaloza.

- Retirar las 4 tuercas M6.
- Retirar los pernos M8 que sujetan las tarjetas de control llamadas SNUBBER.
- Aflojar todos los pernos M8 alrededor de la placa de enlace, deje dos pernos como guía y prepárese para sujetar y retirar la placa de enlace.
- Con la ayuda de otra persona, retire los pernos guía y saque la placa de enlace.
- A continuación podrá observar los IGBT'S montados en el chasis.
- Marcar y retirar los cables de fibra óptica de la tarjeta de disparos.
- Utilizar las llaves TORX, para desmontar la tarjeta de disparos.



Realizado por: Cristian Aguilar Peñaloza.

- Con la ayuda de un multímetro realizar la prueba de resistencia entre colector y emisor.
- Con la ayuda del multímetro, conmutar la compuerta para comprobar su funcionamiento.
- Observar estado físico de los IGBT'S, si encuentra rastros de fatiga, proceda al cambio.
- Realizar todos los pasos en orden inverso para volver armar el inversor.

### **Revisar bancos de condensadores.**

Cambio de la batería de condensadores

El módulo de condensadores consta de los siguientes componentes:

Condensadores del circuito intermedio, el portador de condensadores y

El embarrado del circuito intermedio.



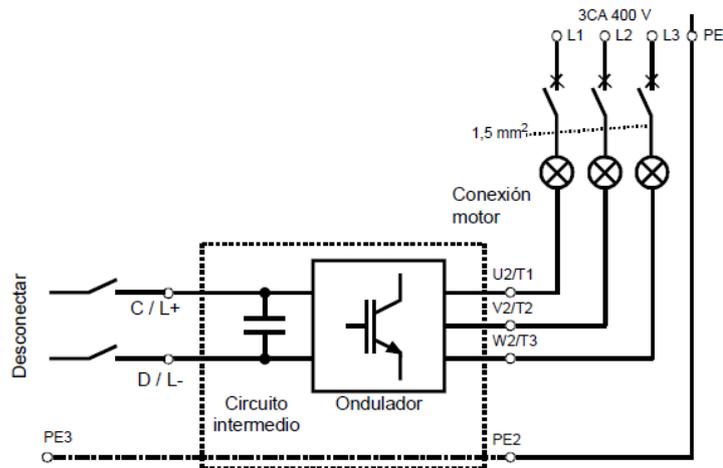
**Realizado por:** Cristian Aguilar Peñaloza.

Después de no funcionar el aparato durante más de un año se tienen que formar de nuevo los condensadores del circuito intermedio. Si esta medida no se toma en cuenta pueden producirse daños en el aparato al conectarlo a la red.

Si la puesta en servicio se realiza antes de haber pasado un año de su fabricación, no es necesario formar de nuevo los condensadores del circuito intermedio.

Para formar, se conecta el circuito intermedio del equipo mediante un rectificador, un condensador de alisamiento y una resistencia.

Al formar, a los condensadores del circuito intermedio, se les aplica una tensión definida y una intensidad limitada, con lo cual se restablecen las condiciones internas necesarias para el funcionamiento propicio de los condensadores del circuito intermedio.



Circuito eléctrico para formar condensadores.

Materiales:

1 portafusibles (triple 460 V / 10 A)

3 bombillas de 230 V / 100 W

Piezas pequeñas como: boquillas de lámparas, cable de 1,5 mm<sup>2</sup>

**PELIGRO:** Debido a la carga remanente de los condensadores del circuito intermedio, el equipo mantiene tensiones peligrosas hasta 5 minutos después de la desconexión. Por tanto no está permitido trabajar en el aparato o en los bornes del circuito intermedio hasta transcurrido dicho tiempo de espera.

Procedimiento:

Antes de formar el aparato se deben quitar todas las conexiones a tierra.

La alimentación del convertidor tiene que estar desconectada.

El equipo no debe recibir ninguna orden de conexión (p. ej. Vía teclado PMU o regletero de bornes).

Conecte los componentes necesarios como en el ejemplo dado en el circuito.

Conectar el circuito de formación. La regeneración tarda aproximadamente 1 hora.

Revisar condensadores de filtro de salida (RLC)

**PELIGRO:** Debido a la carga remanente de los condensadores del circuito intermedio, el equipo mantiene tensiones peligrosas hasta 5 minutos después de la desconexión. Por tanto no está permitido trabajar en el aparato o en los bornes del circuito intermedio hasta transcurrido dicho tiempo de espera.



**Realizado por:** Cristian Aguilar Peñaloza.

- Revisar conexiones y ajustar líneas de conexión.
- Verificar el estado físico de los condensadores.
- Revisar posibles fugas en los condensadores.

**Recomendaciones:**

Una vez terminado el mantenimiento, recoger todas las herramientas específicas de la actividad, verificar y no dejar objetos extraños dentro del equipo.

Limpiar el área de trabajo retirar, todos los restos de lubricantes, materiales sobrantes, y otros.

Al término del mantenimiento entregar al Técnico la orden de trabajo con las observaciones identificadas.

Documentos de Referencia

Archivo digital, fotografías

Simovert masterdrives.

Observaciones

---

---

### Registro de Revisiones

No. Rev.	Fecha	Ubicación	Información de cambio	Antes	Rev.	Aprob.
0	15 de febrero 2016	Archivo técnico.	Nuevo Documento	Ninguno	00	Coord. Mtto

### 3.4.3 *Métodos de refrigeración.*

Desde su diseño el variador de frecuencia cuenta con un sistema de enfriamiento por aire, el mismo que circula desde la parte inferior hacia arriba, extrayendo el calor disipado por los elementos de potencia. Por la naturaleza de la ubicación y del espacio físico, el calor generado por este equipo provoca el incremento de temperatura del cuarto donde opera el variador de frecuencia.

Para esto se propone dos medios de refrigeración:

- Ventilación de aire forzado.
- Refrigeración por aire acondicionado.

#### **Ventilación de aire forzado.**

Este método consiste en generar un flujo de aire forzado por el cuarto donde opera el variador, para extraer una vez más el calor disipado por el equipo hacia el ambiente aprovechando las ventajas del clima.

Con los datos del equipo se establece el siguiente análisis

Flujo de aire de refrigeración de los inversores 1,81 m<sup>3</sup>/s.

Flujo de aire de refrigeración de los rectificadores 1 m<sup>3</sup>/s.

Flujo de aire de refrigeración de los filtros de salida 1 m<sup>3</sup>/s.

Total de caudal de aire de refrigeración de 3,81 m<sup>3</sup>/s.

Para esto se deben emplear dos ventiladores industriales de pared capaces de generar un flujo de 5,33 m<sup>3</sup>/s cada uno.

## GRÁFICO: 22 VENTILADORES INDUSTRIALES SIEMENS.

### Ventiladores Industriales Axiales

**¡Su motor es muy valioso!**

Protéjalo únicamente con productos Siemens:

- ✓ SIRIUS
- ✓ SINAMICS
- ✓ MICROMASTER



Ventilador axial con motor monofásico



Ventilador axial con motor trifásico



Aspas plásticas

	Tipo	Diametro (mm)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Potencia (kW)	Nivel de Ruido (dB)	Corriente (A)
<b>Con motores monofásicos 1.800 rpm, IP44</b>						<b>110 VAC</b>
100160794	2CC2254 - 5YC3	250	0.38	0.05	62	0.8
100160795	2CC2314 - 5YC3	310	0.70	0.08	65	1.5
100160796	2CC2354 - 5YC3	350	1.01	0.11	68	1.9
100160797	2CC2404 - 5YC3	400	1.45	0.22	74	3.2
100160798	2CC2504 - 5YA3	500	2.93	0.80	78	9.0
<b>Con motores trifásicos 1.800 rpm, IP54</b>						<b>220 VAC 440 VA</b>
100160945	2CC2404 - 5YD6	400	1.45	0.20	74	1.14 0.57
100160799	2CC2504 - 5YB6	500	2.93	0.77	78	3.0 1.5
100160801	2CC2634 - 5YB6	630	5.33	1.46	87	6.4 3.2
100160937	2CC1714 - 5YB6	710	8.37	3.58	91	14.0 7.0

Realizado por: Cristian Aguilar Peñaloza.

## **Refrigeración por aire acondicionado.**

Por el contrario con el aire acondicionado se busca establecer una temperatura óptima del cuarto donde opera el variador de frecuencia de entre 20 a 23 °C y poder controlar de mejor manera los cambios de temperatura que se presentan a lo largo de la operación del variador. Esto ayudará a preservar la vida útil de los componentes electrónicos del variador de frecuencia.

Para este fin se debe instalar una unidad de acondicionamiento de aire con capacidad de 240.000 BTU/h.

Flujo de aire: 3,81 m<sup>3</sup>/s

Temperatura inicial: 45°C.

Temperatura final: 23°C.

Densidad del aire: 0,8 kg/m<sup>3</sup>.

Calor específico del aire: 0,24 kcal/k g°C.

Al aplicar la fórmula de transferencia de calor  $(m/t) \cdot C \cdot (T_i - T_f)$  se encuentra al valor de:

$$3,81 * 0,8 * 0,24 * (45-23) = 16,093 \text{ kcal /s.}$$

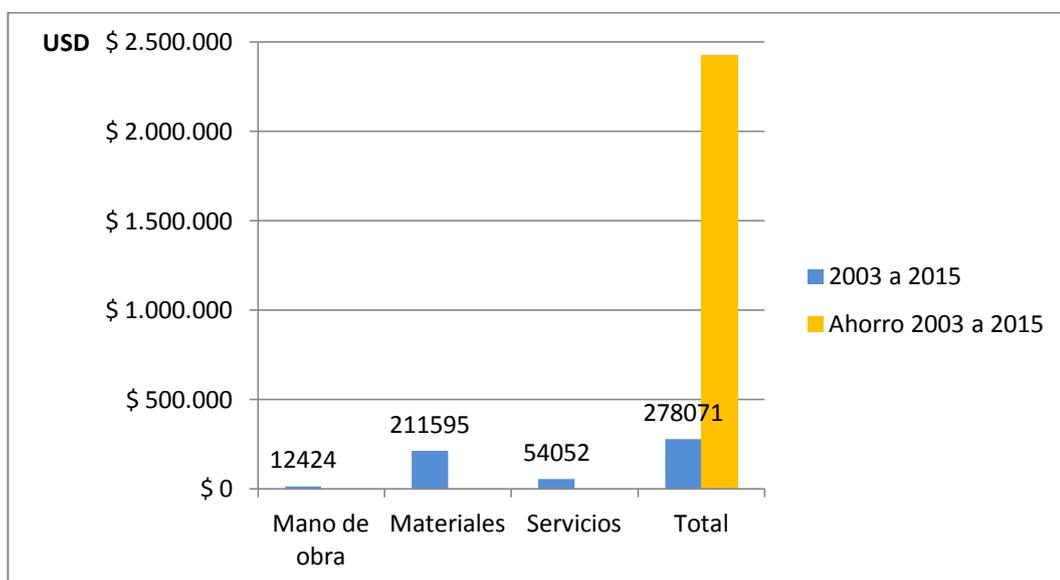
Llevado esto a BTU/ h es igual a:

$$16,093 / 0,252 * 3600 = 229.906 \text{ BTU/h.}$$

### 3.4.4 Costo beneficio.

Al realizar una estimación del ahorro de energía eléctrica que genera el ventilador al operar con variador de frecuencia y los costos de mantenimiento que ha demandado en el período 2003 – 2015, se puede establecer la siguiente comparación.

**GRÁFICO: 23 COSTOS DE REPARACIÓN VS. AHORRO.**



**Fuente:** Holcim Ecuador S.A, Planta Latacunga  
**Realizado por:** Cristian Aguilar Peñaloza.

Para incrementar y mantener la confiabilidad del variador de frecuencia, se ha calculado el costo de futuras inversiones por mantenimiento y compra de equipos contra lo que permite ahorrar en consumo de energía eléctrica de acuerdo a la demanda de cemento proyectada a 5 años. En la siguiente gráfica se calcula el valor presente neto en beneficio para la empresa de **USD 3'525.203**

**CUADRO 10: CALCULO DEL VALOR PRESENTE NETO.**

Nombre del Proyecto	Incrementar la confiabilidad del variador de frecuencia 1500 Kw.					
Tasa de descuento	15,3%					
Crecimiento sostenible %	2,0%					
Op. Profit obtenido por iniciativa	0	1	2	3	4	5
Cálculo de Operating Profit	2016	2017	2018	2019	2020	Terminal Value
Ingresos adicionales (USD 000)	-	477.508	491.833	506.588	521.786	
Costos operativos adicionales (USD 000)	-35.000	-5.000	-2.500	-150.000	-2.000	
CAPEX (USD 000)	-	-	-	-	-	
Otros (USD 000) Detallar	-	-	-	-	-	
Cash flow relevant for valuation	(35.000)	472.508	489.333	356.588	519.786	530.182
Terminal Value						3.986.328
Factor de Descuento @ 15.3% (Hurdle rate)	1,0000	0,8673	0,7522	0,6524	0,5658	0,5658
Flujo de caja descontado	-35.000	409.807	368.083	232.637	294.108	
Valor terminal descontado						2.255.567
NPV de Flujos 2016-2020	1.269.636	36,02%				
NPV del Valor Terminal	2.255.567	63,98%				
<b>Valor Presente Neto (NPV) (USD 000)</b>	<b>3.525.203</b>	100,00%				

**Fuente:** Holcim Ecuador S.A.  
**Realizado por:** Cristian Aguilar Peñaloza.

### 3.4.5 *Consumo racional de energía eléctrica.*

Holcim Ecuador es una empresa líder en el país y su política de medio ambiente está enfocada en el uso eficiente de los recursos no renovables, de entre los cuales el empleo del variador de frecuencia permite reducir el consumo de energía eléctrica en el área de molienda de cemento. A continuación se establece un cuadro resumido de los consumidores del área de molienda de cemento.

CUADRO 11: CONSUMIDORES DEL ÁREA DE MOLIENDA

EQUIPOS	POTENCIAS Kw.	t/h.	Kwh/t.
Molino	2300	110	20,91
Ventilador ppal.	857	110	7,79
Separador	250	110	1,90
Ventilador filtro	110	110	1,00
Auxiliares	230	110	2,09

Para el área de molienda se establece un consumo específico total de **33,7 Kwh/t.** Este es uno de los indicadores a seguir para el control del consumo de energía eléctrica en el área de molienda de cemento, para la planta Latacunga.

Tanto el motor del separador y ventilador del filtro principal, ya cuentan con variadores de velocidad, el único equipo que no cuenta con regulación de velocidad y es el más grande, es el molino vertical, pero por su diseño del accionamiento; su demanda de torque y potencia demandada por el reductor, por el momento no es posible implementar un accionamiento de velocidad variable.

## CONCLUSIONES

- ✓ La aplicación de regulación de gases por velocidad variable permite establecer un ahorro de energía de 14,7 a 7,8 Kwh/t. en el ventilador de tiro.
- ✓ El uso de un variador de frecuencia permite establecer un consumo racional de la energía eléctrica en el proceso de molienda de cemento.
- ✓ Las altas temperaturas con las que pueda operar el variador de frecuencia reducen su vida útil, debido a que sus elementos electrónicos se exponen a mayor calor.
- ✓ El uso de ventilación forzada ayuda a refrigerar el equipo; sin embargo por tratarse de una industria cementera, el método de filtración se ve afectado por el ambiente de polución. Teniéndose que aumentar la frecuencia de limpieza.
- ✓ Mientras más se acerque, la velocidad de trabajo; a la velocidad nominal del ventilador, menor será el ahorro de energía, debido a que no se aprovecha el desempeño del variador de frecuencia.
- ✓ Se observa que con la implementación de los planes de mantenimiento se puede alcanzar un ahorro de USD 385.000 al año, por concepto de ahorro de energía eléctrica.

## RECOMENDACIONES

- Se deben realizar mediciones para comprobar el buen funcionamiento del sistema de puesta a tierra entre el motor y el variador de frecuencia, para evitar interrupciones entre la fuente y el motor.
- Es necesario contratar el servicio técnico especializado por parte de SIEMENS, para asegurar la confiabilidad de los repuestos y del equipo.
- Es importante mantener y actualizar las competencias técnicas del personal de mantenimiento, para poder enfrentar los casos de averías o fallas del variador de frecuencia.
- Por la antigüedad del motor del ventilador principal, se deben efectuar mediciones para evaluar el estado de los bobinados del mismo.
- Mantener un stock mínimo de repuestos del variador de frecuencia y del motor del ventilador.
- Se debe mantener instalada la compuerta de estrangulación de gases a la entrada del ventilador de tiro inducido. En el caso de un eventual daño grave del variador de frecuencia se pueda mantener una opción para a marcha del proceso de molienda de cemento.
- Se debe mantener las rutinas de mantenimiento para el arrancador líquido del ventilador principal del molino; ya que en el caso de un eventual daño grave del variador de frecuencia se pueda mantener otra opción para la marcha del proceso de molienda de cemento.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS Y SIGLAS

**MVR:** Molino Vertical de Rodillos.

**VSD:** Variador de velocidad (Variable Speed Drive).

**HI:** Alto (High)

**LO:** Bajo (Low)

**DOL:** Modo de operación en directo (Direct On Line)

**Ventilador de Tiro:** Máquina para la aspiración de mezcla gases calientes con polvo de cemento.

**Rectificadores:** Elemento electrónico de potencia capaz de convertir la corriente alterna en corriente directa.

**Inversores:** Elemento electrónico de potencia capaz de generar una onda sinusoidal a distinta frecuencia.

**IGBT:** Transistor Bipolar de Compuerta Aislada (Insulated Gate Bipolar Transistor).

**Multímetro:** Medidor de parámetros eléctricos.

**Interruptor:** Equipo para la conexión o desconexión de un circuito eléctrico.

**Mecanismo:** Conjunto de piezas y resortes que realizan algún movimiento.

**MTBF:** Tiempo medio entre fallas (Mean Time Between Failure).

**MTTR:** Tiempo medio para la reparación (Mean Time To Repair).

**FPE:** Elementos prevención de Fatalidades. (Fatality Prevention Element).

**Confiabilidad:** Es la capacidad que posee un equipo o sistema para operar sin fallos en un determinado periodo de tiempo o proceso.

## TRABAJOS CITADOS

**Dr. Ing. JUAN M. HIDALGO DE CISNEROS ALONSO**

materconstrucc.revistas.csic.esmaterconstrucc.revistas.csic.es<http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/viewFile/1178/1311> pag. 10

**HGRS2006** Cement Manufacturing Course Versión 2006.1 *Cement Manufacturing Course Technical Documentation* Guayaquil

**Holcim Ecuador S.A.2010** Video de Reconocimiento de Puntos Verdes, planta Latacunga Área de comunicaciones

<http://www.holcim.com.ec/comunicandonos/galeria-de-videos/reconocimiento-puntos-verdes.html>

**Loesche The Grinding expert** Loesche, molinos para crudo para

cemento. [http://www.loesche.com/assets/PageContent/Data/Multimedia/Brochures/Cement-Raw-Material/pdf/155\\_loesche\\_mills\\_for\\_cement\\_raw\\_material\\_SP.pdf](http://www.loesche.com/assets/PageContent/Data/Multimedia/Brochures/Cement-Raw-Material/pdf/155_loesche_mills_for_cement_raw_material_SP.pdf)

**1995** *Mecánica de Fluidos* Bogotá McGraw-Hill 1995

**Siemens AG1994** SIMOVERT Master Drives Unidad de

alimentación *Instrucciones de servicio* Siemens Aktiengesellschaft 6SE7087-8AK85-0AA0

**SIEMENS, AG.** Accionamientos Estandar

Siemens [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/404/5824404/att\\_47647/v1/Accionamientos\\_Estndar\\_Siemens.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/404/5824404/att_47647/v1/Accionamientos_Estndar_Siemens.pdf)

## BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Giles, R. V. (n.d.). *Mecánica de fluidos e Hidráulica*. Mc Graw Hill.
- HGRS. (2006, octubre 08). Cement Manufacturing Course. *Cement Manufacturing Course Technical Documentation, 1, Versión 2006.1*. Guayaquil, Ecuador: Holcim Group Support Ltd.
- HGRS, Holcim Group Support. (2010). Main Fans. (D. B. W. Zeller, Ed.)
- Mataix, C. (1986). *Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas*. Madrid, España: Ediciones del Castillo S.A.
- MOSQUERA RODRIGUEZ, P. (2014). "Elaborar un manual de lubricación para la empresa Holcim cementos Latacunga". (U. T. Cotopaxi, Ed.) Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.
- P., I. X. (2006, 03 30). *JEL\REGISTROS DE MANTENIMIENTO ELECTRICO\Variador Ventilador\Fallo F029, marzo 24*. Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.
- Robinson Industries, I. (2000). Operation and Maintenance Instructions.
- Siemens AG. (1994). SIMOVERT Master Drives Unidad de alimentación. *Instrucciones de servicio(6SE7087-8AK85-0AA0)*. Siemens Aktiengesellschaft.
- SIEMENS AG. (1999, Mayo). SIMOVERT MASTERDRIVES Vector Control Onduladores (CC-CA) Forma constructiva en Chasis. *Instrucciones de servicio(6SE7087-8KN60)*. Siemens Aktiengesellschaft.
- SIEMENS AG. (2007). *SENTRON WL*. Alemania: SIEMENS AG.
- Vennard, J. (1979). *Elementos de Mecánica de Fluidos*. (J. Flores Barrios, Trans.) México: Compañía Editorial Continental, 1979.

## BIBLIOGRAFÍA VIRTUAL

- ✓ © 2015 Holcim Ecuador S.A. Disponible en: [http://www.holcim.com.ec/uploads/EC/Nuestros\\_procesos\\_de\\_produccion\\_01.pdf](http://www.holcim.com.ec/uploads/EC/Nuestros_procesos_de_produccion_01.pdf)
- ✓ Automatización, p. y. (2003). *Alianza Para el Ahorro de Energía.*, de Eficiencia Integral en Agua y Energía. Disponible en: <http://waterymex.org/contenidos/rtecnicos/Curso%20basico%20de%20Variadores%20de%20Frecuencia.pdf>
- ✓ Calvo, F. S. (2010-2011). *ingenieros.es*. Recuperado el 9 de enero de 2015, Disponible en: [http://ingenieros.es/files/proyectos/Variadores\\_de\\_frecuencia.pdf](http://ingenieros.es/files/proyectos/Variadores_de_frecuencia.pdf)
- ✓ Dr. Ing. JUAN M. HIDALGO DE CISNEROS ALONSO1977 *materconstrucc.revistas.csic.es* Disponible en: <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/viewFile/1178/1311>
- ✓ GEBR. PFEIFFER. (2000). *Progreso por tradicion Competencia en cemento*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2015, de Progreso por tradicion Competencia en cemento. Disponible en: [http://www.gebr-pfeiffer.com/fileadmin/PDF/Broschueren/spanisch/Competentes\\_en\\_cuestiones\\_de\\_cemento.pdf](http://www.gebr-pfeiffer.com/fileadmin/PDF/Broschueren/spanisch/Competentes_en_cuestiones_de_cemento.pdf)
- ✓ Google Maps. Disponible en: <https://www.google.com.ec/maps/@-0.9449997,-78.6311697,2838m/data=!3m1!1e3?hl=es-419>
- ✓ Grupo WEG Unidad Motores. (septiembre de 2014). *ecatalogweg.net*. Recuperado el 9 de febrero de 2015, Disponible en: <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-guia-de-especificacion-50039910-manual-espanol.pdf>
- ✓ Holcim Ecuador S.A. *Video de Reconocimiento de Puntos Verdes, planta Latacunga* Área de comunicaciones. Disponible en:

<http://www.holcim.com.ec/comunicandonos/galeria-de-videos/reconocimiento-puntos-verdes.html>

- ✓ Loesche The Grinding expert *Loesche, molinos para crudo para cemento*. Disponible en: <http://www.fueyoeditores.com/articulos-tecnicos-5/288-los-cementos-molidos-en-los-molinos-verticales-de-rodillos-cumplen-con-las-exigencias-de-calidad-del-mercado>
- ✓ *Metodología de la investigación*. (31 de julio de 2010). Recuperado el 12 de febrero de 2015, de Metodología de la investigación. Disponible en: <http://metodologia02.blogspot.com/2010/07/la-metodologia.html#comment-form>
- ✓ SIEMENS, AG. *Accionamientos Estandar Siemens*; Recuperado el 29 de noviembre de 2015 Disponible en: [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/404/5824404/att\\_47647/v1/Accionamientos\\_Estndar\\_Siemens.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/404/5824404/att_47647/v1/Accionamientos_Estndar_Siemens.pdf)
- ✓ Wikipedia; *Modulación por ancho de Pulsos*; (19 de 06 de 2010). (Wikipedia®) Recuperado el 20 de enero de 2015, Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n\\_por\\_ancho\\_de\\_pulsos](https://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_por_ancho_de_pulsos)
- ✓ Wikipedia; *Diagrama de Pareto*; (17 de mayo de 2012). (Wikipedia®) Recuperado el 12 de febrero de 2015, Disponible en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama\\_de\\_Pareto](http://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_de_Pareto)

# ANEXOS