



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

## **MEJORA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE UN MOLINO DE SÉMOLA**

**Nery Omar de la Cruz Leonardo**  
Asesorado por el Ing. Fernando Moscoso

Guatemala, mayo de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MEJORA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE UN MOLINO DE SÉMOLA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**NERY OMAR DE LA CRUZ LEONARDO**

ASESORADO POR EL ING. FERNANDO MOSCOSO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

GUATEMALA, MAYO DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

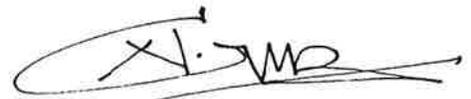
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier González Gómez
EXAMINADOR	Ing. Armando Gálvez Castillo
EXAMINADOR	Ing. Pablo Rodolfo Zuñiga Ramírez
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **MEJORA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE UN MOLINO DE SÉMOLA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 30 de abril de 2009.



Nery Omar de la Cruz Leonardo

Guatemala, 26 de octubre de 2011.

Ingeniero  
Romeo Neftali López Orozco  
Coordinador del Área de Electrotecnia  
Escuela de Ingeniería Mecánica-Eléctrica  
Facultado de Ingeniería.  
USAC

Estimado Ingeniero:

Atentamente y por este medio le comunico que he revisado los temas técnicos del trabajo de graduación titulado "**MEJORA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE UN MOLINO DE SEMOLA**", elaborado por el estudiante Nery Omar De La Cruz Leonardo con número de carnet 2001-12775, por lo cual considero que el trabajo de graduación cumple con el alcance y los objetivos definidos para su desarrollo, sometiendo a su consideración la aprobación del mismo, siendo responsables del contenido técnico el estudiante y el suscrito en calidad de asesor.

Atentamente,



Ingeniero Fernando Alfredo Moscoso Lira  
Colegiado 6386  
Asesor

Fernando Alfredo Moscoso Lira  
Ingeniero Mecánico-Eléctrico  
Colegiado No. 6386



FACULTAD DE INGENIERIA

Ref. EIME 92. 2011

Guatemala, 24 de NOVIEMBRE 2011.

Señor Director  
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
"MEJORA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE UN MOLINO DE  
SÉMOLA, del estudiante Nery Omar De la Cruz Leonardo,  
que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Romeo Neftali Lopez Orozco  
Coordinador de Electrotécnica

RNLO/sro





REF. EIME 02. 2012.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; NERY OMAR DE LA CRUZ LEONARDO titulado: "MEJORA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE UN MOLINO DE SÉMOLA", procede a la autorización del mismo.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 18 DE ENERO 2012.



DTG. 214.2012

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **MEJORA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE UN MOLINO DE SÉMOLA**, presentado por el estudiante universitario **Nery Omar de la Cruz Lenardo**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 18 de mayo de 2012.

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por darme la vida y la oportunidad de poner a su disposición los talentos que me ha dado.
- Mis padres** Nery De la Cruz e Ingrid de De la Cruz, por su apoyo y esfuerzo para culminar con éxito esta etapa de mi vida y enseñarme que todo lo que se propone se puede cumplir.
- Mis hermanos** Aldo, Karen y Génesis, quienes me enseñaron que todo es posible con la ayuda de otros.
- Mi esposa** Eugenia, que sin importar la hora siempre me acompañó en mis noches de desvelo y supo darme aliento para culminar este proyecto.
- Ustedes** Todas aquellas personas que me brindaron su valiosa colaboración, para llevar a cabo este trabajo de graduación.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS .....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	XIX
1.    DIÁGNOSTICO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS	
ACTUALES .....	1
1.1.    Instalaciones.....	1
1.1.1.    Ambiente de trabajo .....	2
1.1.2.    Planta generadora.....	2
1.1.3.    Barras de tableros .....	3
1.1.4.    Cargas instaladas.....	3
1.1.5.    Tableros eléctricos .....	14
1.1.5.1.    Condición actual .....	14
1.1.6.    Estado actual y dimensionamiento de los conductores .....	16
1.1.6.1.    Resistencia al aislamiento.....	16
1.1.6.2.    Capacidad, calibre y secciones de conductores eléctricos.....	18
1.1.7.    Tuberías eléctricas .....	27
1.1.8.    Protecciones .....	29
1.2.    Análisis de redes.....	30
1.2.1.    Corrientes.....	30

1.2.2.	Voltajes .....	33
1.2.3.	Factor de potencia .....	37
1.2.4.	Análisis de armónicos .....	39
1.2.4.1.	Distorsión armónica THDV .....	40
1.2.5.	Desbalance.....	44
1.3.	Red de tierras.....	45
1.4.	Pararrayos.....	48
2.	DIAGRAMAS UNIFILARES .....	51
3.	TEÓRICO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS ACTUALES.....	55
3.1.	Cálculo de conductores .....	55
3.1.1.	Cálculo de conductores por caída de tensión .....	57
3.1.2.	Cálculo de conductores por capacidad de corriente .....	68
3.1.3.	Elección del conductor y protecciones .....	77
3.2.	Diseño de la red de tierras.....	86
3.3.	Cálculo de pararrayos .....	90
4.	MEJORAS AL SISTEMA ELÉCTRICO DEL MOLINO .....	95
4.1.	Cambio de nivel de voltaje de operación .....	95
4.2.	Tableros Eléctricos .....	96
4.2.1.	Tablero eléctrico principal .....	96
4.3.	Centro de control de motores .....	97

4.4.	Protecciones.....	97
4.4.1.	Protecciones contra sobrecorriente .....	98
4.4.2.	Protecciones contra sobrevoltaje.....	98
4.4.3.	Protección contra transcientes.....	100
4.4.4.	Factor de potencia.....	101
4.4.5.	Mejora de diagrama eléctrico.....	104
5.	PROTECCIONES ESPECIALIZADAS EN AMBIENTES EXPLOSIVOS .....	105
5.1.	Protección contra carga estática .....	105
5.1.1.	Protecciones contra explosiones .....	108
6.	PLAN DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO .....	113
6.1.	Planta de emergencia .....	118
6.1.1.	Mejoras en planta de emergencias.....	119
7.	COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN AL SISTEMA ELÉCTRICO .....	123
	CONCLUSIONES .....	129
	RECOMENDACIONES .....	131
	BIBLIOGRAFÍA.....	133
	APÉNDICES .....	135



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Curva de demanda potencia activa.....	10
2.	Curva de demanda potencia reactiva .....	11
3.	Conexión de banco de transformadores .....	15
4.	Corriente en línea 1 vrs tiempo .....	30
5.	Corriente en línea 2 vrs tiempo .....	31
6.	Corriente en línea 3 vrs tiempo .....	31
7.	Análisis de corriente .....	32
8.	Voltaje línea 1 vrs tiempo .....	33
9.	Voltaje línea 2 vrs tiempo .....	34
10.	Voltaje línea 3 vrs tiempo .....	35
11.	Factor de potencia línea 1 .....	38
12.	Factor de potencia línea 2 .....	38
13.	Factor de potencia línea 3 .....	39
14.	Medición puesta a tierra .....	48
15.	Diagrama esquemático de pararrayos .....	49
16.	Diagrama unifilar actual .....	52
17.	Subestación molino .....	53
18.	Red de tierras molino.....	87
19.	Diagrama unifilar mejorado.....	104
20.	Moto generador diesel.....	118

## TABLAS

I.	Barra de tableros eléctricos de molino.....	3
II.	Carga instalada en edificio según el nivel.....	4
III.	Carga instalada en edificio según el nivel.....	5
IV.	Carga instalada en edificio según el nivel.....	6
V.	Carga instalada en edificio según el nivel.....	7
VI.	Carga instalada en edificio según el nivel.....	8
VII.	Carga instalada en edificio según el nivel.....	9
VIII.	Aislamiento de conductores .....	18
IX.	Valores de conductores actuales por nivel .....	19
X.	Valores de conductores actuales por nivel .....	20
XI.	Valores de conductores actuales por nivel .....	21
XII.	Valores de conductores actuales por nivel .....	22
XIII.	Valores de conductores actuales por nivel .....	23
XIV.	Valores de conductores actuales por nivel .....	24
XV.	Conductores de alimentadores tableros principales .....	25
XVI.	Conductores de alimentadores tableros principales .....	26
XVII.	Conductores de alimentadores tableros principales .....	26
XVIII.	Alimentadores principales .....	27
XIX.	Resumen de corrientes .....	32
XX.	Índice de tolerancia admisible .....	33
XXI.	Resumen voltaje de línea .....	34
XXII.	Tolerancia para la distorsión armónica de tensión.....	43
XXIII.	Desbalance de tensión en porcentajes.....	45
XXIV.	Aislamiento y usos de conductores .....	56
XXV.	Área transversal de conductores .....	59
XXVI.	Conductores por caída de tensión según nivel .....	61
XXVII.	Conductores por caída de tensión según nivel .....	62

XXVIII.	Conductores por caída de tensión según nivel.....	63
XXIX.	Conductores por caída de tensión según nivel.....	64
XXX.	Conductores por caída de tensión según nivel.....	65
XXXI.	Conductores por caída de tensión según nivel.....	66
XXXII.	Cálculos de acometidas por caída de voltaje .....	67
XXXIII.	Factor de corrección por temperatura y número de conductores .....	68
XXXIV.	Cálculo de conductor por corriente eléctrica según nivel.....	71
XXXV.	Cálculo de conductor por corriente eléctrica según nivel.....	72
XXXVI.	Cálculo de conductor por corriente eléctrica según nivel.....	73
XXXVII.	Cálculo de conductor por corriente eléctrica según nivel.....	74
XXXVIII.	Cálculo de conductor por corriente eléctrica según nivel.....	75
XXXIX.	Cálculo de conductor por corriente eléctrica según nivel.....	76
XL.	Cálculo de acometidas por corrientes .....	77
XLI.	Selección de conductores y protecciones por nivel .....	78
XLII.	Selección de conductores y protecciones por nivel .....	79
XLIII.	Selección de conductores y protecciones por nivel .....	80
XLIV.	Selección de conductores y protecciones por nivel .....	81
XLV.	Selección de conductores y protecciones por nivel .....	82
XLVI.	Selección de conductores y protecciones por nivel .....	83
XLVII.	Selección de conductores para acometidas .....	85
XLVIII.	Resistividad de diversos suelos .....	89
XLIX.	Costo de implementación red de tierras .....	90
L.	Niveles de protección.....	93
LI.	Ramales del <i>switchboard</i> principal del molino .....	96
LII.	Red de voltaje regulado .....	99
LIII.	Densidad de carga másica en operaciones con polvos.....	106
LIV.	Clasificaciones según NEC y CEC.....	110
LV.	Especificaciones de máxima temperatura superficial .....	111

LVI.	Implementación de mejoras por nivel .....	123
LVII.	Implementación de mejoras por nivel .....	124
LVIII.	Implementación de mejoras por nivel .....	124
LIX.	Implementación de mejoras por nivel .....	125
LX.	Implementación de mejoras por nivel .....	125
LXI.	Implementación de mejoras por nivel .....	126
LXII.	Implementación de mejoras subestación eléctrica .....	126
LXIII.	Implementación de mejoras subestación eléctrica .....	127

## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
$\Phi$	Ángulo de desfase entre los valores efectivos de voltaje y corriente
$\Delta$	Intervalo de cambio del valor de una variable
$\Omega$	Resistencia eléctrica en ohms
Qq	Unidad de peso del sistema métrico decimal equivalente a 46 kilogramos o 100 libras
$\infty$	Valor infinito
%	Valor en porcentaje



## GLOSARIO

<b>AMM</b>	Administrador del mercado mayorista.
<b>ANSI</b>	Instituto Nacional de estándares Americanos.
<b>CEC</b>	Código Eléctrico de Canadá.
<b>Calidad de energía</b>	Describe el comportamiento de los parámetros eléctricos de la red (tensión, corriente, frecuencia, factor de potencia, distorsión armónica, etcétera), con el fin de monitorear las variaciones que estos presentan respecto a los valores recomendados o permitidos.
<b>Canalización</b>	Son los canales, canaletas, ductos o tubos Conduit galvanizados por donde se hacen pasar los conductores.
<b>Carga instalada</b>	Es la suma de la capacidad nominal de todo el equipo eléctrico que se conectará a la acometida.
<b>Demanda</b>	Es la suma de la capacidad nominal de todo el equipo eléctrico que se conectará a la acometida.

<b>Demanda máxima</b>	Es la potencia que consume la carga, medida por lo general en intervalos de tiempo, expresada en kW a un factor de potencia determinado.
<b>DIN</b>	Instituto Alemán de Normalización.
<b>Distorsión armónica</b>	Es la distorsión de la onda senoidal de corriente o tensión eléctrica de frecuencia nominal, ocasionada por la presencia de señales eléctricas senoidales de frecuencias diferentes y múltiples de dicha frecuencia.
<b>Farina</b>	Mezcla de sémola y harina de trigo.
<b>Fp</b>	Factor de potencia.
<b>Gran usuario</b>	Es un consumidor de energía eléctrica cuya demanda de potencia excede el límite inferior fijado por el Ministerio de Energía y Minas.
<b><i>Hard amber durum</i></b>	Variedad de la familia de los trigos duros, especialmente utilizado para la fabricación de pasta.

<b>Instalación eléctrica</b>	Es el conjunto de elementos necesarios para poder conducir y transformar la energía eléctrica para que sea utilizada en las máquinas y aparatos receptores para su utilización final.
<b>IEEE</b>	Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos.
<b>Mercado mayorista</b>	Es el conjunto de operaciones de compra y venta de bloques de potencia y energía que se efectúan a corto y largo plazo entre los participantes del mercado.
<b>MCM</b>	Mil Circular Mil.
<b>MEM</b>	Ministerio de Energía y Minas.
<b>NEC</b>	Código eléctrico nacional de los Estados Unidos de Norteamérica.
<b>NFPA</b>	Asociación nacional contra el fuego.
<b>NTIE</b>	Normas técnicas para instalaciones eléctricas.
<b>NTSD</b>	Normas técnicas del servicio de distribución.
<b>Resistencia de tierra</b>	Propiedad de la tierra de oponerse al flujo de corriente eléctrica a través de ella.

**Sémola de trigo**

Se obtiene al moler el trigo duro refinado, se trata de una harina gruesa no integral formada por fragmentos de trigo duro (*triticum durum*). Igualmente se obtiene sémolas de otros cereales.

**Tubo Conduit**

Tubería metálica para canalización de circuitos eléctricos.

**TM**

Tonelada métrica.

## RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se realiza un análisis del estado actual de los diferentes elementos que componen la instalación eléctrica del molino de sémola, dicho análisis incluye la cuantificación y la caracterización de la carga instalada y a su vez se hace el análisis de la calidad de energía con la que cuenta el edificio.

Con base a la información recolectada, se realiza un rediseño de las instalaciones eléctricas, que incluye el redimensionamiento de los conductores evaluándolos por su caída de tensión y su capacidad de corriente, diseño de una red de tierras y cálculo del pararrayos.

Finalmente, se establece una serie de mejoras con el objetivo de aumentar el ahorro energético, haciendo más eficiente la operación del sistema eléctrico del molino, que van, desde mejorar el factor de potencia, filtros de armónicos, disminuir la pérdida por efecto joule y una de las más importantes el diseño de una red de tierras.



# OBJETIVOS

## General

Realizar un diagnóstico de las instalaciones eléctricas de un molino de sémola y a dicha instalación, para mejorar la confiabilidad de la producción de harina.

## Específicos

1. Determinar la condición actual de los diferentes elementos que conforman la red eléctrica del edificio.
2. Determinar mediante un análisis de redes la calidad de energía eléctrica que se tiene en el edificio y la influencia de la carga sobre esta.
3. Diseñar una red de tierras para el edificio del molino.
4. Reducir las pérdidas dentro del sistema eléctrico del edificio.
5. Implementación de instalaciones eléctricas a prueba de explosión.
6. Determinar la factibilidad de implementar las mejoras en las instalaciones eléctricas del molino.



## INTRODUCCIÓN

Este tema es propuesto debido a la necesidad de mejorar el desempeño y la disponibilidad de los equipos en el área del molino, también si se ve desde el punto de seguridad industrial, existen instalaciones eléctricas que no cuentan con las protecciones adecuadas, desde el punto de vista del ahorro energético, el molino cuenta con motores eléctricos de gran potencia, los cuales actualmente se encuentran operando a un nivel de voltaje ineficiente, lo que origina pérdidas energéticas elevadas.

En cuanto a los conductores eléctricos existen varios circuitos que se encuentran sobrecargados, lo que provoca un excesivo calentamiento, originando pérdidas por efecto joule. Las modificaciones que se propondrán, servirán para permitir una mejor operación del molino, de acuerdo con los requerimientos de la fábrica, así mismo, esto ayudará a que el sistema eléctrico opere de una forma confiable y segura evitando tener paros innecesarios por desperfectos eléctricos. Una de las mejoras a implementar es la creación de una red de tierras para el molino de sémola y la instalación de un pararrayos, ya que actualmente carece de esta y es de suma importancia para la confiabilidad del sistema eléctrico.

Es importante mencionar que el ambiente en el que se encuentra la operación del molino es explosivo, por lo tanto, se tiene que tomar en cuenta equipos a prueba de explosiones. Se deberá tener en cuenta el costo de estas mejoras, ya que sin duda alguna tendrá que verse reflejadas en los consumos energéticos.

Así mismo, otro punto de interés es el de la mejora del factor de potencia, ya que un bajo factor de potencia es penalizado y por lo tanto, genera altos costos en la factura eléctrica de la empresa.

# 1. DIAGNÓSTICO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS ACTUALES

## 1.1. Instalaciones

El edificio del molino es el encargado de procesar los diferentes tipos de trigo para la producción de harinas, esto es la mezcla de sémola con harina para la fabricación de pasta seca. Entre las principales materias primas para la elaboración de pasta se encuentra el trigo *hard amber durum* y trigo *crystalino durum*. La infraestructura del molino se compone de seis niveles, también cuenta con dos silos de almacenaje de trigo planos de concreto, con una capacidad de 667 Tm y de 575 Tm.

Cuenta con una gran variedad de equipos que se encargan de eliminar todas las impurezas que el grano de trigo posea, estas pueden ser desde piedras, paja, semillas de otro tipo como avena y sorgo. La limpia de trigo posee una capacidad máxima de 9 T/h, con básculas de pesaje que permiten llevar el control del ingreso de la materia prima al proceso.

Cuenta con catorce bancos de molienda con diferentes tipos de cilindros para la trituración del grano de trigo, de los cuales doce son estriados y dos son lisos. Junto con los bancos de molienda se encuentran los cernedores que son los encargados de clasificar por medio de granulometría el producto, así mismo, los purificadores que son máquinas que funcionan a través de aspiración, se encargan de tamizar y limpiar las sémolas.

Todo el transporte de los diferentes productos que se elaboran en el molino se realiza por medio de tuberías neumáticas. Luego de haber pasado por todo el proceso de limpieza del trigo, la molienda del grano y la clasificación del mismo, se procede al transporte de la harina a los silos de almacenamiento, donde permanece hasta su utilización para la fabricación de la pasta.

### **1.1.1. Ambiente de trabajo**

La instalación está conformada por máquinas del tipo rotativo, utilizando sistemas de transmisión por ejes y fajas de potencia, posee un nivel de ruido superior a los 90 dB, presenta una humedad relativa del 75% y una temperatura ambiente de 21 °C. Las instalaciones son de paredes de mampostería con acabados lisos, el techo y el piso son de concreto reforzado debido a las cargas dinámicas que se encuentran en el edificio, las ventanas se encuentran recubiertas por una película de seguridad. El uso de protección auditiva y calzado de seguridad es obligatorio, posee áreas con espacios confinados para el almacenamiento de harina, existen áreas con partículas en suspensión que pueden favorecer la ignición.

### **1.1.2. Planta generadora**

Se tiene una planta generadora con una capacidad de 375 kvA la cual opera con una transferencia de 1 600 amperios que se acciona de forma mecánica, la planta generadora se encuentra dedicada a la instalación del molino en caso que falle el sistema eléctrico general o exista una interrupción del servicio eléctrico.

### 1.1.3. Barras de tableros

Se refiere a las barras colectoras, o sea, el área donde se recibe y distribuye la energía eléctrica, ya sea de generadores o a otros centros de carga. Las fuentes y cargas se conectan a estas barras, cada una a través de un interruptor y seccionador. A continuación se muestra en la tabla I, la capacidad de cada una de las barras que se encuentran en la instalación:

Tabla I. Barra de tableros eléctricos de molino

<b>Tableros eléctricos</b>	<b>Capacidad de barras (amperios)</b>
TP molienda	800 A
TP limpia	800 A
TP transmisiones	1600 A
TP aspiración	800 A
TP banco de capacitores	1 000 A

Fuente: elaboración propia.

### 1.1.4. Cargas instaladas

La mayoría de la carga que se encuentra instalada dentro de las instalaciones del edificio son de carácter inductivo, predomina maquinaria del tipo rotativo y maquinaria que trabaja con vibración que en su mayoría utilizan motores de inducción. A continuación se muestra una tabla de la carga distribuida por los diferentes niveles del molino, los cuales son datos obtenidos de placa de cada uno de los equipos instalados.

Tabla II. **Carga instalada en edificio según el nivel**

<b>Equipos primer nivel</b>	<b>Voltaje</b>	<b>kw ( V x I )</b>
Silo de harina de filtros vibrador	208	1,30
Impactor de trigo	208	3,20
Tarara	208	3,73
Clasificador de porcentaje de trigo limpio	208	2,24
Rosca de clasificador	208	2,24
Silo de argolla	208	2,98
Impactor harina 1	208	3,73
Impactor harina 2	208	3,36
Impactor harina 3	208	5,60
Molino de martillos de punta fina	208	3,73
Molino de martillos de fideo	208	3,73
Mescladora de harina	208	0,75
Rosca de descarga de silos de trigo	208	2,24
Molino de argolla	208	1,49

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Carga instalada en edificio según el nivel**

<b>Equipos segundo nivel</b>	<b>Voltaje</b>	<b>kw ( V x I )</b>
Clasificador de atasques	208	2,24
Esclusa de <i>blower</i> de harina	208	0,60
Esclusa de descarga de sémola	208	3,00
Ciclón de argolla P1250	208	0,25
Turbina de ciclón P1250	208	0,28
Esclusa de salvadillo	208	1,35
Esclusa de clasificador	208	0,60
Esclusa de harina # 2	208	1,35
Matraca de corazón de trigo	208	1,12
Triaberjon	208	3,06
Separador de pre-limpia	208	1,12
Mezclador de silos	208	2,24
Transmisión 1	208	55,95
Transmisión 2	208	11,19
Transmisión 3	208	22,38
Transmisión 4	208	29,84
Transmisión 5	208	15,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Carga instalada en edificio según el nivel**

<b>Equipos tercer nivel</b>	<b>Voltaje</b>	<b>kw ( V x I )</b>
Clasificador	208	82,06
Clasificador	208	82,06
Dosificador de vitamina para corazón de trigo	208	0,75
Bancos del T1A	208	44,76
Bancos del T1B	208	44,76
Blower de corazón de trigo	208	6,35
Esclusa báscula de corazón de trigo	208	0,37
Blower de harina	208	44,76
Blower de harina	208	44,76
Esclusa básculas de harina	208	0,41
Ciclón de argolla P3200	208	0,75
Turbina de ciclón de argolla	208	4,10
Rosca alimentadora del T1	208	0,60
Rosca transportadora	208	1,50
Rosca transportadora	208	6,00
Rosca de harina	208	2,24

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Carga instalada en edificio según el nivel**

<b>Equipos cuarto nivel</b>	<b>Voltaje</b>	<b>kw ( V x I )</b>
Silo de atascue	208	2,24
Turbina de aspiración de clasificador	208	13,05
Turbina de aspiración de pre-limpia	208	6,71
Elevador de pre-limpia	208	4,48
Separador de trigo	208	0,22
Esclusa de filtro de harina	208	0,75
Esclusa de la punta fina	208	2,00
Aspiración de báscula de sémola	208	0,25
Cepilladora 1	208	10,70
Cepilladora 2	208	10,70
Rosca harinera 1	208	4,48
Rosca harinera 2	208	4,48
Purificador 1	208	7,75
Purificador 2	208	7,75
Purificador 3	208	7,75
Purificador 4	208	7,75
Purificador 5	208	7,75
Purificador 6	208	7,75
Purificador 7	208	7,75
Purificador 8	208	7,75

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Carga instalada en edificio según el nivel**

<b>Equipos quinto nivel</b>	<b>Voltaje</b>	<b>kw ( V x I )</b>
Cernedor 1	208	22,38
Cernedor 2	208	22,38
Cernedor 3	208	22,38
Cernedor 4	208	22,38
Filtro de aspiración principal	208	2,24
Esclusa de descarga de filtro principal	208	2,62
Aspiración de purificadores	208	22,38
Cernedor de fideo reproceso	208	8,00
Aspiración de la limpia	208	8,20
Rociador de trigo 2	208	7,45
Elevador de sémola sur	208	1,50
Rosca de nebulizador	208	2,00
Elevador lado norte	208	1,50
Vibro cernedor	208	4,00
Pre-cernedor T1	208	55,20
Pre-cernedor T2	208	55,20
Pre-cernedor T3	208	55,20
Pre-cernedor T4	208	55,20
Pre-cernedor T5	208	55,20
Pre-cernedor T6	208	55,20

Fuente: elaboración propia.

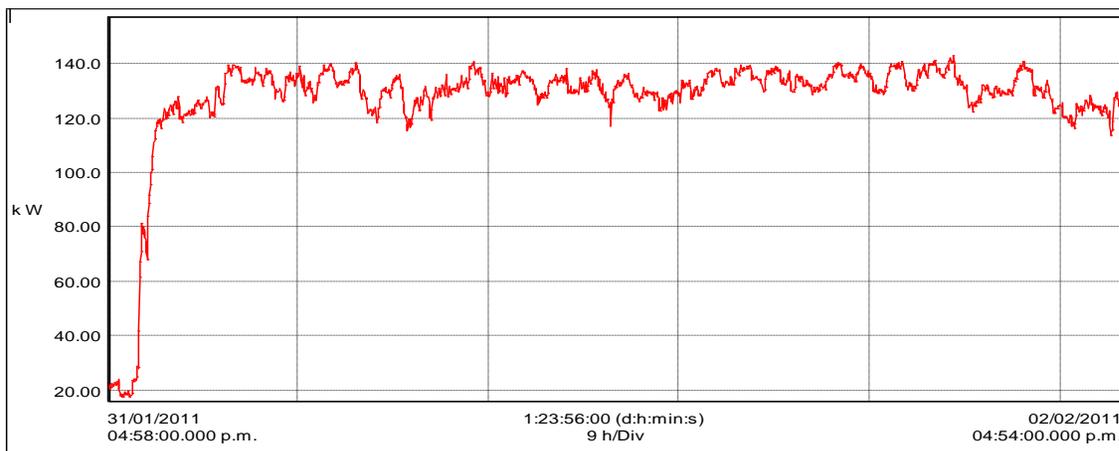
Tabla VII. **Carga instalada en edificio según el nivel**

<b>Equipos sexto nivel</b>	<b>Voltaje</b>	<b>kw ( V x I )</b>
Soplantes de filtro 1	208	12,00
Soplantes de filtro 2	208	12,00
Aspiración principal	208	57,00
Vibro-cernedor de harina	208	5,70
Aspiración lado norte	208	23,00
Banco de fideo reproceso A	208	12,50
Banco de fideo reproceso B	208	12,50
Despuntadora de trigo	208	14,50
Elevador de trigo limpio	208	4,00
Elevador de trigo sucio	208	12,00
Rosca de trigo mojado	208	1,00
Tarara	208	4,00
Rociador de trigo	208	4,92
Grupo de exclusas 1	208	2,24
Grupo de exclusas 2	208	0,50
Grupo de exclusas 3	208	0,50
Grupo de exclusas 3	208	0,50
Auxiliar de aspiración principal	208	20,38
Elevador de trigo mojado	208	1,04
Aspiración banco de reproceso	208	2,91
Filtro	208	0,23
Esclusa de fideo de reproceso	208	1,75
Aspiración de reproceso	208	0,83
Esclusa de filtro de fideo de reproceso	208	0,40
Exclusa filtro	208	0,40
Aspas filtro	208	0,62
Bomba de agua	208	0,75

Fuente: elaboración propia.

El propósito de listar los valores de placa de los equipos instalados dentro del edificio, es con la finalidad de poder conocer el comportamiento de la carga y a qué tipo corresponde, si es de carácter inductivo o resistivo. Las características de la carga del edificio, se pueden observar por medio de la gráfica de la demanda de potencia activa y reactiva que se muestra a continuación.

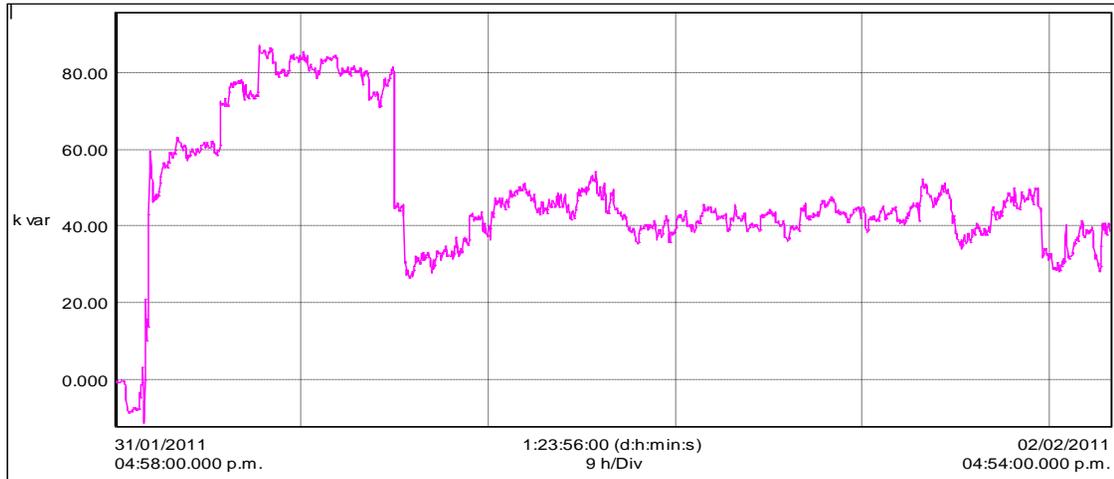
Figura 1. **Curva de demanda potencia activa**



Fuente: elaboración propia.

Esta gráfica muestra el comportamiento de la potencia reactiva en un intervalo de tiempo dado, la cual se puede observar que presenta muy pocas variaciones a lo largo del tiempo.

Figura 2. **Curva de demanda potencia reactiva**



Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 2, la gráfica de la potencia reactiva, se ve una disminución de la misma en un período, lo cual obedece a una compensación de la misma por un banco de capacitores que entra en funcionamiento por etapas.

Las gráficas mostradas fueron realizadas con base en mediciones a la salida de la subestación del molino, lo cual permite ver el comportamiento de la carga instalada en el tiempo y establecer datos como la carga instalada, la demanda máxima y la energía consumida.

- Factor de potencia de ( 0,969) en promedio
- Frecuencia de 60 hertz
- Una carga instalada de (701,71 ) kilowatts
- La energía consumida durante el día es de ( 3056) kWh
- La demanda máxima (D máx) es de (143,11) kW

La demanda promedio que se consume en el edificio se encuentra mediante la siguiente ecuación:

$$DP = \frac{\text{Energía consumida en el período}}{\text{No de horas del período}} \text{ Ecuación 1}$$

Donde

DP: demanda promedio

Aplicando esta ecuación se obtiene que la demanda promedio es de:

$$DP = \frac{3\,056 \text{ KW h}}{24 \text{ hr}} = 127,33$$

El factor de carga se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$F_c = \frac{DP}{D_{\text{máx}}} \text{ Ecuación 2}$$

Donde

DP: demanda promedio

D<sub>máx</sub>: demanda máxima

Aplicando esta ecuación, se obtiene que el valor del factor de carga es de:

$$FC = \frac{127,33 \text{ kW}}{143,11 \text{ kW}} = 0,89$$

El factor de carga indica la forma en que se utiliza el equipo eléctrico de una instalación, el valor de 0,89 obtenido indica que la demanda de potencia es casi completamente uniforme a lo largo del tiempo, esto se observa claramente en la curva de demanda de potencia activa (figura 1). El factor de pérdidas que es igual al porcentaje de tiempo requerido por la demanda máxima para producir las mismas pérdidas que se tienen por la demanda real en un lapso definido, se obtienen mediante la siguiente ecuación:

$$FP = \sum_0^{24} \frac{P_{hr}^2}{224 D_{max}^2} \times 100\% \quad \text{Ecuación 3}$$

Aplicando esta ecuación se obtiene que el factor de pérdidas para la instalación eléctrica del edificio es de:

$$Fp = \frac{95\ 431,48}{4\ 588\ 051,7} \times 100 = 2,08\%$$

El valor de 2,08% para el factor de pérdidas del edificio es aceptable, ya que indica que el desperdicio de energía es bajo y existe una relativa eficiencia de la utilización del equipo eléctrico, esto se determinó con la finalidad de traducir estas pérdidas a un factor económico que permitirá generar ahorros a la empresa y reducir los mismos, a través de las mejoras en el sistema eléctrico.

### **1.1.5. Tableros eléctricos**

Los tableros eléctricos con los que cuenta el molino se encuentran distribuidos de la siguiente forma, en el primer nivel del molino se encuentra el tablero de transmisión de movimiento de los bancos de molienda; en el segundo nivel se encuentra el tablero eléctrico de la limpia de trigo, molienda del trigo, iluminación y en el sexto nivel se encuentran los tableros de la aspiración neumática.

#### **1.1.5.1. Condición actual**

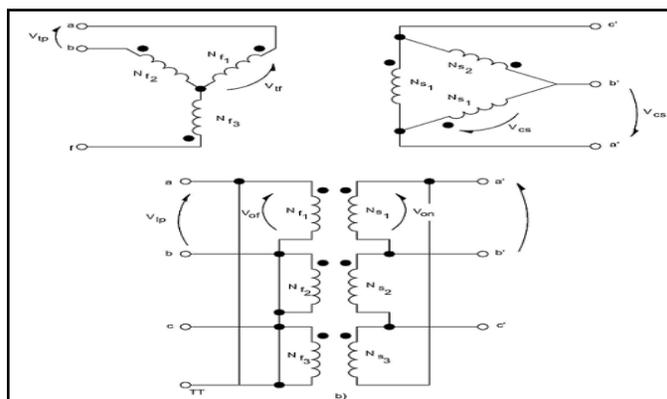
Actualmente, se cuenta con un banco de transformadores trifásico de 3X333 kVA conectados en estrella-delta para operar con voltajes de 120-240 v, a la salida de la subestación se cuenta con un interruptor principal de 3X1 600 A del cual se desprenden para alimentar el circuito del tablero de la molienda y el circuito de la limpia, los cuales no cuentan más que con la protección de fusibles con la capacidad de 160 kVA, lo que produce un riesgo para la integridad de los equipos.

Adicionalmente a estos circuitos, también se encuentran conectados al mismo ramal de la limpia y la molienda el circuito de equipos auxiliares. Este ramal no cuenta con un interruptor independiente. Así mismo, se tiene conectado en las barras del tablero de la molienda el tablero de la aspiración del sexto piso.

La conexión de la bóveda de transformadores monofásicos que operan en la subestación del molino es una estrella delta:

- Se usa generalmente para bajar de un voltaje alto a uno medio o bajo. La razón de ello, es que se tiene un neutro para aterrizar el lado de alto voltaje, lo cual es conveniente y tiene grandes ventajas, como por ejemplo, que no presenta problemas con los componentes en sus voltajes de terceros armónicos, puesto que se consume una corriente circulante en el lado de la delta (triángulo). Esta conexión es estable con respecto a cargas desequilibradas, debido a que la delta redistribuye cualquier desequilibrio que se presente.
- El voltaje secundario se desplaza en retraso  $30^\circ$  con respecto al voltaje primario del transformador, lo cual ocasiona problemas en los secundarios si se desea conectar en paralelo con otro transformador, siendo uno de los requisitos para conectar en paralelo, que los ángulos de fase de los secundarios del transformador deben ser iguales.

Figura 3. **Conexión de banco de transformadores**



Fuente: elaboración propia.

### **1.1.6. Estado actual y dimensionamiento de los conductores**

Para verificar el estado actual de los conductores se realizaron inspecciones visuales, que ayudaron a determinar si el aislamiento presentaba algún daño mecánico. Estos son ocasionados debido al sobrecalentamiento o a la humedad del ambiente, también se realizaron pruebas de continuidad y pruebas de carácter no destructivo con un *megger*, para verificar la resistencia de los conductores, la cual consiste en aplicar corriente directa y medir la corriente de fuga que se origina con un voltaje determinado, según el método de *CD en el yellowbook de la IEEE Std 902-1998*, capítulo 6.

#### **1.1.6.1. Resistencia al aislamiento**

La forma de verificar el estado del aislamiento de los conductores, es realizar una prueba de resistencia de aislamiento, según el método que plantea la IEEE Std902-1998 (*guide for maintenance operation and safety of industrial and power systems, chapter 6*), para determinar la capacidad del aislamiento de oponerse a una corriente de conducción o fuga de corriente cuando se aplica un voltaje entre las partes vivas y las partes metálicas conectadas a tierra. La prueba se realizó utilizando un megger y empleando como base el siguiente proceso de medición:

- Primero, se desconectó el interruptor principal del tablero que contiene los circuitos bajo prueba.
- Se colocaron todos los interruptores termo magnéticos del tablero y todos los apagadores de los circuitos derivados en posición encendido (*ON*).

Luego de cumplir con los pasos anteriores se procedió a realizar la medición de aislamiento, la cual se realizó entre los conductores vivos de la instalación y las partes metálicas y conductores neutrales de la misma.

- Utilizando la escala más grande de las dos posibles (medición en mega ohms) cuyos últimos dos indicadores eran 500 mΩ y el valor infinito ( $\infty$ ); los resultados obtenidos de la medición en diferentes circuitos en los seis niveles del edificio fueron siempre superiores a los 500 mΩ; estos resultados indican que el aislamiento de los conductores se encuentran en buen estado, dado que aún conservan sus propiedades aislantes.

Se fundamentó lo anterior de acuerdo con los valores mínimos para resistencia de aislamientos recomendados para instalaciones eléctricas.

Tabla VIII. **Aislamientos de conductores**

AWG/ Kcmil	Direct- current resistance at 75 °C (167 °F)	AWG/ Kcmil	Direct- current resistance at 75 °C (167 °F)
	Ohms/km		Ohms/km
14	10,7		
12	6,73	250	0,1687
10	4,226	250	0,1687
8	2,653	300	0,1409
6	1,608	350	0,1205
4	1,010	400	0,1053
3	0,802	500	0,0845
2	0,634	600	0,0704
1	0,505	700	0,0603
1/0	0,399	750	0,0563
2/0	0,3170	800	0,0528
3/0	0,2512	900	0,0470
4/0	0,1996	1000	0,0423

Fuente: elaboración propia.

### 1.1.6.2. **Capacidad, calibre y secciones de conductores eléctricos**

Los conductores empleados en los circuitos derivados de los diferentes tableros principales y tableros de distribución no cuentan con evidencia técnica del diseño y documentación que contenga los registros de su cálculo para establecer un criterio de selección a la carga seleccionada. La siguiente tabla muestra el tipo de conductor eléctrico THHN AWG por nivel, que es el conductor que se utiliza dentro de la instalación. Al momento de la selección de estos conductores no se tomó en cuenta el factor de utilización que establece el NEC del 80 %.

Tabla IX. **Valores de conductores actuales por nivel**

<b>Equipos primer nivel</b>	<b>Conductor eléctrico actual THHN AWG o Kcmil</b>
Silo de harina de filtros vibrador	10
Impactor de trigo	14
Tarara	12
Clasificador de porcentaje de trigo limpio	8
Rosca de clasificador	12
Silo de argolla	12
Impactor harina 1	14
Impactor harina 2	12
Impactor harina 3	10
Molino de martillos de punta fina	8
Molino de martillos de fideo	14
Mezcladora de harina	12
Rosca de descarga de silos de trigo HAD y cristalino	14
Molino de argolla	12

Fuente: elaboración propia.

La distancia relativamente de la carga al tablero de control de cada una de estas cargas es corto, por cual no hay caída de tensión significativa, estas son cargas relativamente pequeñas, de acuerdo al conductor que poseen.

Tabla X. **Valores de conductores actuales por nivel**

<b>Equipos segundo nivel</b>	<b>Conductor eléctrico actual THHN AWG o Kcmil</b>
Clasificador de atasques	8
Esclusa de blower de harina	12
Esclusa de descarga de sémola	10
Ciclón de argolla P1250	14
Turbina de ciclón P1250	14
Esclusa de salvadillo	12
Esclusa de clasificador	10
Esclusa de harina # 2	14
Matraca de corazón de trigo	8
Triaberjon	12
Separador de pre-limpia	12
Mezclador de silos	10
Transmisión 1	250
Transmisión 2	4
Transmisión 3	2
Transmisión 4	4
Transmisión 5	1/0

Fuente: elaboración propia.

En este nivel del edificio se encuentran conductores con calibres mayores, especialmente el de las transmisiones de potencia, dichos conductores no cuentan con fundamentos de cálculos para su correcta selección y dimensionamiento.

Tabla XI. **Valores de conductores actuales por nivel**

<b>Equipos tercer nivel</b>	<b>Conductor eléctrico actual THHN AWG o Kcmil</b>
Clasificador	4
Clasificador	4
Dosificador de vitamina para corazón de trigo	8
Bancos del T1A	4/0
Bancos del T1B	4/0
Blower de corazón de trigo	6
Esclusa Báscula de corazón de trigo	14
Blower de harina	1/0
Blower de harina	1/0
Esclusa básculas de harina	6
Ciclón de argolla P3200	14
Turbina de ciclón de argolla	6
Rosca alimentadora del T1	10
Rosca transportadora	10
Rosca transportadora	10
Rosca de harina	10

Fuente: elaboración propia.

En este nivel los conductores más representativos se encuentran en los bancos de molienda de primera trituración, soplantes de transporte neumático, que en su mayoría se encuentran operando de forma continua, estos son motores eléctricos de 30 HP.

Tabla XII. **Valores de conductores actuales por nivel**

<b>Equipos cuarto nivel</b>	<b>Conductor eléctrico actual THHN AWG o Kcmil</b>
Silo de atasque	2
Turbina de aspiración de clasificador	4/0
Turbina de aspiración de pre-limpia	4
Elevador de pre-limpia	2
Separador de trigo	12
Esclusa de filtro de harina	10
Esclusa de la punta fina	10
Aspiración de báscula de sémola	12
Cepilladora 1	2
Cepilladora 1	2
Rosca harinera 1	8
Rosca harinera 2	8
Sasor 1	14
Sasor 2	12
Sasor 3	12
Sasor 4	12
Sasor 5	12
Sasor 6	12
Sasor 7	12
Sasor 8	12

Fuente: elaboración propia.

En este nivel del edificio, la distancia desde el tablero de control a la carga es de por lo menos 21 metros, lo cual no fue considerado al momento de seleccionar el tipo de conductor, durante la inspección se pudo observar que muchos de los circuitos se encuentran empalmados con diferentes rangos de cables, así como el uso de cable paralelo para la alimentación de motores eléctricos.

Tabla XIII. **Valores de conductores actuales por nivel**

<b>Equipos quinto nivel</b>	<b>Conductor eléctrico actual THHN AWG o Kcmil</b>
Cernedor 1	2
Cernedor 2	2
Cernedor 3	2
Cernedor 4	2
Filtro de aspiración principal	4
Esclusa de descarga de filtro principal	6
Aspiración de sasores	300
Cernedor de fideo molido	8
Aspiración de la limpia	1/0
Rociador de trigo 2	8
Elevador de sémola sur	10
Rosca de nebulizador	8
Elevador lado norte	10
Vibrocernedor	1/0

Fuente: elaboración propia.

Las cargas ubicadas en este nivel son las más alejadas al centro de control, los conductores de estas cargas presentan daños mecánicos, polvo y harina acumulada. También en este nivel se encuentran muchos empalmes en conductores en borneras de distintas dimensiones, esto causa un sobrecalentamiento en los conductores y provoca que la vida útil del conductor se reduzca, en este tramo de la instalación la caída de tensión es crítica ya que el tramo del conductor es de más de 35 metros de longitud al centro de control.

Tabla XIV. Valores de conductores actuales por nivel

<b>Equipos sexto nivel</b>	<b>Conductor eléctrico actual THHN AWG o Kcmil</b>
Soplantes de filtro 1	1/0
Soplantes de filtro 2	1/0
Aspiración principal	250
Vibro-cernedor de harina	2
Aspiración lado norte	4/0
Banco de fideo molido A	10
Banco de fideo molido B	10
Despuntadora de trigo	250
Elevador de trigo limpio	1/0
Elevador de trigo sucio	150
Tarara	4
Rociador de trigo	1/0
Grupo de exclusas 1	4
Grupo de exclusas 2	12
Grupo de exclusas 3	4
Grupo de exclusas 4	2
Auxiliar de aspiración principal	350
Elevador de trigo mojado	12
Aspiración banco de reproceso	6
Filtro	10
Esclusa de fideo de reproceso	6
Aspiración de reproceso	8
Esclusa de filtro de fideo de reproceso	10
Exclusa filtro	14
Aspas filtro	14
Bomba de agua	8

Fuente: elaboración propia.

Las tablas anteriores muestran el conductor utilizado para cada una de las cargas dentro del edificio. Muchos de los conductores eléctricos poseen cargas pequeñas con respecto a la capacidad de corriente que puede soportar el alimentador o en algunos casos se encuentran muy cercanos a su nivel de corriente nominal, lo que origina un incremento en la temperatura del conductor ocasionando que el material aislante se debilite y pierda su propiedad de aislamiento, ocasionando que éste eventualmente falle.

A continuación se presentan los alimentadores principales que poseen cada uno de los tableros distribuidos en el edificio de la siguiente forma.

Tabla XV. **Conductores de alimentadores tableros principales**

Tableros primer piso								
Tableros eléctricos	Tipo de alimentación	calibre mcm	conductor por fase	Portafusible	Ampacidad (amperios)	Amperios		
						L1	L2	L3
T1 Transmisiones	Trifásico	250	1 $\Phi$	Portafusible	200-125-160	81	60	78
T2 Transmisiones	Trifásico	250	1 $\Phi$	Portafusible	200	163	152	148

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Conductores de alimentadores tableros principales**

Tableros segundo piso								
Tableros eléctricos	Tipo de alimentación	Calibre mcm	Conductor por fase	Portafusible	Ampacidad	Amperios		
						L1	L2	L3
T1 Limpia	Trifásico	250 -350	2 $\Phi$	Interruptor	800 A	310	325	278
T2 Molienda	Trifásico	250- 350	2 $\Phi$	Interruptor	800 A	648	635	585

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Conductores de alimentadores tableros principales**

Tableros sexto piso								
Tableros eléctricos	Tipo de alimentación	Calibre mcm	conductor por fase	Portafusible	Ampacidad	Amperios		
						L1	L2	L3
T1 Aspiración	Trifásico	250 - 350	1 $\Phi$	Portafusible	400 A	228	207	232
T2 Aspiración	Trifásico	2 / 0	1 $\Phi$	Interruptor	200 A	49	37	35

Fuente: elaboración propia.

Para determinar el área de la sección transversal del conductor y su capacidad de conducción de corriente para los alimentadores principales se utilizó la siguiente tabla.

Tabla XVIII. **Alimentadores principales**

Calibre conductores AWG o Kcmil	Área transversal		Calibre conductores AWG o Kcmil	Área transversal	
	CM	mm <sup>2</sup>		CM	mm <sup>2</sup>
1/0	105 600	53,50	700	355,00	
2/0	133 100	67,40	750	380,00	
4/0	211 600	107,20	900	456,00	
250		127,00	1 000	507,00	
300		152,00			

Fuente: NEC 2008, tabla 8 *Conductor properties*, p. 1 249.

Es importante tener en cuenta que para el criterio de selección del alimentador para una acometida debe tenerse en consideración una caída de tensión del 3%, la cual no fue considerada en este diseño y cálculo de los alimentadores.

### 1.1.7. Tuberías eléctricas

Las canalizaciones eléctricas son los elementos utilizados para conducir los conductores eléctricos entre las diferentes partes de la instalación eléctrica. Las instalaciones eléctricas persiguen proveer de resguardo, seguridad a los conductores a la vez de propiciar un camino adecuado por donde colocar los conductores. Canalización, es un conducto cerrado diseñado para contener cables, alambres buses-ductos, que pueden ser metálicas o no metálicas. Aquí se incluyen los tipos de tuberías, ductos charolas, etcétera. Estas se utilizan para protegerlos del ambiente y esfuerzos mecánicos que pudieran tener haciendo la instalación más segura.

La distribución de los circuitos dentro de la instalación se realiza por medio de una canaleta central, de la cual no se tienen cálculos de su diseño, esta estructura forma la columna central de la instalación, luego esta se ramifica por cada uno de los niveles a la carga determinada, la utilización de la canal, de alguna manera facilita el cableado, la canal no cuenta con un diseño que indique el número de conductores que puede soportar, esto origina que debido al exceso de conductores se incremente la temperatura y disminuya la vida del aislante.

Adicionalmente a esto, la canaleta guarda en su interior polvo acumulado, ya que el medio en el que se encuentra existe en su mayoría de tiempo partículas en suspensión como es harina y polvo. Los mayores problemas que están presentes debido a la instalación son los siguientes:

- Número de conductores adecuado
- Canaletas tipo charola sin protección
- No cuentan con la soportería adecuada
- La tubería no es aprueba de explosiones

La instalación de tipo canaleta cerrada, acumula polvo y harina en su interior, así mismo, plagas como gorgojos, ácaros y palomillas. Las instalaciones que se utilizan con tubería *Conduit* son muy limpias, estas protegen los cables de cualquier daño mecánico, manteniendo la integridad de los cableados eléctricos.

### **1.1.8. Protecciones**

Las condiciones de operación anormales contra las que se deben proteger las instalaciones eléctricas son:

- Cortocircuito
- Sobrecargas eléctricas
- Ambiente inflamable

Muchos de los paros que se tienen en la planta del molino son debido a descargas atmosféricas, las cuales por la falta de un pararrayos en la instalación inciden de forma directa y salen de línea a causa de la sobrecarga eléctrica. La subestación está formada por un banco de transformadores trifásicos de 3X333 kVA, conectado en estrella delta con un interruptor de 3X1 600 A, pasando por seccionadores tipo cuchilla de 160 kA, donde salen los circuitos de alimentación de la molienda a un interruptor de 3X800 A y el circuito de la limpia de 3X800 A. El banco de capacitores tiene un interruptor de 3X800 A y el tablero de la limpia tiene un interruptor de 3X200 A, el tablero de las aspiraciones ubicados en el sexto nivel cuenta con protecciones 3X400 A y 3X200 A.

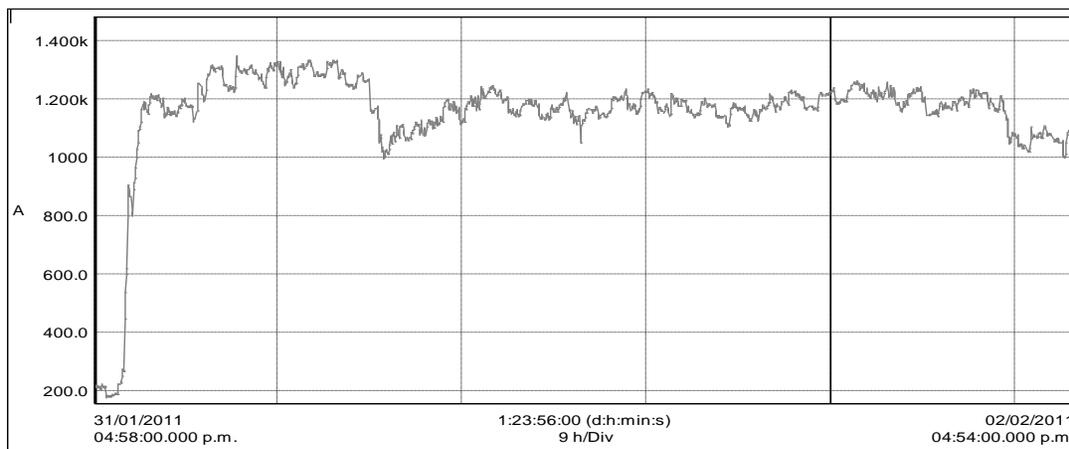
## 1.2. Análisis de redes

Para determinar la calidad de energía con la que cuenta el edificio del molino, se realizó un análisis de los principales factores eléctricos que intervienen en este aspecto. Para realizar dicho análisis, se utilizó un equipo de medición de calidad de energía, el equipo de medición estuvo conectado durante 24 horas continuas a la red eléctrica interna del edificio proporcionando los datos tabulados en las siguientes tablas, que se muestran en el anexo A y las gráficas que se muestran en los siguientes apartados.

### 1.2.1. Corrientes

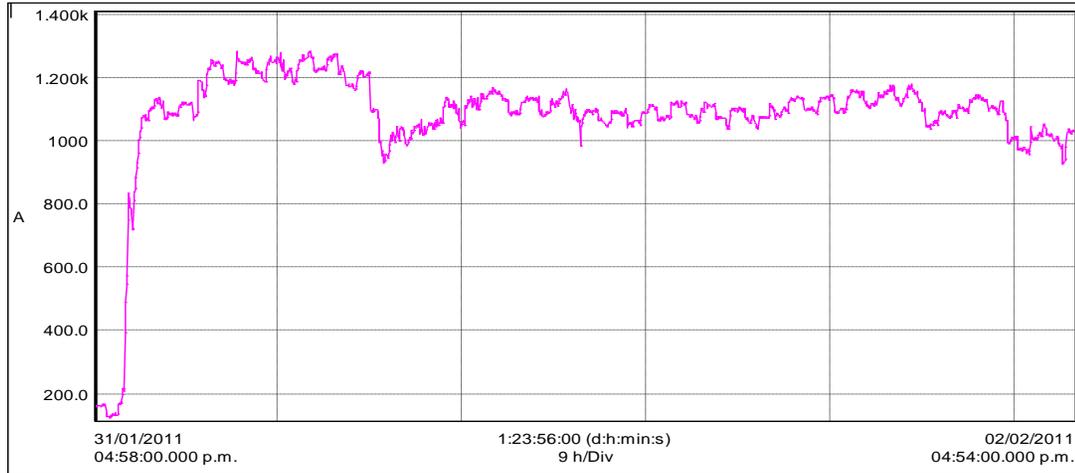
A continuación se muestran las gráficas de las variaciones de corrientes en función del tiempo que se realizaron para cada línea.

Figura 4. Corriente en línea 1 vs. tiempo



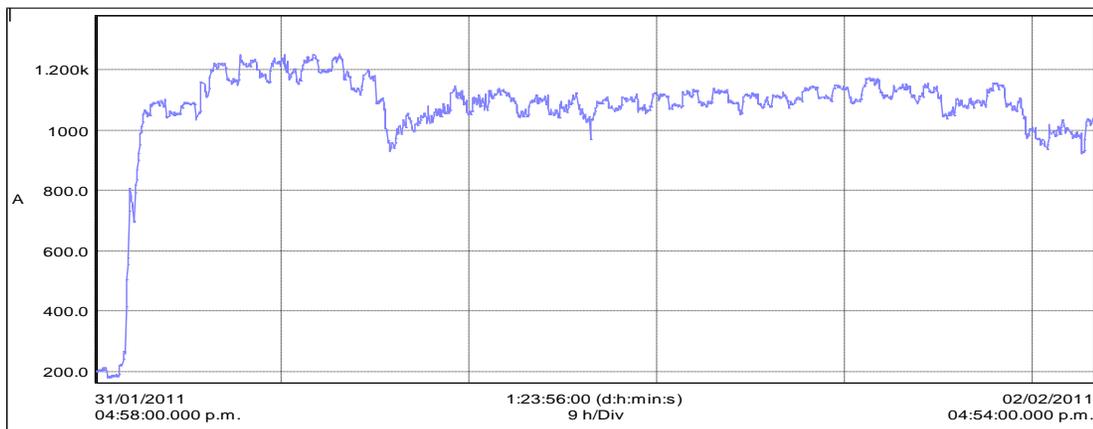
Fuente: elaboración propia.

Figura 5. Corriente en línea 2 vs. tiempo



Fuente: elaboración propia.

Figura 6. Corriente en línea 3 vs. tiempo



Fuente: elaboración propia.

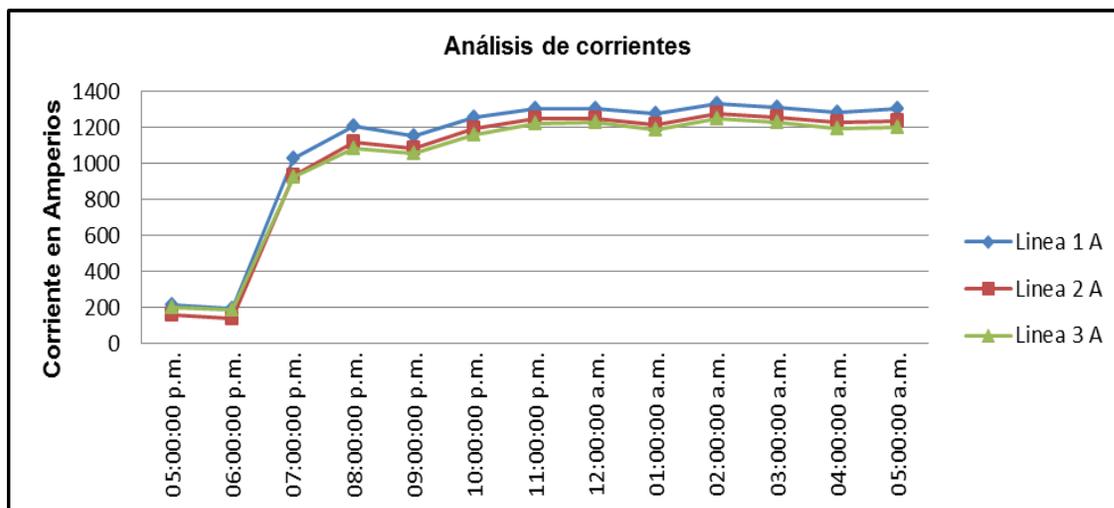
Tabla XIX. Resumen de corrientes

Corrientes	Fecha	Hora	Promedio	Mínima	Máxima	Unidad
A1 RMS	31/01/2011	04:58:00 p.m.	1,153	0,176	1,348	kA
A2 RMS	31/01/2011	04:58:00 p.m.	1,08	0,127	1,282	kA
A3 RMS	31/01/2011	04:58:00 p.m.	1,074	0,181	1,256	kA

Fuente: elaboración propia.

Se puede evidenciar mediante las gráficas que el comportamiento de las corrientes es relativamente simétrico, aunque existe un ligero desbalance de carga en la línea 1, según se muestra en la siguiente gráfica. También se puede ver que el mayor consumo de corriente ocurre entre las 22:00 horas y las 6:00 horas.

Figura 7. Análisis de corrientes

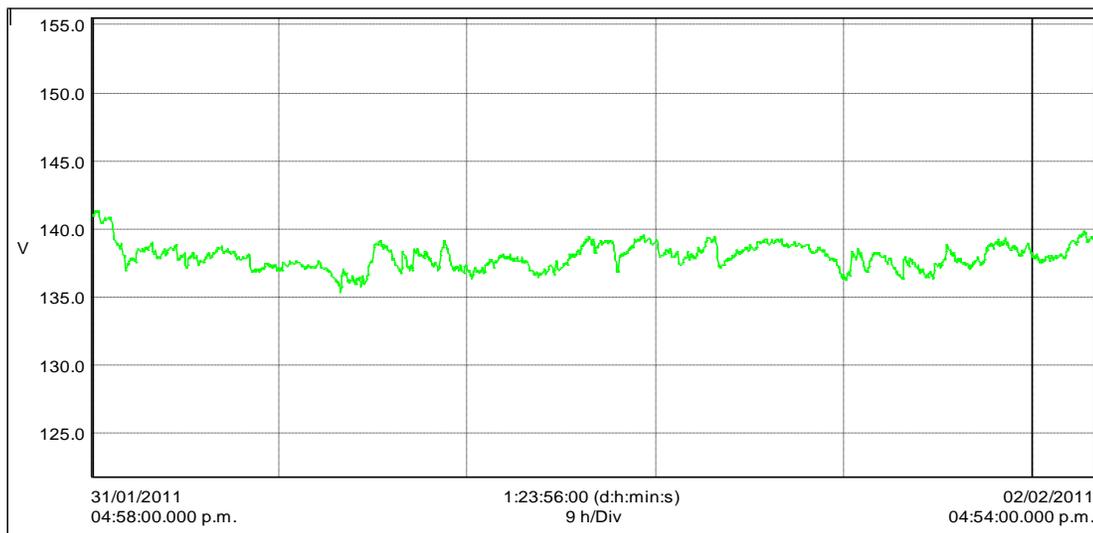


Fuente: elaboración propia.

### 1.2.2. Voltajes

El nivel de voltaje tiene un comportamiento similar en las tres líneas a lo largo del tiempo, como se muestra en las siguientes figuras, se puede observar que el nivel de voltaje permanece siempre superior al valor nominal de 120 voltios, la línea uno presenta un rango de variación de 135 a 141 voltios, en la línea dos el rango de variación es de 135 a 142 voltios, la línea tres es la que presenta la mayor variación del nivel de voltaje respecto del valor nominal, encontrándose su rango de variación entre 138 y 140 voltio, al igual que en el caso de la corriente estos valores evidencian una mala distribución de la carga en las líneas a lo largo del día.

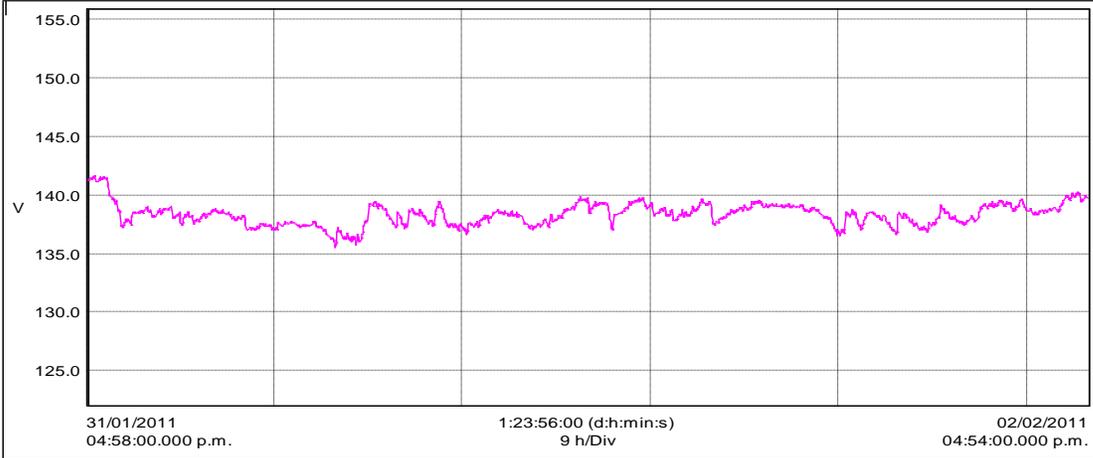
Figura 8. Voltaje línea 1 vs. tiempo



Fuente: elaboración propia.

Se puede ver que el nivel de voltaje presenta variaciones a lo largo del tiempo, esto puede ocasionar problemas en la operación de los equipos debido a los constantes cambios de la red.

Figura 9. Voltaje línea 2 vs. tiempo



Fuente: elaboración propia

Debido a las variaciones que presenta el nivel de voltaje, se necesita conocer el índice de regulación de tensión que se está teniendo en la red de distribución.

Figura 10. Voltaje línea 3 vs. tiempo



Fuente: elaboración propia.

Para determinar la calidad de la energía con que se cuenta, se recurre al cálculo del índice de calidad de regulación de tensión (IRT) establecido en las normas técnicas del servicio de distribución (NTSD), cuyo procedimiento es el que aparece en la siguiente fórmula:

$$IRT \% = \frac{V_k - V_n}{V_n} \times 100 \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde

V<sub>k</sub>: nivel de tensión en un intervalo de medición k

V<sub>n</sub>: nivel de tensión nominal

$$IRT \% = \frac{138 - 120}{120} \times 100 = 15,0$$

Las NTSD establecen en su cuadro de tolerancia admisible respecto del valor nominal (ver tabla XV) tres valores de tolerancia admisibles dependiendo de la etapa en la que se encuentre; dichos valores para un servicio urbano en baja tensión son de 12%, 10% y 8% para las etapas de transición del mes trece en adelante respectivamente. Dada las condiciones bajo las cuales se realizaron las mediciones en el edificio, este puede ubicarse en este momento en una etapa de transición por lo que el índice de tolerancia admisible es del 12% y como puede observarse en la tabla XV, el valor del IRT(%) es de 15 el cual sobrepasa este rango de tolerancia permitido en un 3%.

Tabla XX. **Índice de tolerancia admisible**

Tensión	Etapas					
	Transición		Régimen del mes 1 hasta el mes 12		Régimen a partir del mes 13	
	Servicio urbano	Servicio rural	Servicio urbano	Servicio rural	Servicio urbano	Servicio rural
Baja	12	15	10	12	8	10
Media	10	13	8	10	6	7
Alta	7		6		5	

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica, NTDS 1999, p. 9.

Tabla XXI. **Resumen voltajes de línea**

<b>Voltajes</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Promedio</b>	<b>Mínima</b>	<b>Máxima</b>	<b>Unidad</b>
V1 RMS	31/01/2011	04:58:00 p.m.	138,042	135,4	141,4	V
V2 RMS	31/01/2011	04:58:00 p.m.	138,387	135,6	141,7	V
V3 RMS	31/01/2011	04:58:00 p.m.	136,714	134,0	140,2	V

Fuente: elaboración propia.

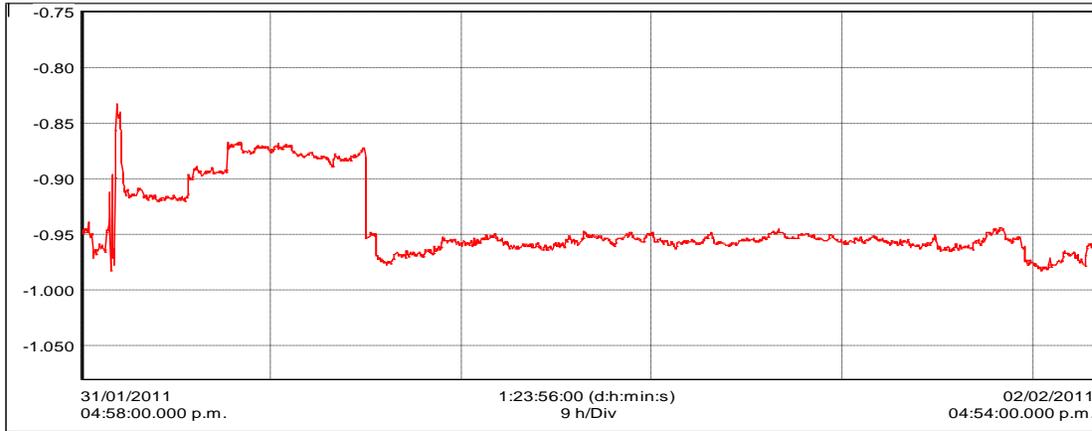
### **1.2.3. Factor de potencia**

La Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), establece en la Normas Técnicas de Servicio y distribución (NTSD), que el valor mínimo admitido para el factor de potencia se discrimina de acuerdo con la potencia del usuario, de la siguiente forma:

- Usuarios con potencia hasta 11kW                      0,85
- Usuarios con potencias mayores a 11kW            0,90

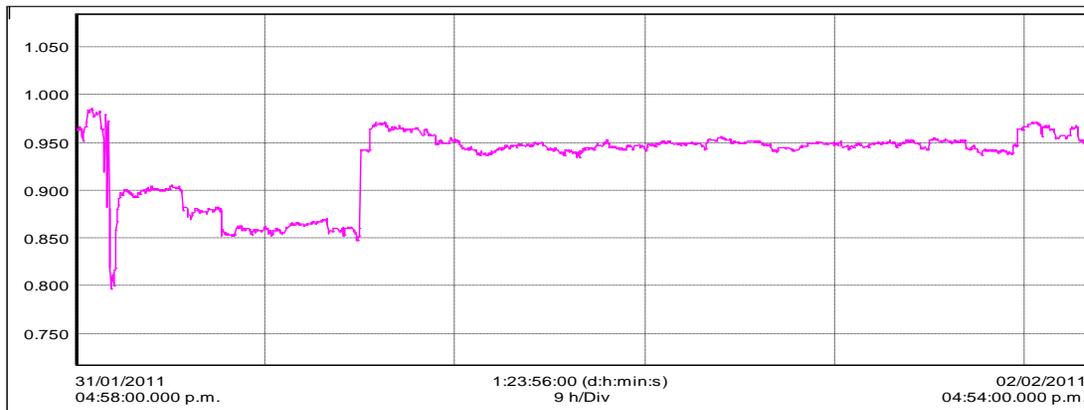
Los resultados obtenidos de las mediciones muestran que durante los períodos de las mediciones más del 80% del tiempo la carga se encuentra operando dentro del rango establecido.

Figura 11. **Factor de potencia línea 1**



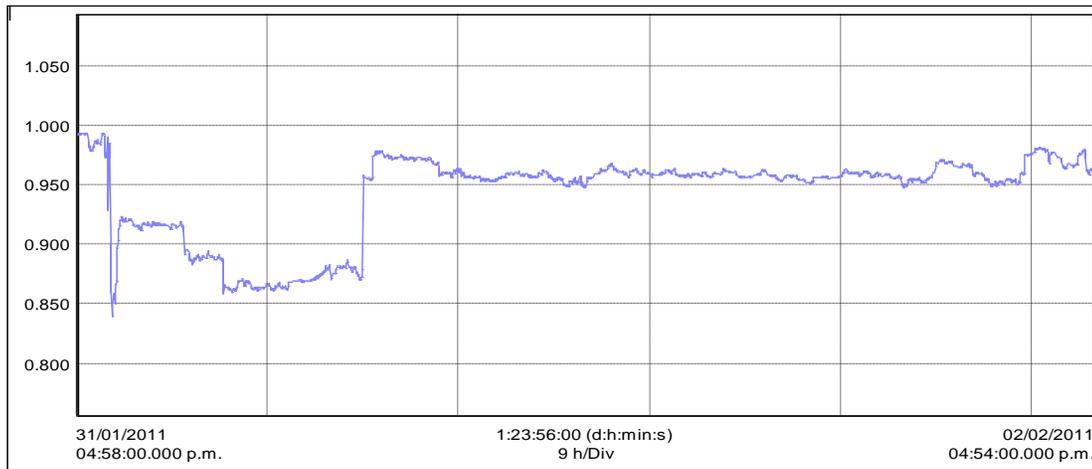
Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Factor de potencia línea 2**



Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Factor de potencia línea 3**



Fuente: elaboración propia.

Durante los períodos de bajo consumo de energía se produce un desbalance de carga en las líneas, lo que provoca que el factor de potencia individual de las líneas caiga por debajo del límite permitido, es cuando el banco de capacitores entra a funcionar y estabilizar el factor de potencia.

#### **1.2.4. Análisis de armónicos**

Los armónicos pueden ocasionar una perturbación inaceptable sobre la red de distribución de energía eléctrica, y en consecuencia causar el recalentamiento de motores, cables y transformadores, el disparo de los interruptores automáticos, el sobrecalentamiento (y posible explosión) de capacitores y también el mal funcionamiento de distintos equipos como computadoras, sistemas de comunicaciones, protección y sistemas de medición, además, los componentes armónicos de frecuencias altas dan lugar a mayores pérdidas por histéresis y por corrientes parasitas en circuitos magnéticos.

#### 1.2.4.1. Distorsión armónica THDV

Para caracterizar la presencia de las armónicas en una onda dada, la Comisión Nacional de Energía Eléctrica establece en sus Normas Técnicas del Servicio de Distribución (NTSD) el índice de calidad de la Distorsión Armónica Total de la Tensión (DATT), el cual está expresado como un porcentaje y calculado mediante la siguiente ecuación:

$$DATT(\%) = \left( \frac{\sqrt{\sum V_i^2}}{V_1} \right) \times 100 \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde

DATT: distorsión armónica total de tensión en porcentaje

$V_i$  : componente de tensión de la armónica de orden  $i$

$V_1$  : componente de tensión de la frecuencia fundamental (60Hz)

La NSTD establece como máximo permisible una tolerancia del 8% para la distorsión armónica total de tensión (ver tabla XVII), además considera que la energía eléctrica es de mala calidad cuando, en un lapso de tiempo mayor al 5% del correspondiente período de medición. El Artículo 34 de las NTSD establece que los distribuidores deberán indemnizar a sus usuarios por aquellos servicios en los que se compruebe que las condiciones de distorsión armónica han excedido las tolerancias establecidas por la norma y se mantendrá hasta que se compruebe, en forma fehaciente, que el problema ha sido resuelto.

La indemnización está basada en función de las desviaciones por encima de las tolerancias establecidas para los índices o indicadores DAIT y DATT, y la energía suministrada en esas condiciones. Se define como (DPAk) a la distorsión armónica encontrada en cada intervalo de medición K por encima de las tolerancias establecidas por la norma, y se determina mediante la siguiente ecuación:

$$DPAK = \text{Max} \left[ 0, \frac{DATT_k - DATT}{DATT} \right] + \frac{1}{3} \sum_2^{40} \text{Max} \left[ 0, \frac{DAIT_{i(k)} - DAIT_1}{DAIT_1} \right] \text{Ecuación 6}$$

Donde

DPAk: es la distorsión penalizable de armónicas para cada intervalo k.

DATT (k): es la distorsión armónica total de tensión, registrada en el intervalo k.

DATT: es la tolerancia para la distorsión armónica total de tensión

DAIT (k): es la distorsión armónica individual de tensión i, registrada en el intervalo de medición k.

DAITi: es la tolerancia para la distorsión armónica individual de tensión i

En cada intervalo de medición (k) registrado con energía suministrada en malas condiciones de calidad (intervalos con DPA mayor que cero) se utilizará el siguiente criterio para la valorización de la energía suministrada en condiciones inadecuadas (A/kwh) para el cálculo de la indemnización:

$$0 < DPAK \leq 1 \quad CENS \times (DPAK) \times 2 \quad \frac{Q}{Kwh} \text{Ecuación 7}$$

$$1 \quad DPAkCENS \frac{Q}{kWH} \text{Ecuación 8}$$

El monto de la indemnización se determina como:

$$\text{Indemnización } (Q) = \sum_{kDP A_{K \leq 1}} CENS \times (DPA_K)^2 \times E(K) + \sum_{kDP A_{K \geq 1}} CENS \times E(K)$$

Ecuación 9

Donde

E (k): es la energía registrada en cada intervalo de medición k.

En los casos en que los distribuidores verifiquen que alguno de sus usuarios ha excedido las tolerancias establecidas por la norma para la distorsión armónica, el usuario deberá pagar al distribuidor una indemnización determinada en función a la distorsión penalizable individual de armónicas.

Tabla XXII. Tolerancia para la distorsión armónica de tensión

Orden de armónica (n)	Baja tensión y Mediana tensión $V \leq 600$ kV	Alta tensión $60kV < V \leq 230$ kV
<b>Impares no múltiplos de 3</b>		
5	6,00	2,00
7	5,00	2,00
11	3,50	1,50
13	3,00	1,50
17	2,00	1,00
19	1,50	1,00
23	1,50	0,70
25	1,50	0,70
$\geq 25$	$0,2 + 1,3 \cdot 25/n$	$0,1 + 0,6 \cdot 25/n$
<b>Múltiplos impares de 3</b>		
3	5,00	2,00
9	1,50	1,00
15	0,30	0,30
21	0,20	0,20
$\geq 21$	0,20	0,20
<b>Pares</b>		
2	2,00	2,00
4	1,00	1,00
6	0,50	0,50
8	0,50	0,40
10	0,50	0,40
12	0,20	0,20
$> 12$	0,20	0,20
DATT(%)	8,00	3,00

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica, NTDS 1999, p. 11.

### 1.2.5. Desbalance

El desbalance de voltaje es otro factor importante a considerar en el análisis de la red eléctrica, ya que permite identificar una mala distribución de la calidad de la energía eléctrica con la que se cuenta. Las NTSD establecen un índice de calidad del desbalance de la tensión utilizado para evaluar el desbalance de tensión en servicios trifásicos, el cual se determina sobre la base de comparación de los valores eficaces (RMS) de tensión de cada fase; este índice está expresado como un porcentaje y se encuentra mediante la siguiente ecuación:

$$ADTD (\%) = \left( \frac{3(V_{max} - V_{min})}{(V_a + V_b + V_c)} \right) \times 100 \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde

$\Delta DTD$  (%): porcentaje de desbalance de tensión

$V_{m\acute{a}x}$ : tensión máxima de cualquiera de las fases, registrada en el intervalo k

$V_{m\acute{i}n}$ : tensión mínima de cualquiera de las fases, registrada en el intervalo k

$V_a$ : tensión de la fase a, registrada en el intervalo de medición k

$V_b$ : tensión de la fase b, registrada en el intervalo de medición k

$V_c$ : tensión de la fase c, registrada en el intervalo de medición k

$$ADTD (\%) = \left( \frac{3(241 - 234)}{(239 + 238 + 237)} \right) \times 100 = 2,94 \%$$

La tolerancia admitida por las NTSD aplicables al distribuidor sobre el desbalance de tensión en los puntos de entrega de energía es del 3%, según se muestra en la tabla XVIII y considera que la energía eléctrica es de mala calidad cuando, en un lapso de tiempo mayor al 5% del correspondiente al total del período de medición, se ha excedido el rango de tolerancia admitido.

Tabla XXIII. **Desbalance de tensión en porcentajes**

<b>Desbalance de tensión, <math>\Delta</math>DTD, en %</b>	
Tensión	Etapa del régimen, a partir del mes 13
Baja y media	3
Alta	1

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica, NTDS. p. 9. 1999.

Según los datos obtenidos se pueden observar que el valor de desbalance de tensión cumple con la NTSD, la cual está en el rango del 3% cumpliendo con una buena distribución de la calidad de la energía.

### **1.3. Red de tierras**

Es bien sabido que la mayoría de los sistemas eléctricos necesitan ser aterrizados y que esta práctica probablemente se inició en los primeros días de los experimentos eléctricos. Entonces, como ahora, la estática se descargaba por conexión a una placa que estaba en contacto con la masa general de la tierra. La práctica ha continuado y se ha desarrollado progresivamente, de modo que tales conexiones a tierra se encuentran en casi todos los puntos en el sistema eléctrico. Esto incluye la estación generadora, las líneas y los cables que distribuyen la energía eléctrica y los edificios en los cuales se utiliza.

La definición de la IEEE de puesta a tierra es: tierra (sistema de tierra), una conexión conductora, ya sea intencional o accidental, por medio de la cual un circuito eléctrico o equipo se conecta a la tierra o a algún cuerpo conductor de dimensión relativamente grande que cumple la función de la tierra.

Las razones que más frecuentemente se citan para tener un sistema aterrizado, son:

- Proporcionar una impedancia suficientemente baja para facilitar la operación satisfactoria de las protecciones en condiciones de falla.
- Asegurar que seres vivos presentes en la vecindad de las subestaciones no queden expuestos a potenciales inseguros, en régimen permanente o en condiciones de falla.
- Mantener los voltajes del sistema dentro de límites razonables bajo condiciones de falla (tales como descarga atmosférica, ondas de maniobra o contacto inadvertido con sistemas de voltaje mayor), y asegurar que no se excedan los voltajes de ruptura dieléctrica de los aislamientos.
- Hábito y práctica.
- En transformadores de potencia puede usarse aislamiento graduada.
- Limitar el voltaje a tierra sobre materiales conductivos que circundan conductores o equipos eléctricos.
- Para asegurar que una falla que se desarrolla entre los enrollados de alto y bajo voltaje de un transformador pueda ser manejada por la protección primaria.
- Proporcionar una trayectoria alternativa para las corrientes inducidas y de tal modo, minimizar el ruido eléctrico en cables.

- Proporcionar una plataforma equipotencial sobre la cual pueda operar equipo electrónico.

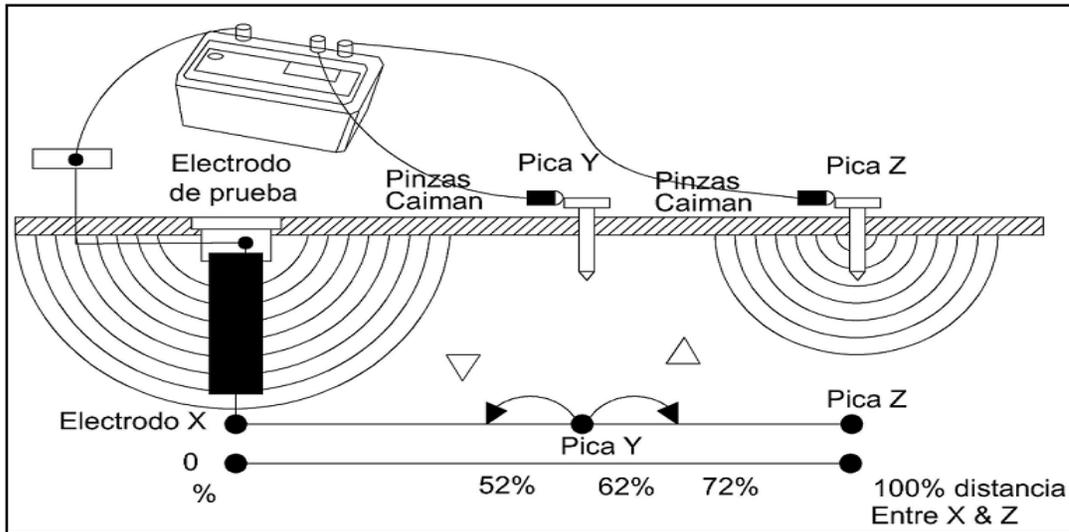
Para desempeñarse adecuadamente cumpliendo cualquiera de las funciones anteriores, el sistema de tierra debe generalmente tener una baja impedancia, y un bajo valor de resistencia ( $10 \Omega$  para sistemas de potencia y  $5 \Omega$  para sistemas de bajo voltaje), de modo que ya sea dispersando o recogiendo corriente desde el terreno, no se produzca un aumento de voltaje excesivo.

Por supuesto en el interior de instalaciones es también necesaria una conexión a tierra, para asegurar la correcta operación del equipo, por ejemplo, dispositivos electrónicos. Es esencial considerar la puesta a tierra en una instalación global como un sistema completo y, por lo tanto, diseñarla e instalarla correspondientemente. Actualmente, el edificio del molino no cuenta con una red de tierras, únicamente posee una varilla de puesta a tierra del lado de la subestación que según medición realizada, se encuentra entre los  $5 \Omega$ .

El método de medición utilizado fue el de la caída de tensión o de los tres puntos, conforme a la norma IEEE Std. 80. En este método se utiliza una sonda de tensión y una de corriente conectadas a dos electrodos de referencia, los cuales se colocan a una distancia conveniente con el fin de que no se vean influenciadas por la propia instalación.

Así mismo, la distancia entre sondas deberá ser tal que se eviten los fenómenos de interferencia. La corriente se inyecta entre los puntos z (positivo) y x (negativo) y se mide la diferencia de potencial en diversos puntos entre z y x. La resistencia a tierra debe ser menor de  $5 \text{ ohm}$ .

Figura 14. Medición de puesta a tierra



Fuente: elaboración propia.

Es por ese motivo que en el presente trabajo, se realizará el cálculo y diseño del sistema de tierras, con el propósito de darle una mayor confiabilidad al sistema eléctrico del molino.

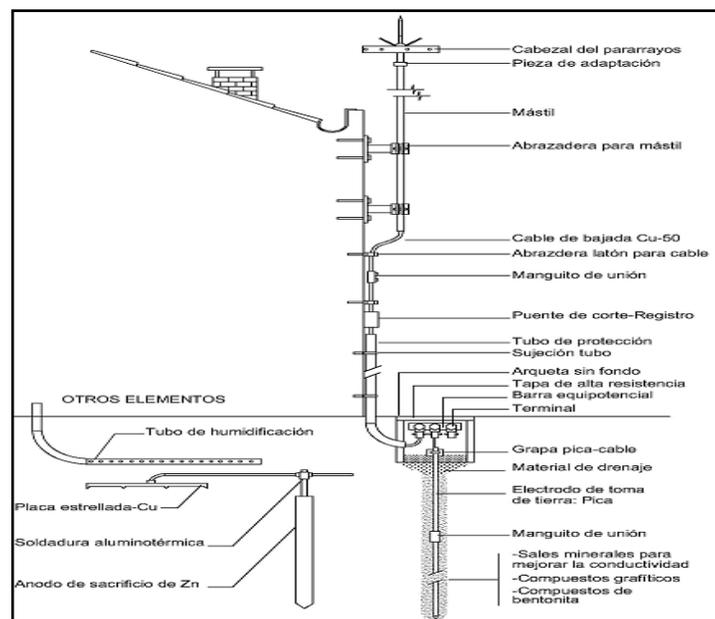
#### 1.4. Pararrayos

El propósito de la protección contra descargas atmosféricas es evitar los daños que puede producir el impacto de un rayo local o remoto a personas, estructuras, valores y a la continuidad de servicios. Esto se logra mediante dispositivos y sistemas que conduzcan a tierra la corriente del rayo directo en forma controlada y limiten a niveles seguros los efectos indirectos de la descarga. La primera fase de la acción de protección contra el rayo directo la constituye el impacto al elemento del sistema de protección destinado a recibirlo o captarlo, elemento que se llama comúnmente pararrayos.

Un sistema de protección contra descargas atmosféricas está compuesto esencialmente por el sistema captor del impacto, el conductor de bajada y la conexión a tierra. Si la instalación a proteger lo requiere se debe incluir un conjunto de interconexiones que disminuyan a niveles tolerables las diferencias de potencial generadas entre diferentes partes de la instalación protegida así como elementos supresores de tensiones transitorias entre conductores eléctricos creadas por el impacto local o remoto del rayo.

El sistema captor del impacto o interceptor del rayo consisten uno o más elementos metálicos previstos para recibir la descarga de manera que el impacto no se produzca en partes vulnerables de la estructura o sistema a proteger.

Figura 15. Diagrama esquemático de pararrayos



Fuente: elaboración propia.

En la actualidad, el edificio del molino no cuenta con un sistema de protección contra rayos, pero sin duda alguna es necesaria su instalación, ya que sobre la estructura del techo se encuentran ubicadas antenas de telecomunicaciones y en el interior del edificio se tiene equipo electrónico sensible que puede ser dañado por cualquier descarga atmosférica.

La falta de una protección contra las descargas atmosféricas provoca que éstas incidan directamente sobre el edificio, esto da origen a una sobrecarga eléctrica haciendo que las protecciones eléctricas se accionen, dejando fuera de la red eléctrica al edificio por completo.

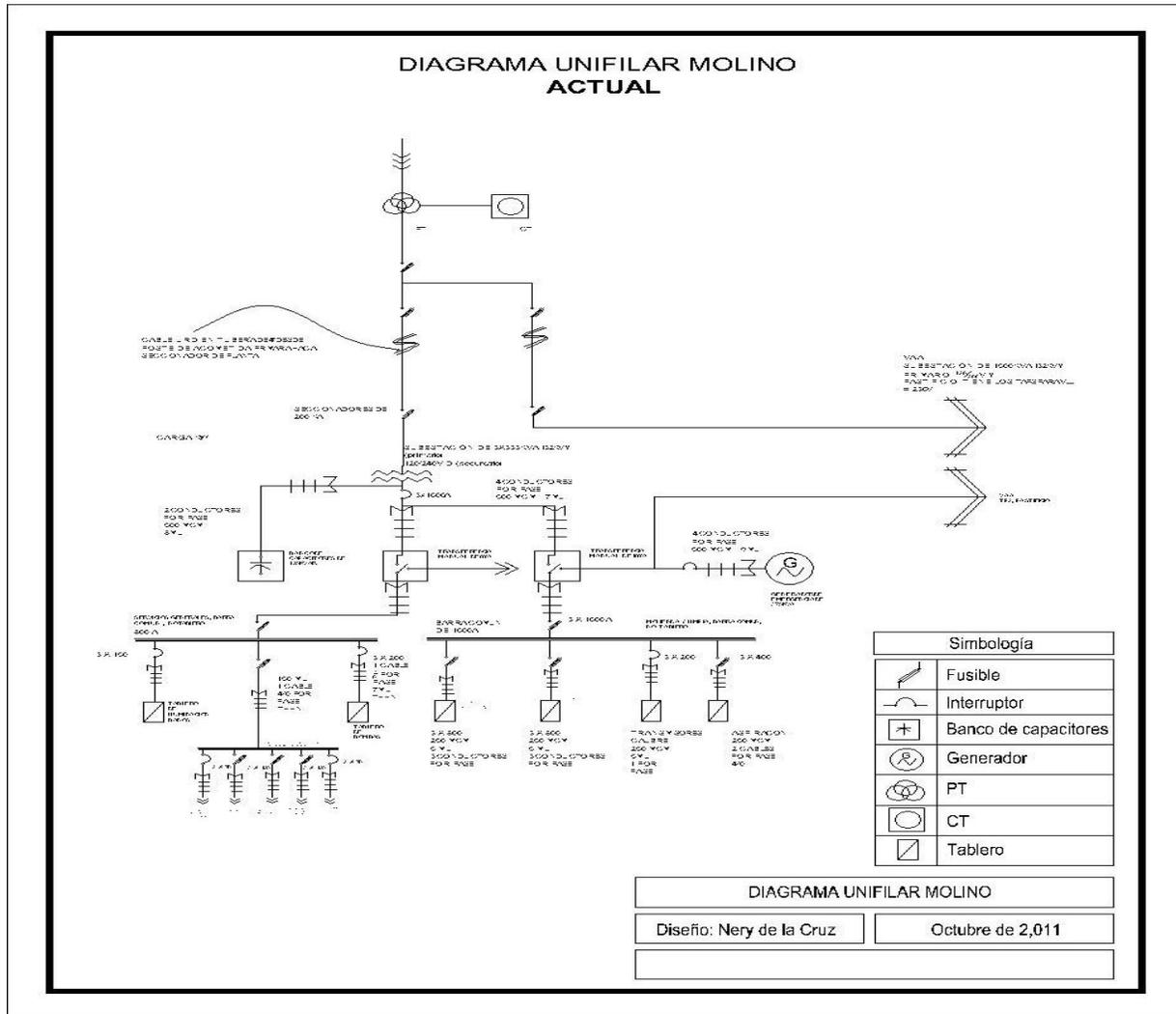
Estas sobrecargas, provocan daños en los equipos eléctricos y tarjetas electrónicas, causando daños irreparables, adicionalmente estos cortes de energía generan pérdidas económicas a la empresa.

## **2. DIAGRAMAS UNIFILARES**

Los diagramas unifilares y de funcionamiento son las hojas de ruta para la operación y el mantenimiento de un sistema de potencia. Los diagramas pueden ser considerados como la principal herramienta de trabajo en un sistema de potencia. Sin la guía que proporciona la información contenida en estos diagramas, la operación y el mantenimiento de una actividad industrial o complejos serían potencialmente inseguros.

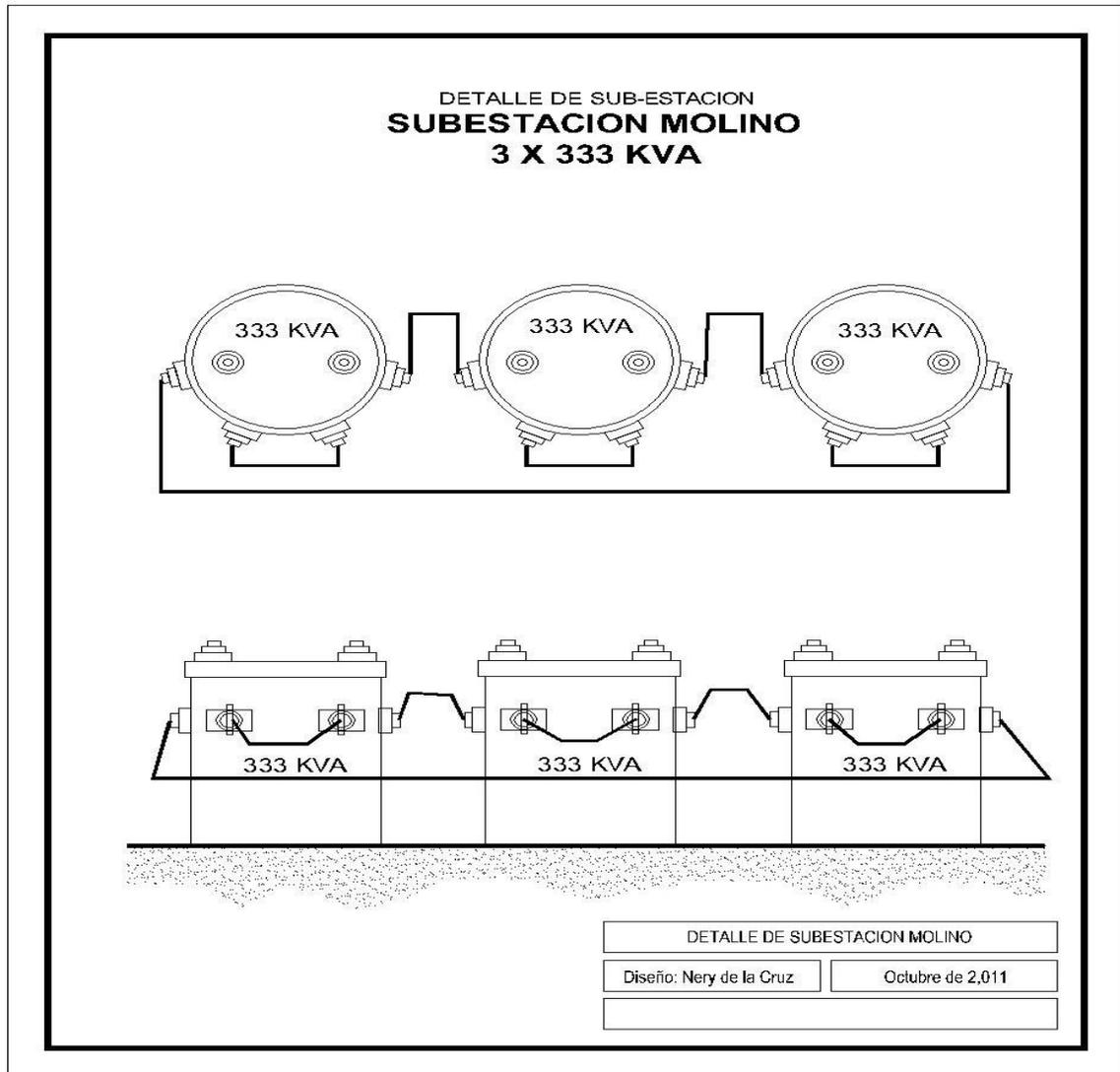
La documentación que se incluya en los diagramas unifilares debe contener únicamente según el estándar IEEE 902-1998 las fuentes principales de alimentación, transformadores, niveles de voltajes, cargas principales y dispositivos de desconexión.

Figura 16. Diagrama unifilar actual



Fuente: elaboración propia.

Figura 17. Diagrama de subestación de molino



Fuente: elaboración propia.



### **3. TEÓRICO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS ACTUALES**

#### **3.1. Cálculo de conductores**

Un conductor eléctrico está formado primeramente por el conductor propiamente tal, usualmente de cobre. Este puede ser alambre, es decir, una sola hebra o un cable formado por varias hebras o alambres retorcidos entre sí. Los materiales más utilizados en la fabricación de conductores eléctricos son el cobre y el aluminio. Aunque ambos metales tienen una conductividad eléctrica excelente, el cobre constituye el elemento principal en la fabricación de conductores por sus notables ventajas mecánicas y eléctricas.

El uso de uno y otro material como conductor, dependerá de sus características eléctricas (capacidad para transportar la electricidad), mecánicas (resistencia al desgaste, maleabilidad), del uso específico que se le quiera dar y del costo. Estas características llevan a preferir al cobre en la elaboración de conductores eléctricos. Así mismo, los conductores eléctricos también poseen un recubrimiento que permite que la energía que circula por el conductor no entre en contacto con las personas o artefactos llámese ductos que intervienen en la instalación eléctrica.

Por tal razón, los diferentes tipos de aislamiento de los conductores están dotados por sus comportamientos térmicos y mecánicos, considerando el ambiente y las condiciones de canalización que se verán sometidos los conductores que protegen su resistencia a los agentes químicos, a los rayos solares, a la humedad, a altas temperatura, llamas, etcétera.

La siguiente tabla muestra el tipo de aislante y el uso de los diferentes conductores, de acuerdo con sus condiciones de empleo y propiedades.

Tabla XXIV. **Aislamiento y usos de conductores**

<b>Material aislante</b>	<b>Tipo</b>	<b>Temperatura máxima °C</b>	<b>Cubierta</b>	<b>Utilización</b>
Hule resistente al calor	RH	75	Resistente a la humedad, retardadora de flama	Locales secos
Hule resistente al calor	RHH	90		
Hule resistente al calor y humedad	RHW	75		Locales húmedos
Termoplástico	T	60	Ninguna	Locales secos
Termoplástico resistente a la humedad	TW	60		
Termoplástico resistente al calor y humedad	THW	75		Locales secos y húmedos
Termoplástico resistente al calor y humedad y retardador a la flama	THHN	90	Nylon o equivalente	

Fuente: Tabla 310.13 *Conductor application and insulation* NEC 2008, p. 30.

El conductor que se utiliza en la instalación es el conductor tipo THHN, ya que cumple con las propiedades de resistencia al calor, humedad y es retardador a la flama, lo que hace evidente que debido al ambiente inflamable que presenta el edificio es el que mejor se cumple con las necesidades de la instalación.

### 3.1.1. Cálculo de conductores por caída de tensión

La circulación de corriente a través de los conductores ocasiona una pérdida de potencia transportada por el cable y una caída de tensión o diferencia entre las tensiones en el origen y el extremo de la canalización. Se conoce como caída de tensión a la diferencia que existen entre el voltaje aplicado al extremo alimentador de una instalación y el obtenido en cualquier otro punto de la misma.

La caída de voltaje máxima permitida por la NTIE es del 3% para el circuito alimentador o principal y 3% para circuitos derivados, sin que los dos circuitos juntos sobrepasen el 5%; en los cálculos siguientes se emplearán el 3% y el 2% para los circuitos alimentador y derivado respectivamente. Para determinar el calibre de los conductores, se emplearán las siguientes ecuaciones:

$$V = I \times R \quad \text{Ecuación 11}$$

$$P = V \times I \times \cos \emptyset \quad \text{Ecuación 12}$$

$$P = 3 \times V \times I \times \cos \emptyset \quad \text{Ecuación 13}$$

$$R = \frac{d}{(A \times K)} \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde

V: tensión nominal en volts

I: corriente nominal en amperios

P: potencia en watts

Cosθ: factor de potencia

R: resistencia del conductor en ohms

d: longitud del conductor en metros

A: sección transversal del conductor en mm<sup>2</sup>

k: conductividad del conductor (k= 57 mm<sup>2</sup>/Ω\*m para el cobre)

Combinando las ecuaciones anteriores, obtiene la expresión que permite determinar la sección del conductor:

$$A = \frac{(I \times L)}{(E \times K)} \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde

E: porcentaje de caída de tensión

L: (√(3))\*d para circuitos trifásicos y 2\*d para circuitos monofásicos

Finalmente encontrado el valor del área de la sección transversal del conductor se selecciona de la siguiente tabla el valor del conductor que sea igual a mayor al área encontrada.

Tabla XXV. Área transversal de conductores

Calibre conductores AWG o Kcmil	Área transversal	
	CM	mm <sup>2</sup>
14	4110	2,10
12	6530	3,30
10	10380	5,30
8	16510	8,40
6	26240	13,30
4	41740	21,20
2	66360	33,60
1/0	105600	53,50
2/0	133100	67,40
3/0	167810	85,00
4/0	211600	107,20
250		127,00
300		152,00

Calibre conductores AWG o Kcmil	Área transversal	
	CM	mm <sup>2</sup>
350		177,00
400		203,00
450		228,00
500		253,00
550		279,00
600		304,00
650		329,00
700		355,00
750		380,00
800		405,00
900		456,00
1000		507,00

Fuente: tabla 8 *Conductor properties* NEC 2008, p. 1 249

Los valores obtenidos de la tabla anterior permitirán conocer la sección transversal de los conductores que se está analizando.

A continuación se muestra el procedimiento de cálculo para determinar el calibre del conductor necesario para alimentar la carga de los diferentes equipos, cuyos datos se tomará como ejemplo el siguiente: alimentación 208 V; carga instalada 1 268 watts, la distancia de la carga al tablero es de 15 metros; se empleará un conductor de cobre ( $k=57 \text{ mm}^2/\Omega\cdot\text{m}$ ) tipo AWG THHN por ser un conductor cuyas propiedades se ajustan a las necesidades de la instalación en estudio.

Paso 1: como es un circuito derivado, se permite una caída de tensión máxima del 3%:

$$e = 0,003 \times 208 = 0,624 \text{ volt}$$

Paso 2: como es un circuito trifásico se tiene que:

$$L = (\sqrt{3}) \times 15 = 25,98 \text{ metros}$$

Paso 3: la corriente a conducir se calcula en función de la potencia de la carga instalada:

$$I = \frac{1\ 268}{208} = 6,09 \text{ amperios}$$

Paso 4: se encuentra el área transversal de conductor en mm<sup>2</sup> en función de la corriente y la ecuación 15:

$$A = \frac{(6,09 \times 15)}{(35,568)} = 2,57 \text{ mm}^2$$

Paso 5: elección del conductor que posea un área transversal igual o mayor al área encontrada en el paso cuatro; de la tabla 12 se obtiene que el conductor que cumple este requerimiento de sección transversal es el conductor AWG THHN calibre No. 12.

En las siguientes tablas se muestra el resumen de cálculos para la determinación del calibre de los conductores de la acometida, circuitos alimentadores de los tableros de distribución secundarios de los diferentes niveles del edificio.

Tabla XXVI. **Conductores por caída de tensión según nivel**

Equipos primer nivel	Potencia Watts	Voltaje volts	Corriente A	Distancia m	Área en mm <sup>2</sup>	Calibre por caída de tensión
Silo de harina de filtros vibrador	1268,20	208	6,00	15	4,38	10
Impactor de trigo	3207,80	208	15,42	4	3,00	12
Tarara	3730,00	208	17,93	7	6,11	8
Clasificador de porcentaje de trigo limpio	2238,00	208	10,76	13	6,80	8
Rosca de clasificador	2238,00	208	10,76	3	1,57	14
Silo de argolla	2984,00	208	14,35	4	2,79	12
Impactor harina 1	3730,00	208	17,93	5	4,36	10
Impactor harina 2	3357,00	208	16,14	6	4,71	10
Impactor harina 3	2984,00	208	14,35	5	3,49	10
Transmisión 1	74600,00	208	358,65	6	104,67	4/0
Transmisión 2	5595,00	208	26,90	9	11,78	6
Transmisión3	18650,00	208	89,66	11	47,97	1/0
Molino de martillos impurezas	3730,00	208	17,93	13	11,34	6
Molino de martillos de fideo	746,00	208	3,59	4	0,70	14
Mezcladora de harina	2238,00	208	10,76	6	3,14	12
Rosca de descarga de silos	1492,00	208	7,17	19	6,63	8
Molino de argolla	2984,00	208	14,35	4	2,79	12

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. Conductores por caída de tensión según nivel

Equipos segundo nivel	Potencia Watts	Voltaje volts	Corriente A	Distancia m	Área en mm <sup>2</sup>	Calibre por caída de tensión
Clasificador de atasques	2238,00	208	10,76	20,00	10,47	6
Esclusa de blower de harina	559,50	208	2,69	12,00	1,57	14
Esclusa de descarga de sémola	2984,00	208	14,35	12,00	8,37	8
Ciclón de argolla P1250	246,18	208	1,18	9,00	0,52	14
Turbina de Ciclón P1250	276,02	208	1,33	10,00	0,65	14
Esclusa de salvadillo	1342,80	208	6,46	9,00	2,83	12
Esclusa de clasificador	559,50	208	2,69	27,00	3,53	10
Esclusa de harina # 2	1342,80	208	6,46	9,00	2,83	12
Matraca de corazón de trigo	1119,00	208	5,38	14,00	3,66	10
Triaberjón	1119,00	208	5,38	13,00	3,40	10
Separador de pre-limpia	1119,00	208	5,38	13,00	3,40	10
Mezclador de silos	2238,00	208	10,76	21,00	10,99	6
Transmisión banco 1	55950,00	208	268,99	12,00	157,00	
Transmisión banco 2	11190,00	208	53,80	6,00	15,70	4
Transmisión banco 3	22380,00	208	107,60	6,00	31,40	2
Transmisión banco 4	29840,00	208	143,46	3,00	20,93	4
Transmisión banco 5	29840,00	208	143,46	6,00	41,87	1/0

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Conductores por caída de tensión según nivel**

Equipos tercer nivel	Potencia watts	Voltaje volts	Corriente A	Distancia m	Área en mm <sup>2</sup>	Calibre por caída de tensión
Clasificador	3730	208	17,93	24	20,93	4
Clasificador	3730	208	17,93	24	20,93	4
Dosificador de vitamina para corazón de trigo	746	208	3,59	18	3,14	10
Bancos del T1A	22380	208	107,60	18	94,20	4/0
Bancos del T1B	22380	208	107,60	18	94,20	4/0
Blower de corazón de trigo	6341	208	30,49	8	11,86	6
Esclusa báscula de corazón de trigo	373	208	1,79	8	0,70	14
Blower de harina	22380	208	107,60	8	41,87	1/0
Blower de harina	22380	208	107,60	12	62,80	2/0
Esclusa básculas de harina	1865	208	8,97	26	11,34	6
Ciclón de argolla P3200	373	208	1,79	8	0,70	14
Turbina de ciclón de argolla	4103	208	19,73	10	9,59	6
Rosca alimentadora del T1	596.8	208	2,87	17	2,37	12
Rosca transportadora	1492	208	7,17	17	5,93	8
Rosca transportadora	2984	208	14,35	17	11,86	6
Rosca de harina	2238	208	10,76	18	9,42	6

Fuente: elaboración propia.

El cálculo de estos conductores eléctricos se realiza tomando en cuenta una caída de voltaje del 2% ya que son circuitos derivados y no conductores de alimentación principal.

Tabla XXIX. **Conductores por caída de tensión según nivel**

<b>Equipos cuarto nivel</b>	<b>Potencia watts</b>	<b>Voltaje Volts</b>	<b>Corriente A</b>	<b>Distancia m</b>	<b>Área en mm<sup>2</sup></b>	<b>Calibre por caída de tensión</b>
Silo de atasque	2238	208	10,76	28,00	14,65	4
Turbina de aspiración de clasificador	1 3055	208	62,76	29,00	88,53	4/0
Turbina de aspiración de pre-limpia	6 714	208	32,28	20,00	31,40	2
Elevador de pre-limpia	4 476	208	21,52	19,00	19,89	4
Separador de Trigo	223,8	208	1,08	20,00	1,05	14
Esclusa de filtro de Harina	746	208	3,59	31,00	5,41	8
Esclusa de la punta fina	1 119	208	5,38	34,00	8,90	6
Aspiración de báscula de sémola	223,8	208	1,08	34,00	1,78	14
Cepilladora 1	3 730	208	17,93	30,00	26,17	2
Cepilladora 1	3 730	208	17,93	30,00	26,17	2
Rosca harinera 1	2 238	208	10,76	16,00	8,37	6
Rosca harinera 2	2 238	208	10,76	20,00	10,47	6
Sasor 1	969,8	208	4,66	22,00	4,99	12
Sasor 2	969,8	208	4,66	25,00	5,67	8
Sasor 3	969,8	208	4,66	27,00	6,12	8
Sasor 4	969,8	208	4,66	29,00	6,58	8
Sasor 5	969,8	208	4,66	31,00	7,03	8
Sasor 6	969,8	208	4,66	33,00	7,48	8
Sasor 7	969,8	208	4,66	33,00	7,48	8
Sasor 8	969,8	208	4,66	33,00	7,48	8

Fuente: elaboración propia.

El cálculo por caída de tensión es muy importante para estas instalaciones, ya que las distancias son relativamente grandes y puede darse una disminución del voltaje debido a su distancia, se podría realizarse un mal cálculo del conductor.

Tabla XXX. Conductores por caída de tensión según nivel

Equipos quinto nivel	Potencia watts	Voltaje volts	Corriente A	Distancia m	Área en mm <sup>2</sup>	Calibre por caída de tensión
Cernedor 1	3 730	208	17,93	27,00	23,55	2
Cernedor 2	3 730	208	17,93	30,00	26,17	2
Cernedor 3	3 730	208	17,93	33,00	28,78	2
Cernedor 4	3 730	208	17,93	37,00	32,27	2
Filtro de aspiración principal	2 238	208	10,76	20,00	10,47	6
Esclusa de descarga de filtro principal	2 611	208	12,55	21,00	12,82	6
Aspiración de purificadores	22 380	208	107,60	26,00	136,07	300
Cernedor de fideo molido	2 238	208	10,76	1500	7,85	8
Aspiración de la limpia	8 206	208	39,45	23,00	44,13	1/0
Rociador de trigo 2	7 460	208	35,87	25,00	43,61	1/0
Elevador de sémola sur	1 492	208	7,17	24,00	8,37	8
Rosca de nebulizador	1 865	208	8,97	15,00	6,54	8
Elevador lado norte	1 492	208	7,17	23,00	8,02	8
Vibro cernedor	3 730	208	17,93	37,00	32,27	1/0

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Conductores por caída de tensión según nivel**

Equipos sexto nivel	Potencia watts	Voltaje volts	Corriente A	Distancia m	Área en mm <sup>2</sup>	Calibre por caída de tensión
Soplantes filtro 1	5 595,0	208	26,90	33,00	43,18	1/0
Soplantes filtro 2	5 595,0	208	26,90	33,00	43,18	1/0
Aspiración principal	55 950,0	208	268,99	15,00	196,25	400
Vibro cernedor	5 595,0	208	26,90	21,00	27,48	2
Aspiración lado norte	22 380,0	208	107,60	20,00	104,67	4/0
Banco de fideo molido A	5 595,0	208	26,90	9,00	11,78	6
Banco de fideo molido B	5 595,0	208	26,90	10,00	13,08	6
Despuntadora	13 129,6	208	63,12	37,00	113,60	250
Elevador de trigo limpio	3 730,0	208	17,93	40,00	34,89	1/0
Elevador de trigo sucio	11 190,0	208	53,80	42,00	109,90	250
Tarara	3 30,0	208	17,93	36,00	31,40	2
Rociador de trigo	4 923,6	208	23,67	38,00	43,75	1/0
Grupo de esclusas 1	2 238,0	208	10,76	30,00	15,70	4
Grupo de esclusas 2	559,5	208	2,69	36,00	4,71	12
Grupo de esclusas 3	2 238,0	208	10,76	40,00	20,93	4
Grupo de esclusas 4	2 238,0	208	10,76	43,00	22,50	2
Auxiliar de aspiración	22 380,0	208	107,60	30,00	157,00	350
Elevador de trigo mojado	559,5	208	2,69	36,00	4,71	1/0
Aspiración banco de reproceso	3 357,0	208	16,14	12,00	9,42	6
Filtro	1 044,4	208	5,02	16,00	3,91	10
Esclusa de fideo de reproceso	2 238,0	208	10,76	18,00	9,42	6
Aspiración de reprocesó	3 730,0	208	17,93	17,00	14,83	4
Esclusa de filtro de fideo de reproceso	559,5	208	2,69	17,00	2,22	12
Exclusa filtro	373,0	208	1,79	21,00	1,83	12
Aspas filtro	746,0	208	3,59	17,00	2,97	12
Bomba de agua	1 119,0	208	5,38	27,00	7,07	8

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. **Cálculos de acometidas por caída de voltaje**

<b>Acometidas a tableros eléctricos</b>	<b>Conductor THHN actual</b>	<b>Conductor THHN seleccionado por caída de tensión</b>
Aspiración 1	250	350
Aspiración 2	2/0	1/0
Limpia	250	250
Molienda	250	350
Transmisiones 1	250	250
Transmisiones 2	250	250

Fuente: elaboración propia.

En el cálculo realizado para la tabla anterior se utiliza una caída de tensión del 3%, porque estos circuitos son alimentadores principales.

### 3.1.2. Cálculo de conductores por capacidad de corriente

La capacidad de conducción de corriente de los conductores eléctricos se ve afectada por factores como la temperatura de operación y la cantidad de conductores que van en la tubería. Cuando se realiza el cálculo de conductores por capacidad de corriente, deben tomarse en cuenta estos factores y considerarse también la probabilidad de sobrecargas o desbalances, por lo que el NEC recomienda no cargar un conductor sobre el 80% de su capacidad nominal para contar con un margen de seguridad en el dimensionamiento de los conductores.

Tabla XXXIII. **Factor de corrección por temperatura y número de conductores**

Temperatura ambiente °C	Factor de corrección		Número de conductores	Factor de reducción de conducción
	TW	THHN		
			4 a 6	80%
21-25	1,80	1,05	7 a 24	70%
26-30	1,00	1,00	25 a 42	60%
31-35	0,91	0,94	arriba de 43	50%
36-40	0,92	0,88		
41-45	0,71	0,82		
46-50	0,58	0,75		
51-55	0,41	0,67		
56-60		0,58		
61-70		0,33		
71-80				

Fuente: NEC, 310.15(B)(2)(a) *adjustment factor for more than three current carrying conductors* 2001, p. 308.

El procedimiento de cálculo consiste en determinar el valor real de la capacidad de conducción de corriente de un conductor aplicando los diferentes factores mediante la siguiente ecuación:

$$I_{real} = I_n \times f_t \times f_r \times f_u \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde

$I_{real}$ : capacidad de conducción real en amperios

$I_n$ : capacidad de conducción nominal en amperios

$f_t$ : factor de temperatura

$f_r$ : factor de reducción por conductores

$f_u$ : factor de utilización (0, 8 de acuerdo con NEC)

Deberá seleccionarse el calibre de conductor cuya capacidad de conducción real de corriente sea igual o mayor a la corriente nominal que se supone circulará por el circuito. A continuación se muestra el procedimiento de cálculo para determinar el calibre del conductor necesario para alimentar cada una de las cargas por nivel del molino.

Paso 1: se eligen los factores que se aplicarán para determinar la capacidad real de conducción del conductor. Se considera que la temperatura de operación de circuito será de 21° a 25° centígrados y que por la tubería pasarán entre 7 y 24 conductores, por lo que de acuerdo con la tabla XVI, los valores correspondientes a los factores de corrección por temperatura y cantidad de conductores serán de 1, 05 y 0,7 respectivamente.

Paso 2: se elige un conductor (cobre tipo AWG THHN para este caso) que se considera tendrá, después de aplicados los factores, una capacidad de conducción real igual o superior a la corriente nominal que circulará por el circuito y se procede a realizar el cálculo. Se elige un conductor calibre 14 que tiene una capacidad de conducción nominal de 21 amperios, por lo que su capacidad de conducción real será:

$$I_{real} = 21 \times 1,05 \times 0,8 \times 0,8 = 14,11 \text{ amperios}$$

La capacidad de conducción real de este conductor es de 14 amperios, por lo tanto, es adecuado para este circuito cuya corriente nominal es de 6 amperios. En las siguientes tablas, se muestra el resumen de cálculos para la determinación del calibre de los conductores de acometidas de tableros principales y ramales de cada tablero por nivel.

Tabla XXXIV. **Cálculo de conductor por corriente eléctrica según nivel**

<b>Equipos primer nivel</b>	<b>Corriente nominal (A)</b>	<b>Corriente nominal del conductor THHN</b>	<b>( I ) Total aplicando factores</b>	<b>Conductor THHN seleccionado por cálculo de corriente</b>
Silo de harina de filtros vibrador	6,10	21	14,11	14
Impactor de trigo	15,42	21	14,11	14
Tarara	17,93	21	14,11	14
Clasificador de porcentaje de trigo limpio	10,76	21	14,11	14
Rosca de clasificador	10,76	21	14,11	14
Silo de argolla	14,35	21	14,11	14
Impactor harina 1	17,93	21	14,11	14
Impactor harina 2	16,14	21	14,11	14
Impactor harina 3	14,35	21	14,11	14
Molino de martillos de punta fina	17,93	21	14,11	14
Molino de martillos de fideo	3,59	21	14,11	14
Mescladora de harina	10,76	21	14,11	14
Rosca de descarga de silos de trigo HAD y cristalino	7,17	21	14,11	14
Molino de argolla	14,35	21	14,11	14

Fuente: elaboración propia.

Es importante mencionar que el factor de utilización que se seleccionó es de 0,8 como lo manda el NEC, en su mayoría estos equipos se encuentran trabajando las 24 horas del día.

Tabla XXXV. Cálculo de conductor por corriente eléctrica según nivel

Equipos segundo nivel	Corriente nominal (A)	( I ) Nominal del conductor THHN	( I ) Total aplicando factores	Conductor THHN seleccionado por cálculo de corriente
Clasificador de atasques	10,76	21	14,11	14
Esclusa de blower de Farina	2,69	21	14,11	14
Esclusa de descarga de sémola	14,35	21	14,11	14
Ciclón de argolla P1250	1,18	21	14,11	14
Turbina de ciclón P1250	1,33	21	14,11	14
Esclusa de salvadillo	6,46	21	14,11	14
Esclusa de clasificador	2,69	21	14,11	14
Esclusa de harina # 2	6,46	21	14,11	14
Matraca de corazón de trigo	5,38	21	14,11	14
Triaberjon	5,38	21	14,11	14
Separador de prelimpia	5,38	21	14,11	14
Mezclador de silos	10,76	21	14,11	14
Transmisión 1	268,99	276	185,47	3/0
Transmisión2	53,80	65	43,68	8
Transmisión3	107,60	137	92,06	3
Transmisión4	143,46	163	109,54	2
Transmisión5	143,46	163	109,54	2

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Cálculo de conductor por corriente eléctrica según nivel**

<b>Equipos tercer nivel</b>	<b>Corriente nominal (A)</b>	<b>( I ) Nominal del conductor THHN</b>	<b>( I ) Total aplicando factores</b>	<b>Conductor THHN seleccionado por cálculo de corriente</b>
Clasificador	17,93	21	14,11	14
Clasificador	17,93	21	14,11	14
Dosificador de vitamina para corazón de trigo	3,59	21	14,11	14
Bancos del T1A	107,60	119	79,97	4
Bancos del T1B	107,60	119	79,97	4
Blower de corazón de trigo	30,49	36	24,19	12
Esclusa báscula de corazón de trigo	1,79	21	14,11	14
Blower de harina	107,60	119	79,97	4
Blower de harina	107,60	119	79,97	4
Esclusa básculas de harina	8,97	21	14,11	14
Ciclón de argolla P3200	1,79	21	14,11	14
Turbina de ciclón de argolla	19,73	21	14,11	14
Rosca alimentadora del T1	2,87	21	14,11	14
Rosca transportadora	7,17	21	14,11	14
Rosca transportadora	14,35	21	14,11	14
Rosca de harina	10,76	21	14,11	14

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. **Cálculo de conductor por corriente eléctrica según nivel**

<b>Equipos cuarto nivel</b>	<b>Corriente nominal (A)</b>	<b>( I ) Nominal del conductor THHN</b>	<b>( I ) Total aplicando factores</b>	<b>Conductor THHN seleccionado por cálculo de corriente</b>
Silo de atasque	10,76	21	6,33	14
Turbina de aspiración de clasificador	62,76	65	36,91	8
Turbina de aspiración de pre-limpia	32,28	36	18,98	14
Elevador de pre-limpia	21,52	27	12,65	14
Separador de Trigo	1,08	21	0,63	14
Esclusa de filtro de Harina	3,59	21	2,11	14
Esclusa de la punta fina	5,38	21	3,16	14
Aspiración de báscula de sémola	1,08	21	0,63	14
Cepilladora 1	17,93	21	10,54	14
Cepilladora 1	17,93	21	10,54	14
Rosca harinera 1	10,76	21	6,33	14
Rosca harinera 2	10,76	21	6,33	14
Sasor 1	4,66	21	2,74	14
Sasor 2	4,66	21	2,74	14
Sasor 3	4,66	21	2,74	14
Sasor 4	4,66	21	2,74	14
Sasor 5	4,66	21	2,74	14
Sasor 6	4,66	21	2,74	14
Sasor 7	4,66	21	2,74	14
Sasor 8	4,66	21	2,74	14

Fuente: elaboración propia.

Como se puede ver en la tabla anterior, aparentemente la mayoría de las cargas deben utilizar un conductor 14, pero esto también hay que verificarlos por el método de la caída de tensión, ya que aquí no se toma en consideración la distancia a la que se encuentra ubicada la carga.

Tabla XXXVIII. **Cálculo de conductor por corriente eléctrica según nivel**

<b>Equipos quinto nivel</b>	<b>Corriente nominal (A)</b>	<b>( I ) Nominal del conductor THHN</b>	<b>( I ) Total aplicando factores</b>	<b>Conductor THHNseleccionado por cálculo de corriente</b>
Cernedor 1	17,93	21	10,54	14
Cernedor 2	17,93	21	10,54	14
Cernedor 3	17,93	21	10,54	14
Cernedor 4	17,93	21	10,54	14
Filtro de aspiración principal	10,76	21	6,33	14
Esclusa de descarga de filtro principal	12,55	21	7,38	14
Aspiración de sasores	107,60	119	63,27	4
Cernedor de fideo molido	10,76	21	6,33	14
Aspiración de la limpia	39,45	48	23,20	12
Rociador de trigo 2	35,87	36	21,09	12
Elevador de sémola sur	7,17	21	4,22	14
Rosca de nebulizador	8,97	21	5,27	14
Elevador lado norte	7,17	21	4,22	14
Vibro-cernedor	17,93	21	10,54	14

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIX. Cálculo de conductor por corriente eléctrica según nivel

Equipos sexto nivel	Corriente nominal (A)	( I ) Nominal del conductor THHN	( I ) Total aplicando factores	Conductor THHN seleccionado por cálculo de corriente
Soplantes de filtro 1	26,90	27	15,82	14
Soplantes de filtro 2	26,90	27	15,82	14
Aspiración principal	268,99	250	158,17	1/0
Vibrocernedor de harina	26,90	27	15,82	14
Aspiración lado norte	107,60	119	63,27	6
Banco de fideo molido A	26,90	27	15,82	14
Banco de fideo molido B	26,90	27	15,82	14
Despuntadora de trigo	63,12	65	37,12	8
Elevador de trigo limpio	17,93	21	10,54	14
Elevador de trigo sucio	53,80	65	31,63	10
Tarara	17,93	21	10,54	14
Rociador de trigo	23,67	27	13,92	14
Grupo de esclusas 1	10,76	21	6,33	14
Grupo de esclusas 2	2,69	21	1,58	14
Grupo de esclusas 3	10,76	21	6,33	14
Grupo de esclusas 4	10,76	21	6,33	14
Auxiliar de aspiración principal	107,60	119	63,27	6
Elevador de trigo mojado	2,69	21	1,58	14
Aspiración banco de reproceso	16,14	21	9,49	14
Filtro	5,02	21	2,95	14
Esclusa de fideo de reproceso	10,76	21	6,33	14
Aspiración de reproceso	17,93	21	10,54	14
Esclusa de filtro de fideo de reproceso	2,69	21	1,58	14
Exclusa filtro	1,79	21	1,05	14
Aspas filtro	3,59	21	2,11	14
Bomba de agua	5,38	21	3,16	14

Fuente: elaboración propia.

Tabla XL. **Cálculo de acometidas por corrientes**

<b>Acometidas a tableros eléctricos</b>	<b>Conductor THHN actual</b>	<b>Conductor THHN seleccionado por corriente</b>
Aspiración 1	250	4/0
Aspiración 2	2/0	1/0
Limpia	250	250
Molienda	250	250
Transmisiones 1	250	4/0
Transmisiones 2	250	3/0

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior, se muestran los resultados para los alimentadores principales de los tableros, usando el criterio del cálculo por corriente. Con los anteriores resultados se necesita evaluar los dos criterios propuestos por caída de tensión, cálculo por corriente y seleccionar el conductor que mejor cumpla las necesidades de la instalación.

### **3.1.3. Elección del conductor y protecciones**

Las siguientes tablas muestran la comparación entre los calibres de los conductores existentes en los diferentes circuitos del edificio y los calibres de conductores que según diseño deben emplearse en cada circuito. Cada circuito se evaluó por los criterios de caída de tensión y corriente, siendo el seleccionado el método por caída de tensión, el cual cumple con todos los criterios necesarios para la selección del conductor eléctrico. Así mismo, se puede evidenciar que la mayoría de los conductores utilizados en la mayoría de las cargas instaladas en el edificio, no cumplen con los criterios de diseño establecido.

Tabla XLI. Selección de conductores y protecciones por nivel

Equipos primer nivel	Conductor THHN seleccionado por caída de tensión	Conductor THHN seleccionado por cálculo de corriente	Conductor seleccionado por diseño AWG o Kcmil	Conductor eléctrico actual AWG o Kcmil	Protección según diseño
Silo de harina de filtros vibrador	10	14	10	10	3 X 15
Impactor de trigo	12	14	12	14	3 X 15
Tarara	8	14	8	12	3 X 20
Clasificador de porcentaje de trigo limpio	8	14	8	8	3 X 20
Rosca de clasificador	14	14	14	12	3 X 15
Silo de argolla	12	14	12	14	3 X 15
Impactor harina 1	10	14	10	12	3 X 20
Impactor harina 3	10	14	10	10	3 X 20
Molino de martillos de punta fina	6	14	6	8	3 X 50
Molino de martillos de fideo	14	14	14	14	3 X 15
Mescladora de harina	12	14	12	12	3 X 15
Rosca de descarga de silos de trigo HAD y cristalino	8	14	8	14	3 X 20
Molino de argolla	12	14	12	12	3 X 15

Fuente: elaboración propia.

En la tabla del primer nivel, se puede ver la necesidad del cambio de siete circuitos los cuales corresponden a un 54% de las cargas ubicadas en ese nivel. También se encuentra un conductor sobre dimensionado para el circuito de la rosca de clasificador.

Tabla XLII. Selección de conductores y protecciones por nivel

Equipos segundo nivel	Calibre por caída de tensión	Conductor THHN seleccionado por cálculo de corriente	Conductor seleccionado por diseño AWG o Kcmil	Conductor eléctrico actual AWG o Kcmil	Protección según diseño
Clasificador de atasques	6	14	6	8	3 X 50
Esclusa de <i>blower</i> de harina	14	14	14	12	3 X 15
Esclusa de descarga de sémola	8	14	8	10	3 X 20
Ciclón de argolla P1250	14	14	14	14	3 X 15
Turbina de ciclón P1250	14	14	14	14	3 X 15
Esclusa de salvadillo	12	14	12	12	3 X 15
Esclusa de clasificador	10	14	10	10	3 X 20
Esclusa de harina # 2	12	14	12	14	3 X 15
Matraca de corazón de trigo	10	14	10	8	3 X 20
Triaberjon	10	14	10	12	3 X 20
Separador de pre-limpia	10	14	10	12	3 X 20
Mezclador de silos	6	14	6	10	3 X 50
Transmisión 1	350	3/0	350	250	3 X 200
Transmisión 2	4	8	4	4	3 X 100
Transmisión 3	2	3	2	2	3 X 125
Transmisión 4	4	2	4	4	3 X 70
Transmisión 5	1/0	2	1/0	1/0	3 x 175

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIII. Selección de conductores y protecciones por nivel

Equipos tercer nivel	Conductor THHN seleccionado por caída de tensión	Conductor THHN seleccionado por cálculo de corriente	Conductor seleccionado por diseño AWG o Kcmil	Conductor eléctrico actual AWG o Kcmil	Protección según diseño
Clasificador	4	14	4	4	3 X 100
Dosificador de vitamina para corazón de trigo	10	14	10	8	3 X 20
Bancos del T1A	4/0	4	4/0	4/0	3 X 250
Bancos del T1B	4/0	4	4/0	4/0	3 X 250
Blower de corazón de trigo	6	12	6	6	3 X 50
Esclusa báscula de corazón de trigo	14	14	14	14	3 X 15
Blower de harina	1/0	4	1/0	1/0	3 x 175
Blower de harina	1/0	4	1/0	1/0	3 x 175
Esclusa básculas de harina	6	14	6	6	3 X 50
Ciclón de argolla P3200	14	14	14	14	3 x 175
Turbina de ciclón de argolla	6	14	6	6	3 x 175
Rosca alimentadora del T1	12	14	12	10	3 x 175
Rosca transportadora	8	14	8	10	3 X 20
Rosca transportadora	6	14	6	10	3 X 50
Rosca de harina	6	14	6	10	3 X 50

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIV. Selección de conductores y protecciones por nivel

Equipos cuarto nivel	Conductor THHN seleccionado por caída de tensión	Conductor THHN seleccionado por cálculo de corriente	Conductor seleccionado por diseño AWG o Kcmil	Conductor eléctrico actual AWG o Kcmil	Protección según diseño
Silo de ataque	4	14	4	2	3 X 100
Turbina de aspiración de clasificador	4/0	8	4/0	4/0	3 x 250
Turbina de aspiración de prelimpia	2	14	2	4	3 X 125
Elevador de prelimpia	4	14	4	2	3 X 70
Separador de trigo	14	14	14	12	3 X 15
Esclusa de filtro de harina	8	14	8	10	3 X 20
Esclusa de la punta fina	6	14	6	10	3 x 50
Aspiración de báscula de sémola	14	14	14	12	3 X 15
Cepilladora 1	2	14	2	2	3 X 125
Cepilladora2	2	14	2	2	3 X 125
Rosca harinera 1	6	14	6	8	3 x 50
Rosca harinera 2	6	14	6	8	3 x 50
Sasor 1	12	14	12	14	3 X 15
Sasor 2	8	14	8	12	3 X 20
Sasor 3	8	14	8	12	3 X 20
Sasor 4	8	14	8	12	3 X 20
Sasor 5	8	14	8	12	3 X 20
Sasor 6	8	14	8	12	3 X 20
Sasor 7	8	14	8	12	3 X 20
Sasor 8	8	14	8	12	3 X 20

Fuente: elaboración propia

Tabla XLV. Selección de conductores y protecciones por nivel

Equipos quinto nivel	Conductor THHN seleccionado por caída de tensión	Conductor THHN seleccionado por cálculo de corriente	Conductor seleccionado por diseño AWG o Kcmil	Conductor eléctrico actual AWG o Kcmil	Protección según diseño
Cernedor 1	2	14	2	2	3 X 125
Cernedor 2	2	14	2	2	3 X 125
Cernedor 3	2	14	2	2	3 X 125
Cernedor 4	2	14	2	2	3 X 125
Filtro de aspiración principal	6	14	6	4	3 x 50
Esclusa de descarga de filtro principal	6	14	6	6	3 x 50
Aspiración de sasores	300	4	300	300	3 X 300
Cernedor de fideo molido	8	14	8	8	3 X 20
Aspiración de la limpia	1/0	12	1/0	1/0	3 X 175
Rociador de trigo 2	1/0	12	1/0	8	3 X 175
Elevador de sémola sur	8	14	8	10	3 X 20
Rosca de nebulizador	8	14	8	8	3 X 20
Elevador lado norte	8	14	8	10	3 X 20
Vibrocernedor	1/0	14	1/0	1/0	3 X 175

Fuente: elaboración propia Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVI. Selección de conductores y protecciones por nivel

Equipos sexto nivel	Conductor THHN seleccionado por caída de tensión	Conductor THHN seleccionado por cálculo de corriente	Conductor seleccionado por diseño AWG o Kcmil	Conductor eléctrico actual AWG o Kcmil	Protección según diseño
Soplantes de filtro 1	1/0	14	1/0	1/0	3 X 175
Soplantes de filtro 2	1/0	14	1/0	1/0	3 X 175
Aspiración principal	400	1/0	400	250	3 X 400
Vibrocernedor de harina	2	14	2	2	3 X 125
Aspiración lado norte	4/0	6	4/0	4/0	3 X 250
Banco de fideo molido A	6	14	6	10	3 X 50
Banco de fideo molido B	6	14	6	10	3 X 50
Despuntadora de trigo	250	8	250	250	3 X 250
Elevador de trigo limpio	1/0	14	1/0	1/0	3 X 175
Elevador de trigo sucio	250	10	250	150	3 X 250
Tarara	2	14	2	4	3 X 125
Rociador de trigo	1/0	14	1/0	1/0	3 X 175
Grupo de exclusas 1	4	14	4	4	3 X 70
Grupo de exclusas 2	12	14	12	12	3 X 15
Grupo de exclusas 3	4	14	4	4	3 X 70
Grupo de exclusas 4	2	14	2	2	3 X 125
Auxiliar de aspiración principal	350	6	350	350	3 x 350
Elevador de trigo mojado	12	14	12	12	3 X 15
Aspiración banco de reproceso	6	14	6	6	3 X 50
Filtro	10	14	10	10	3 X 20
Esclusa de fideo de reproceso	6	14	6	6	3 X 50
Aspiración de reproceso	4	14	4	8	3 X 70

Continuación de la tabla XLVI

<b>Equipos sexto nivel</b>	<b>Conductor THHN seleccionado por caída de tensión</b>	<b>Conductor THHN seleccionado por cálculo de corriente</b>	<b>Conductor seleccionado por diseño</b>	<b>Conductor eléctrico actual</b>	<b>Protección según diseño</b>
Esclusa de filtro de fideo de reproceso	12	14	12	10	3 X 15
Exclusa Filtro	12	14	12	14	3 X 15
Aspas Filtro	12	14	12	14	3 X 15
Bomba de agua	8	14	8	8	3 X 20

Fuente: elaboración propia.

En las tablas anteriores, se realizó el comparativo del conductor actual utilizado contra los dos métodos calculados, utilizando por recomendaciones técnicas el de caída de tensión. Para los equipos del segundo nivel, se encuentra un 54% de conductores que necesitan cambiarse, también en el tercer nivel se encuentra un 31% que necesita ser remplazado, de los cuales dos de circuitos, se encuentran sobredimensionados. Para las cargas del cuarto nivel se necesita realizar el cambio del 85% de los conductores eléctricos, en este nivel es donde se encuentra el mayor número de circuitos a ser cambiados.

En las cargas del quinto nivel se necesita realizar el cambio del 28% correspondiente a cuatro circuitos y finalmente en el sexto nivel se necesita realizar el cambio de cuatro circuitos que corresponde a un 19%, en total de las cargas que necesitan modificar sus conductores hace un total del 44% de toda la instalación.

Tabla XLVII. **Selección de conductores para acometidas**

<b>Acometidas a tableros eléctricos</b>	<b>Conductor THHN actual</b>	<b>Conductor THHN seleccionado por caída de tensión</b>	<b>Conductor seleccionado por diseño AWG o Kcmil</b>	<b>Conductor eléctrico actual AWG o Kcmil</b>	<b>Protección seleccionada</b>
Aspiración 1	250	350	4/0	350	3 X 350
Aspiración 2	2/0	1/0	1/0	1/0	3 X 175
Limpia	250	250	250	250	3 X 250
Molienda	250	350	250	350	3 X 350
Transmisiones 1	250	250	4/0	250	3 X 250
Transmisiones 2	250	250	3/0	250	3 X 250

Fuente: elaboración propia.

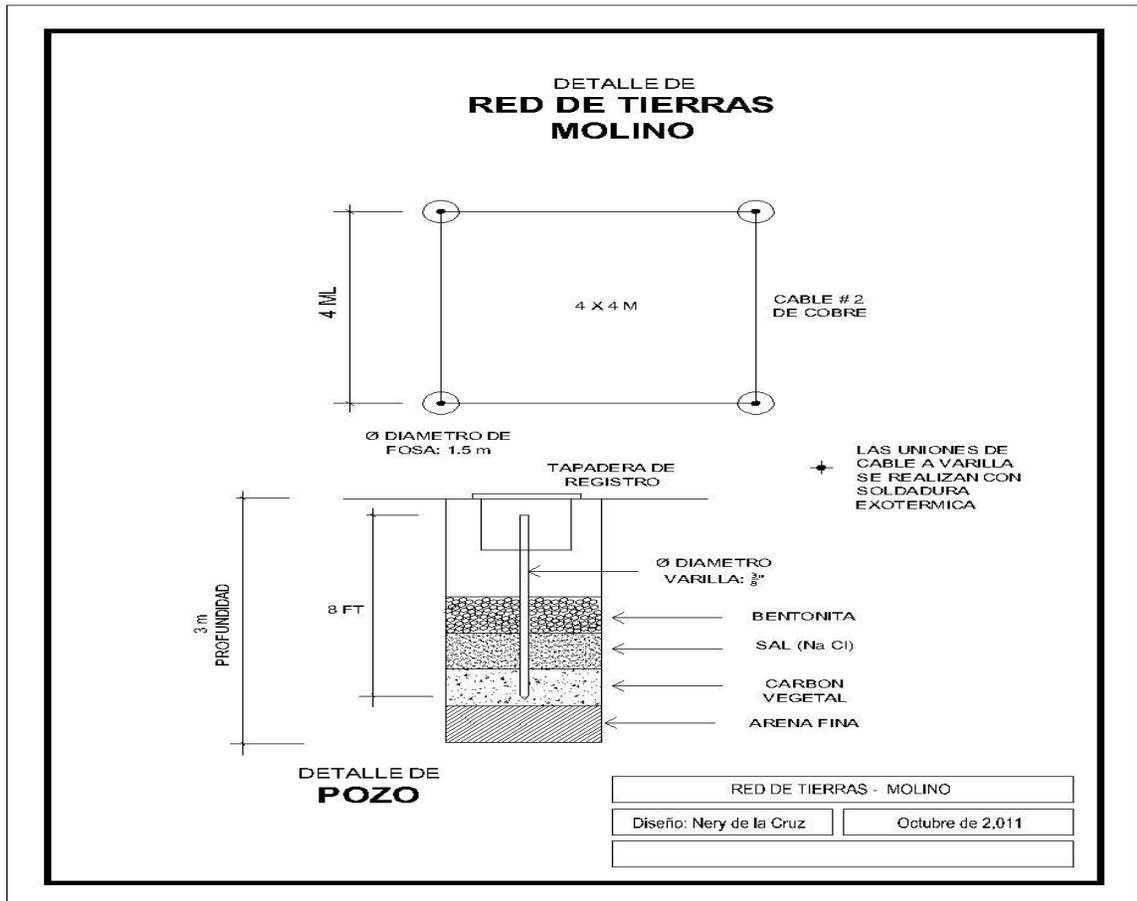
Para los conductores de alimentadores principales se deben cambiar el ramal de la aspiración y la molienda, ya que la capacidad del conductor no es suficiente y puede encontrarse sobrecargado, ocasionando un excesivo calentamiento en el conductor y el detrimento de la vida del aislamiento del cable.

### **3.2. Diseño de la red de tierras**

Según el *Std 142-1991 del greenbook* de la IEEE, establece que: la tierra es (relativamente) infinito en su tamaño en comparación con los sistemas de puesta a tierra tal como los conocemos, también lo es su capacidad para absorber un suministro casi ilimitado de la corriente. En la práctica, esta corriente ilimitada a la tierra se transmite a través de la interface electrodo de metal con el suelo la tierra.

Para el diseño de la red de tierras del molino, se propone utilizar un arreglo con cuatro varillas de cobre interconectadas para formar una malla cerrada. Según el *Std 142-1991 del greenbook* de la IEEE, “indica que colocando electrodos múltiples en paralelo se obtiene una menor resistencia a tierra que un solo electrodo. Sin embargo, cabe mencionar que añadir una segunda barra no proporciona una resistencia total de la mitad de una sola barra, a menos que las dos longitudes de barra sean diferentes”.

Figura 18. Red de tierras molino



Fuente: elaboración propia.

Una regla a utilizar, es que los sistemas de puesta a tierra de dos, a 24 barras colocadas a una longitud de la barra de separación en una línea, triángulo hueco, un círculo o cuadrado proporcionará una resistencia de puesta a tierra dividida por el número de barras que se encuentran colocadas, eso significa que la resistividad es cada vez menor.

Se realizarán perforaciones con una profundidad de 3 (m) con diámetros de 1,5 (m), utilizando varillas de cobre de 3/8" por 8 (fts) de largo. Dichas fosas se rellenarán con productos químicos que se aplican generalmente por su inclusión en una zanja circular alrededor del electrodo, de tal manera que se evita el contacto directo con el electrodo. Si bien los efectos del tratamiento no llegarán a ser evidentes para un considerable período, que puede ser acelerada por saturar el área con agua.

Esto se hace dejando previsto un hilo de agua de la tubería en las ubicaciones de los electrodos. Además, dicho tratamiento no es permanente y debe ser renovado periódicamente, dependiendo de la naturaleza del tratamiento químico y las características del suelo. El tratamiento químico también tiene efectos adversos para la protección contra la corrosión de los electrodos de masa, que debe ser evaluado. El tratamiento químico del suelo es una solución activa para el problema de los suelos de alta resistencia.

Para colocar una puesta a tierra es necesario conocer la resistividad que ofrece el suelo al paso de corriente. Dicha resistencia de los suelos varía con la profundidad de la superficie, el tipo y concentración de productos químicos solubles en el suelo, el contenido de humedad y la temperatura del suelo.

Tabla XLVIII. Resistividad de diversos suelos

Naturaleza del terreno	Resistividad en ohm/m
Terreno pantanoso	30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y acillas compactas	100 a 200
Margas del jurásico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 500
Arena sílice	200 a 3 000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo	1 500 a 3 000
Caliza blanda	100 a 300
Caliza compacta	1 000 a 5 000
Calizas agrietadas	500 a 1 000
Pizarras	50 a 300
Rocas de mica y cuarzo	800
Granito y gres procedentes de alteración	1 500 a 10 000
Granito y gres muy alterados	100 a 600

Fuente: elaboración propia.

Las uniones de estas varillas de cobre deberán unirse por medios mecánicos o físicos, lo que aconseja el Std142-1991 de la IEEE son soldaduras exotérmicas que ayudan a prevenir daños por corrosión y falsos contactos en las uniones de los cables.

Tabla XLIX. Costo de implementación red de tierras

<b>Subestación del molino</b>			
	<b>Descripción</b>	<b>Precio unitario (\$)</b>	<b>TOTAL (\$)</b>
<b>U</b>	<b>Red de tierras</b>		
4	Obra civil para preparar cuatro pozos para red de tierras	130,00	520,00
4	Tratamiento químico mejora condiciones de suelo	70,00	280,00
4	Barrillas de cobre 5/8 pulg X 8 pies	10,00	40,00
6	Soldadura exotérmica	7,00	42,00
12ml	Cable de cobre para red de tierras	35,00	420,00
1	Medición de la resistividad del suelo	100,00	100,00
			<b>\$ 1 402,00</b>

Fuente: elaboración propia.

### 3.3. Cálculo de pararrayos

Un diseño del sistema de pararrayos óptimo tanto técnico como económico es posible si los pasos en el diseño y la construcción de este, son coordinados con el diseño y la estructura a proteger. En el diseño y la clase del pararrayos deberán tenerse en cuenta las restricciones de las instalaciones existentes. La protección externa tiene el propósito de interceptar los impactos del rayo que se dirijan a la estructura, incluyendo aquellos que se impacten a un costado de esta, para conducir de manera segura la corriente del pararrayos, desde el punto de impacto al sistema de tierras.

Existen dos sistemas de protección externos, uno aislado eléctricamente de la estructura y otro unido directamente a la misma. La decisión de qué sistema utilizar, depende de los riesgos térmicos o explosivos en el punto de impacto del rayo y del tipo de elementos almacenados, por lo tanto en un molino, es sumamente importante aterrizar su estructura, también debido a los polvos en suspensión que hay dentro de la infraestructura.

El sistema de protección está compuesto por tres elementos principales:

- Sistema de captación encargado de realizar la intercepción del impacto del rayo.
- Sistema de conductores bajantes, encargado de conducir de manera adecuada y segura, la corriente del rayo al sistema de puesta a tierras.
- Sistema de puesta a tierra, encargado de disipar la corriente del rayo en el terreno.

Los componentes de captación aéreos instalados en una estructura se deben localizar en las esquinas, puntos sobresalientes de la estructura y en los bordes. Se debe tener en cuenta que los dispositivos de interceptación de los rayos deben ser varillas sólidas metálicas o tubulares en forma de bayoneta con una altura por encima de las partes altas de la estructura, no menos de 25 cm.

## Método de las Esfera Rodantes

Con base al concepto de distancia de cebado, se aplica el método de la esfera rodante. Haciendo rodar una esfera, de radio "R", que es el correspondiente a la distancia de cebado que se pretende estudiar, las descargas incidirán en aquellos puntos en que la esfera toca a la estructura o quedan exteriores y a más altura del volumen de la esfera de radio "R". Ya que la distancia de cebado depende de la intensidad de la descarga hay que considerar los casos en que la altura "H" de la estructura es superior o inferior a esta distancia "R".

Cuando  $H > R$ , quedan zonas de la estructura sin proteger, ángulo igual a cero,  $H < R$ , la esfera toca a la superficie formando un ángulo ( $\alpha$ ) de protección, variable, por lo que es importante conocer, no solamente si hay muchos o pocos rayos en la zona, sino el valor de la corriente para la que se adopta la protección.

La IEC le asigna a la distancia de impacto la siguiente ecuación:

$$\text{Radio de la esfera rodante} = 10 \times (I)^{2/3}$$

Donde

I: valor de corriente en (kA)

De la cual se asignan cuatro niveles de protección que aparecen en la siguiente tabla:

Tabla L. **Niveles de protección**

<b>Nivel de protección</b>	<b>Radio de la esfera rodante (m)</b>	<b>Nivel de corriente ( I ) en kA</b>	<b>Probabilidad de que las corrientes de cresta sean mayores a ( I )</b>
Nivel I	20	2,8	99%
Nivel II	30	5,2	97%
Nivel III	45	9,6	91%
Nivel IV	60	14,7	84%

Fuente: elaboración propia.

Valores máximos del radio de la esfera rodante según el nivel de protección. Esto se interpreta de modo que si se aplica el método de las esferas rodantes con relación a los niveles de protección indicados, se puede decir para el Nivel II, el 97% de los valores de cresta probables de las corrientes de retorno de los rayos que impacten sobre la estructura serán superiores a 5,2 kA, por lo que se puede ver que el que mejor se ajusta a las dimensiones del molino cuya altura es de 25 m, corresponde al Nivel I el cual ayudaría a proteger al edificio y a la instalación de las descargas atmosféricas.

Según el diseño y cálculo las características del pararrayos a instalar son las siguientes:

- Nivel de protección I
- Pararrayos tipo franklin
- Radio de protección 30 metros
- Altura de mástil 5 metros
- Dispositivo de cebado
- Avance de cebado de 27 microsegundos

El pararrayos propuesto es del tipo franklin con dispositivo de cebado, el funcionamiento del mismo se basa en el gradiente atmosférico, para la ionización del aire, de manera que permite aumentar la altura del impacto del rayo, lo que incrementa el volumen protegido de la instalación.

## 4. MEJORAS AL SISTEMA ELÉCTRICO DEL MOLINO

### 4.1. Cambio de nivel de voltaje de operación

Dentro del edificio del molino se pudo evidenciar que la mayoría de carga instalada son motores de inducción y que por lo tanto, el nivel de voltaje utilizado repercute mucho en las pérdidas que estos puedan tener y la eficiencia de los mismos.

Dependiendo del voltaje aplicado, puede haber una reducción en el par promedio de la máquina, se producen torques pulsantes por la integración de las corrientes del rotor con los campos magnéticos en el entrehierro y disminuye la eficiencia y la vida útil de las máquinas, además, existen calentamiento excesivo por el aumento en todas sus pérdidas:

- Pérdidas  $I^2R$  en el estator: por el aumento de la corriente de magnetización y por el efecto piel.
- Pérdidas  $I^2R$  en el rotor: por el aumento en la resistencia efectiva del rotor debido el efecto piel.
- Pérdidas de núcleo. Aumentan relativamente poco debido al aumento en las densidades de flujo pico alcanzadas.
- Pérdidas adicionales. Aumentan, pero son extremadamente complejas de cuantificar y varían en cada máquina.

## 4.2. Tableros eléctricos

Los criterios de selección de cada tablero dependerán de la ubicación y el tipo de protección que se desee.

### 4.2.1. Tablero eléctrico principal

En la parte de tableros eléctricos se deberá tener en cuenta la instalación de un tablero principal, para el molino y un tablero de distribución que permitirá tener ramales de forma independientes para cada uno de los servicios instalados. Para esto, se realizará la compra de un tablero *switchboard* con dimensiones de 48,00X24,00X91,5” compuesto de un alimentador principal de 2 500 A, capacidad interruptiva de 65 kA, 3 polos; los ramales de este tablero se utilizarán para alimentar los tableros de control de molienda, limpia, tablero de servicios generales, planta generadora de 375 kvA, tablero de iluminación central, transmisiones de movimiento y tablero de banco de capacitores 125 kvA.

Tabla LI. **Ramales del *switchboard* principal del molino**

<b>Ramales de distribución</b>	<b>Interruptor principal</b>	<b>Calibre de conductor</b>
Molienda	3 X 600	250-350 MCM
Limpia	3 X 400	250-350 MCM
Banco de capacitores	3 X 800	250 MCM
Servicios generales	3 X 350	300 MCM
Transmisiones	3 X 600	250 MCM
Reserva	3 X 400	
Reserva	3 X 200	

Fuente: elaboración propia.

### **4.3. Centro de control de motores**

El uso de los centros de control de motores o MCC responde a la gran tendencia en las instalaciones eléctricas a localizarlos controles de motores en áreas remotas y concentrarlos en un solo gabinete. Los MCC ofrecen la ventaja de integrar dentro de un mismo gabinete los sistemas arrancadores de motores de distintas áreas de una planta así como el sistema de distribución de la misma, al utilizar este equipamiento se reducen los costos, ya que las líneas de alimentación llegan a un solo lugar (MCC) y desde allí salen los cables de alimentación y de control hacia las cargas finales.

Un centro de control de motores es un tablero en el que se alojan en compartimientos individuales, los equipos necesarios para el óptimo arranque y protección de motores eléctricos, en cada compartimiento se puede colocar un sistema de rieles y en las puertas del compartimiento se instalan los elementos de maniobra tales como, pulsadores de marcha, parada, contramarcha, regulación de velocidad, etcétera. Dentro del compartimiento sobre plataformas fijas, semi extraíbles o extraíbles, se instalan los equipos para protección y arranque tales como: interruptores, guarda motores, relés térmicos, contactores, variadores, etcétera.

### **4.4. Protecciones**

A continuación se mencionan las protecciones más utilizadas para un sistema eléctrico convencional.

#### **4.4.1. Protecciones contra sobrecorriente**

Se encuentra como elemento ideal de protección en las instalaciones eléctricas al fusible y su operación consiste en la fusión del elemento fusible cuando la corriente excede determinado valor durante determinado tiempo.

El elemento fusible consiste en un conductor de sección muy pequeña, que debido a su alta resistencia, sufre un calentamiento superior al conductor del circuito protegido debido al paso de la corriente. Para una relación determinada entre la sección del elemento fusible y la del conductor protegido, ocurrirá la fusión del elemento fusible cuando el conductor alcance su temperatura máxima admisible.

El elemento fusible es un hilo o una lámina generalmente de cobre, plata o estaño, colocada en el interior del cuerpo del dispositivo generalmente de porcelana u otro material aislante herméticamente cerrado. La mayoría de los fusibles contienen en su interior, envolviendo el elemento fusible, material granulado extintor del arco (en general es arena de cuarzo).

#### **4.4.2. Protecciones contra sobrevoltaje**

Las sobretensiones transitorias (o de corta duración) en los sistemas eléctricos, han estado presentes desde los inicios del empleo de la energía eléctrica. Sin embargo, es en los últimos años cuando el masivo empleo de la electrónica digital, en todos los ámbitos de la vida, con componentes electrónicos de reducido tamaño, niveles de voltaje de operación bajos y baja capacidad para absorber la energía proveniente de las sobretensiones, que se requiere disponer de un sistema de protección que garantice la integridad de los equipos y su operación.

Las sobretensiones se originan, en la mayoría de los casos, a través de maniobras de conmutación en instalaciones eléctricas y por descarga electrostática.

Para prevenir estas súbitas elevaciones de tensión es necesario proteger los equipos electrónicos, que son los que presentan mayor susceptibilidad, para lo cual se está planteando crear una red de voltaje regulado, la cual permitirá aislar por completo a los equipos o elementos electrónicos que puedan sufrir algún daño, como las básculas electrónicas y las balanzas. Para este proyecto se necesita una red eléctrica dedicada con un regulador de voltaje con las siguientes características:

Tabla LII. **Red de voltaje regulado**

Cantidad	Unidad		
1	U	Tablero de 12 polos GE, con interruptor principal.	\$ 200,00
1	U	Acometida de tablero eléctrico	\$ 350,00
1	U	Regulador de voltaje de 30kVA	\$ 4 000,00
1	U	Canaleta tipo estructural	\$ 2 700,00
1	U	Cabina de control	\$ 1 500,00
1	U	Sistema de A/C	\$ 300,00
1	U	Cableado, entubado y accesorios	\$ 1 000,00
		<b>TOTAL</b>	<b>\$ 10 050,00</b>

Fuente: elaboración propia.

#### **4.4.3. Protección contra transcientes**

El transciente es una perturbación del subciclo en la forma de onda AC que es evidenciado por una discontinuidad abrupta y breve (menor a dos milisegundos típico) de la forma de onda. Sea cualquier polaridad y puede ser sumado o restado a la forma de onda nominal (Ref. IEEE Std. 1100-1992).

Los supresores de transcientes, son limitadores de sobretensión contra altas descargas eléctricas. Están destinados a proteger las instalaciones eléctricas o equipo electrónico de alta sensibilidad, tal es el caso de las básculas, que cuentan con electrónica muy sensible a las descargas de alto voltaje. Estos dispositivos se conectan inmediatamente después del interruptor general de la instalación, para proteger toda la integridad de la carga que se encuentre en ese circuito.

El limitador debe ser conectado a borne de tierra del tablero eléctrico conforme a la norma NF C 61 - 740. Estos limitadores están provistos de una protección térmica integrada y están constituidos de un soporte y de un módulo de recambio enchufable con indicador de señalización mecánica.

- Indicador verde: limitador en funcionamiento
- Indicador rojo: módulo de recambio a reemplazar

La selección de uso de estos equipos para la adecuada protección de las cargas críticas, está descrita en la norma ANSI/IEEE C62.41. Por su naturaleza, los elementos componentes de un supresor de transientes son de alta impedancia y quedan finalmente conectados en paralelo a la carga a proteger, por lo que la corriente de esta como la capacidad en potencia del tablero protegido no tienen relación directa con la selección del equipo en cuestión, la que en realidad depende de la actividad transitoria existente y de la ubicación del tablero a proteger dentro del sistema eléctrico existente.

La ANSI/IEEE C62.41 define entonces tres categorías de la toma eléctrica a proteger y tres niveles de exposición a fenómenos transitorios por cada una de ellas. La categoría "C" es el servicio eléctrico de entrada a la instalación eléctrica, la categoría "B" son los tableros de distribución secundarios y la categoría "A" son los tomacorriente de los cuales se alimentan directamente las cargas.

#### **4.4.4. Factor de potencia**

La Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) en sus normas Normas Técnicas de Servicio y Distribución (NTSD) establece, que en ningún caso el factor de potencia del usuario debe ser menor al 90% ( $F_p=0,90$ ); los resultados obtenidos de las mediciones muestran que durante los períodos de las mediciones más del 80% del tiempo la carga se encuentra operando dentro del rango establecido, hay que tomar en cuenta que la mayoría de la carga dentro del edificio es del tipo inductivo y por lo tanto, existen oportunidades de mejora que contribuirán a una mejor eficiencia energética dentro de la planta.

El procedimiento más sencillo y, en consecuencia, el más utilizado consiste en la colocación de condensadores que aportan la energía reactiva que precisan los receptores de la instalación; de este modo se consigue disminuir o incluso anular técnicamente (compensar) la energía reactiva demandada de la red de alimentación y, por tanto, mejorar el factor de potencia.

En la utilización de capacitores para compensar la energía reactiva de una determinada instalación, participan tanto los aspectos técnicos como los económicos, siendo posibles distintas alternativas que, aún satisfaciendo el objetivo inicial de mejora del factor de potencia, conducen a costos de inversión muy diferentes. Los sistemas de instalación de condensadores son:

- Compensación individual

Cada receptor está provisto de su propia batería de condensadores, de manera que por las líneas y circuitos de alimentación del receptor circula una intensidad menor, reduciéndose también las pérdidas; los costos de instalación y mantenimiento son normalmente los más elevados. En este grupo se deberá hacer un estudio eléctrico en la eficiencia de los motores eléctrico que superan los 10 HP, ya que estos representan una gran oportunidad de mejora.

- Compensación por grupo

Se instala una batería de condensadores por cada grupo de receptores elegido de acuerdo con un criterio determinado (por ejemplo, agrupación de receptores por líneas de montaje); este sistema descarga las líneas de alimentación a los grupos, pero no los circuitos terminales hacia cada receptor, aunque supone una solución más eficaz que la anterior, fundamentalmente en grandes instalaciones.

- Compensación central

Únicamente existe una batería de condensadores en el inicio de la instalación interior; proporciona el menor coste de instalación y, si bien las líneas y circuitos permanecen en las mismas condiciones de carga que antes de la compensación, se emplea mayoritariamente en instalaciones de mediana y pequeña dimensión, cuando el objetivo prioritario es únicamente reducir los costos por la eficiencia de las máquinas.

Desde el punto de vista económico, la compensación de energía reactiva debería establecerse en términos de costo total mínimo, en cuyo cálculo se evalúa la contribución de los siguientes factores:

- Costos de inversión, es decir, el costo de la batería de condensadores (o las distintas baterías, en su caso) y de su sistema de regulación, teniendo en cuenta que el precio aumenta con la potencia de la batería; así mismo, se deben considerar los costos de la instalación.
- Costos por eficiencia, fundamentalmente el costo de la energía reactiva y activa, al reducirse las pérdidas por efecto joule y el costo de mantenimiento; realmente se puede cuantificar el mejor aprovechamiento de la instalación (centro de transformación, líneas de alimentación, etcétera).

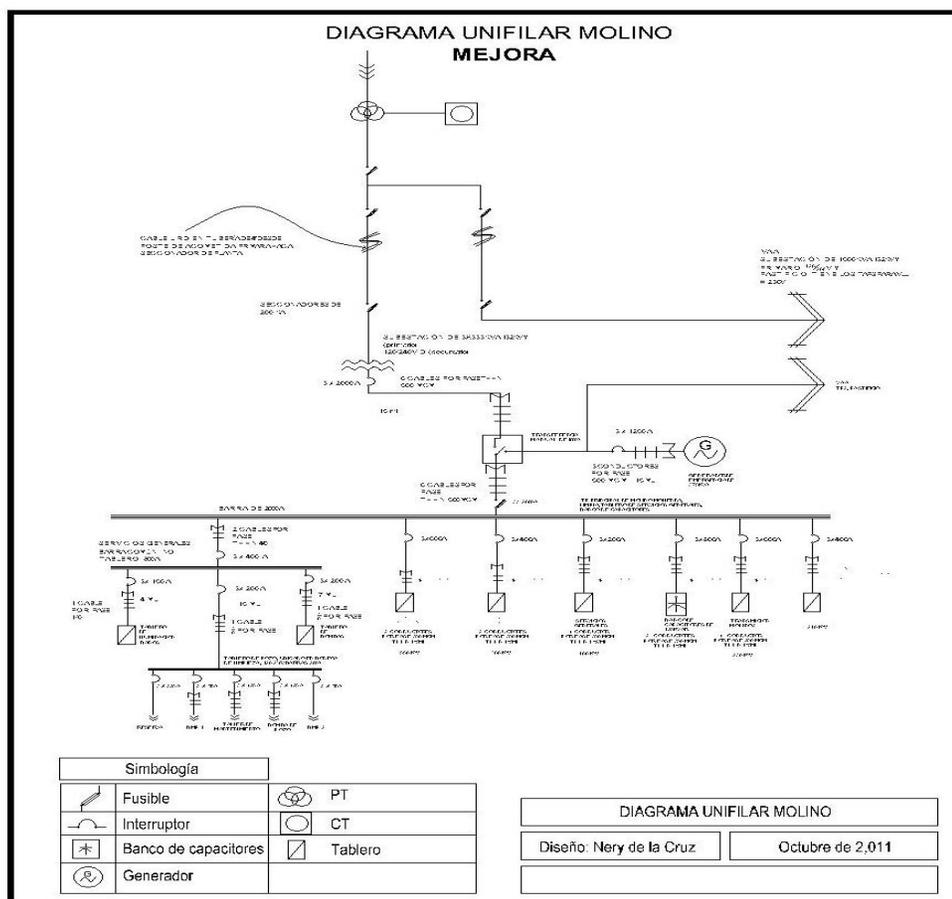
Para realizar las mejoras en compensación del factor de potencia se realizará de forma central, ya que actualmente se cuenta con un banco de capacitores de 125 kVA, los cuales funcionan de forma automática, según lo visto en las gráficas obtenidas de las mediciones se puede observar, hay intervalos de tiempo, los cuales la carga aumenta y por lo tanto, la corriente aumenta.

Para corregir esta variación en el factor de potencia, es necesario aumentar el banco de capacitores actual de 125 a 200 kvA, lo cual permitirá mantener el factor de potencia en 0,96.

#### 4.4.5. Mejora de diagrama eléctrico

Planteamiento del nuevo diagrama unifilar con las mejoras sugeridas para su implementación.

Figura XIX. Diagrama unifilar mejorado



Fuente: elaboración propia.

## **5. PROTECCIONES ESPECIALIZADAS EN AMBIENTES EXPLOSIVOS**

### **5.1. Protección contra carga estática**

El fenómeno de la electricidad estática puede ser fuente de ignición cuando se manifiesta en presencia de atmósferas explosivas de gases, vapores y nieblas inflamables o de polvos combustibles, pudiendo dar lugar a incendios y explosiones. La carga electrostática generada por contacto y roce de partículas con superficies de diferentes materiales es un fenómeno frecuente en los procesos con polvos. Ocurre si la resistividad volumétrica del polvo es superior a unos  $10^8 \Omega \cdot m$ , valor que es sobrepasado por la mayoría de sustancias orgánicas.

En la siguiente tabla se presentan valores, para diferentes operaciones, de densidad de carga por unidad de masa en C/kg, adquirida por polvos de resistividad media ( $10^6$  a  $10^{10} \Omega \cdot m$ ), rango donde se encuentran la mayoría de polvos orgánicos naturales. Este parámetro es importante al considerar el nivel de acumulación de carga en polvos.

Tabla LIII. **Densidad de carga másica en operaciones con polvos**

<b>Operación</b>	<b>Densidad de carga másica o carga específica (C/kg)</b>
Tamizado	$10^{-9}$ a $10^{-11}$
Llenado	$10^{-97}$ a $10^{-9}$
Alimentación por tornillo helicoidal	$10^{-6}$ a $10^{-8}$
Trituración, molienda	$10^{-6}$ a $10^{-7}$
Micronizado	$10^{-4}$ a $10^{-7}$
Transporte neumático	$10^{-3}$ a $10^{-7}$

Fuente: elaboración propia.

En algunos procesos no es posible asegurar la no existencia simultánea de atmósfera explosiva y una acumulación peligrosa de carga electrostática, tal es el caso de la harina en cuyo caso se deberían adoptar las medidas clásicas de prevención y protección de explosiones: inertización, equipos resistentes a explosiones, paneles de venteo o supresores de explosiones. Las medidas que se pueden aplicar para evitar las descargas electrostáticas incluyen las siguientes:

- Conductores con puesta a tierra y conexión equipotencial

Sirve para evitar las descargas en chispa entre elementos conductores que pueden acumular carga si quedan aislados. Entre tales elementos, se encuentran los componentes metálicos, los productos de baja resistividad y las personas. Una resistencia a tierra inferior a 1 MΩ sería suficiente para disipar las cargas, pero una circunstancia adversa (p.e. una capa de pintura o suciedad) podría aumentarla y perder efectividad. Por eso se puede recomendar una resistencia máxima a tierra de 10 Ω realizada a través de elementos estructurales cercanos que estén anclados en el suelo.

De esta forma, al mismo tiempo se obtiene una puesta a tierra independiente de la toma de tierra general del edificio para evitar posibles corrientes accidentales de retorno.

- Control de la acumulación de carga electrostática adquirida por el polvo

A diferencia de los líquidos, este control es raramente posible en polvos. La velocidad de transporte neumático normalmente no se puede limitar por razones técnicas. Se puede recurrir a un flujo de alta densidad que no genera tanta carga electrostática como uno con baja densidad (mucho aire y poco polvo)

- Ionización

Se realiza mediante unos dispositivos que aportan iones al aire próximo, parte de los cuales se dirigen a y neutralizan las cargas de signo contrario acumuladas sobre materiales sólidos no conductores. La neutralización de cargas por ionización se realiza por descarga en corona desde conductores puntiagudos o mediante la utilización de fuentes radiactivas. Este método se utiliza poco por la dificultad de aplicación a volúmenes grandes, con nubes de polvo o con polvo depositado.

- Aditivos conductores y antiestáticos

Se pueden utilizar como ingredientes en la formulación de plásticos, consiguiendo resistencias superficiales entre  $10^3$  y  $10^4 \Omega$  con los primeros (negro de carbón, grafito), y  $10^8 \Omega$  con los segundos (ésteres de ácidos grasos, estearato de glicerol). Sin embargo, dichos aditivos no se añaden normalmente cuando se manipulan en forma de gránulos.

Algunos aditivos también son aptos para la industria alimentaria si cumplen ciertos requisitos exigidos en normativas.

Dentro del molino se cuenta con protecciones de puesta a tierra de las estructuras metálicas, así como la tubería de transporte de harina y subproductos del molino. En cuanto a equipo, se cuentan con lámparas a prueba de explosión en área de silos de reposo por los vapores que emana el trigo y sobre los silos de harina.

### **5.1.1. Protecciones contra explosiones**

Las explosiones se originan por una reacción química espontánea entre una sustancia inflamable y el oxígeno provoca una explosión con gran liberación de energía. Las sustancias inflamables pueden estar presentes en forma de gas, niebla, vapor o polvo. Una explosión sólo puede desarrollarse si confluyen tres factores:

- Sustancia inflamable (con la distribución y concentración adecuadas)
- Oxígeno (en el aire)
- Fuente de ignición (chispas eléctricas)

En ambientes industriales, por ejemplo, en plantas químicas o en molinos de cereales, los sólidos se presentan con frecuencia en forma de polvo. El concepto "polvo" se define en la norma DIN EN 50281-1-2 como "pequeñas partículas en la atmósfera que se depositan debido a su propio peso, pero que permanecen durante un cierto tiempo en la atmósfera en forma de mezcla polvo/aire". Las atmósferas explosivas se clasifican en zonas, la clasificación en zonas depende de la probabilidad temporal y espacial de que aparezca una atmósfera explosiva peligrosa.

Este estudio se enfoca directamente en atmósferas donde intervienen polvos, ya que es esta la que se encuentra en el molino. Las atmósferas explosivas se denominan en Norteamérica "*hazardous (classified) locations*", especificándose en los EEUU en los apartados 500 y 505 del *National Electrical Code (NEC)* y en Canadá en el apartado 18 y en el anexo J del *Canadian Electrical Code (CEC)*. Comprenden zonas en las cuales pueden aparecer, en cantidades peligrosas, gases, vapores o nieblas (*Class I*), polvos (*Class II*) o fibras y pelusas (*Class III*).

Atendiendo a la frecuencia o duración de aparición de estas sustancias, las zonas con riesgo de explosión se clasifican tradicionalmente en División uno y División dos. Para la (*Class I*) se introdujo en 1996 en los EE UU también el sistema de clasificación según IEC, complementando al sistema existente. Este cambio se legalizó en el Artículo 505 del NEC. Esto abre al usuario la posibilidad de decidirse por el sistema que más le convenga en los aspectos técnico y económico. En Canadá también se ha introducido para (*Class I*) el esquema de zonas de la IEC (CEC, edición de 1988). Por ello todas las instalaciones de nueva construcción deberán clasificarse allí de acuerdo con dicho esquema.

En el sistema de clasificación tradicional en Norteamérica los gases, vapores y nieblas de la (Clase I) se clasifican en los grupos de gas (Grupos) A, B, C y D y los polvos inflamables de la (Clase II) en los grupos E, F y G. En este caso la letra A identifica el grupo más peligroso, mientras que según IEC y la nueva clasificación según el Artículo 505, C es el grupo de gas más peligroso.

La especificación de la máxima temperatura superficial, según el Artículo 505 del NEC se realiza, de acuerdo con la IEC, en seis clases de temperatura, T1 a T6, con una subdivisión adicional en clases de temperatura conforme al sistema de divisiones.

Tabla LIV. **Clasificaciones según NEC y CEC**

Gases, vapores o niebla clasificación clase I		Polvos clasificación clase II	Polvos clasificación clase III
NEC 500-5 CEC J18-004	NEC 505-7 CEC 18-006	NEC 500-6 CEC 18-008	NEC 500-7 CEC 18-010
División 1 Área en la que pueda estar de forma permanente u ocasional concentración peligrosa de gases, vapores o nieblas en condiciones normales de funcionamiento.	Zona 0  Áreas en la que puede estar presente de forma permanente o en largo período concentraciones peligrosas de gases, vapores o nieblas inflamables en condiciones normales de funcionamiento.	División 1  Área en la que pueda estar presente de una forma permanente u ocasionalmente concentraciones peligrosas de polvo inflamables bajo condiciones normales de funcionamiento.	División 1  Área en la que pueda estar presente de una forma permanente u ocasionalmente concentraciones peligrosas de fibras y pelusas inflamables bajo condiciones normales de funcionamiento.
	Zona 1 Áreas en la que puede estar presente de forma ocasional concentraciones peligrosas de gases, vapores o nieblas inflamables bajo condiciones normales de funcionamiento.		
División 2 Área en la que no están presentes previsiblemente concentraciones peligrosas de gases, vapores o nieblas inflamables bajo condiciones normales de funcionamiento.	Zona 2  Área en la que no están presentes previsiblemente concentraciones peligrosas de gases, vapores o nieblas inflamables bajo condiciones normales de funcionamiento.	División 2  Área en la que no están presentes previsiblemente concentraciones peligrosas de polvos inflamables bajo condiciones normales de funcionamiento.	División 2  Área en la que no están presentes previsiblemente concentraciones peligrosas de fibras y pelusas inflamables bajo condiciones normales de funcionamiento.

Fuente: elaboración propia.

Tabla LV. Especificaciones de máxima temperatura superficial

Clase I grupos		Clase II grupos	Clase III
NEC 500-3 CEC J18-050 División 1 y 2	NEC 505-7 CEC J18-050 Zona 0, 1 y 2	NEC 500-3 CECJ18-050 División 1 y 2	División 1 y 2
A (acetileno) B (hidrógeno) C (etileno) D (propano)	IIC (acetileno + hidrógeno)  IIB (etileno) IIA (propano)	E (metal) F (carbón) G (cereal)	ninguno
<b>Clase I</b> <b>clases de temperatura</b> <b>división 1 y 2</b>	<b>Zona 0, 1 y 2</b>	<b>Clase II</b> <b>Clases de temperatura</b> <b>división 1 y 2</b>	<b>Clase III</b> <b>clases de</b> <b>temperatura</b> <b>división 1 y 2</b>
T1 (≤450 °C) T2 (≤300 °C) T2A (≤280 °C) T2B (≤260 °C) T2C (≤230 °C) T2D (≤215 °C) T3 (≤200 °C) T3A (≤180 °C) T3B (≤165 °C) T3C (≤160 °C) T4 (≤135 °C) T4A (≤120 °C) T5 (≤100 °C) T6 (≤85 °C)	T1 T2 - T3 - T4 - T5 T6	T1 T2 T2A, T2B, T2C, T2D T3 T3A, T3B, T3C T4 T4A T5 T6	ninguno

Fuente: elaboración propia.

Según lo observado para la instalación del molino, esta se encuentra catalogada como una categoría clase II (Área en las que pueda estar presente de una forma permanente u ocasionalmente concentraciones peligrosas de polvo inflamables bajo condiciones normales de funcionamiento) para la cual el principal riesgo se encuentra en las partículas por suspensión como lo son polvo y harina.

Para esto se necesita determinar los lugares en donde existe el mayor riesgo de encontrar estas circunstancias, las cuales son:

- Elevadores de trigo
- Silos de acondicionamiento de trigo
- Silos de harina
  
- Elevadores de trigo: colocar protecciones para el deslizamiento de la polea motriz del elevador, ya que esta al quedarse sin tracción queda patinando, dando lugar a fricción y por lo tanto a calentamiento, este tipo de sensor debe montarse en una posición a 90°, así también sensores de alineación de bandas, ya que estos indican el corrimiento de la banda y no permiten que genere fricción contra la carcasa del elevador. También es necesario cambiar el uso de cangilones metálicos a plásticos ya que los metálicos pueden ocasionar alguna chispa y provocar una explosión.
  
- Filtros de mangas: es necesario colocar un filtro de aspiración para el polvo que se libera en el trasiego del trigo a los silos de almacenamiento, ya que el volumen es bastante y puede servir de medio para una posible ignición.

## **6. PLAN DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

Se ha demostrado que existe un equilibrio con la cantidad de beneficios económicos que se obtiene al realizar el mantenimiento eléctrico de cualquier instalación. La falta de mantenimiento eventualmente se traduce en fracasos y un alto costo para la planta. Del mismo modo, una cantidad extrema de mantenimiento es un desperdicio y los resultados también en un alto costo para la planta.

- Consideraciones de diseño

Los mejores programas de mantenimiento preventivo comienzan durante el diseño de la instalación. Una consideración clave en el diseño con el fin de apoyar el mantenimiento preventivo es dar cabida a las interrupciones, esto significa incluir circuitos redundantes, fuentes alternativas de energía. Se debe dar la accesibilidad de los equipos eléctricos para mantenimiento.

La ubicación de circuitos de interrupción puede ser crítica para el proceso de mantenimiento. El entorno en el que esté instalado el equipo tiene un papel importante en el mantenimiento, por ejemplo, si el equipo está montado (interior o exterior) y si es cerrado correctamente y protegidos del polvo, la humedad y la contaminación química son factores que influyen en la frecuencia con que las tareas de mantenimiento se deben realizar.

Los planos de diseño son muy importantes para un programa de mantenimiento eficaz, los planos de construcción deben mantenerse al día. Un esquema unifilares crucial para el funcionamiento eficaz y seguro del equipo, esto ayuda al operador a entender las consecuencias de cambiar de un circuito que puede interrumpir la energía en un modo no deseado o no planificado.

Como parte de la adquisición de los equipos eléctricos, se deben considerar las herramientas e instrumentos que se requieran para realizar el mantenimiento de los mismos, estas herramientas permiten ayudar y garantizar la seguridad y la productividad. Por último, la instalación, operación y manuales de mantenimiento debe ser recopiladas y archivadas para su futura consulta.

- Creación del programa de mantenimiento eléctrico preventivo

El aspecto financiero debe ser considerado al evaluar la continua necesidad del servicio eléctrico, lo cual ayudará a evaluar el nivel de importancia que una instalación debe tener para la elaboración de un programa de mantenimiento preventivo, así mismo, es necesario evaluar el costo de la inactividad o la pérdida de producción y la forma en que pueden ser minimizados a través de un mantenimiento eficaz.

Un estudio completo de la planta debe ser realizado, este debe incluir una lista de todos los equipos y sistemas eléctricos. El equipo deberá estar listo en forma prioritaria con el fin de distinguir a los sistemas o equipos que son más críticos para la operación. El estudio también debería incluir los planos, manuales, registros de mantenimiento, seguridad y procedimientos de operación, capacitación y otros registros apropiados.

Esto incluye no solo los dibujos de las instalaciones, sino también toda la documentación que normalmente es proporcionado por el fabricante de los equipos. Los manuales deben incluirlos procedimientos recomendados de mantenimiento sugeridos por el fabricante, diagramas de cableado, listas de materiales, instrucciones de montaje y funcionamiento, y las recomendaciones para solucionar problemas.

Se deben desarrollar procedimientos que integren los equipos a un sistema de información o base de datos, las personas que pueden realizarlos procedimientos deben ser seleccionadas y capacitada en diversos aspectos técnico, puede ser conveniente para la empresa utilizar a empresas externas, en particular, para realizar aquellas funciones que requieren un equipo especial de prueba para llevar a cabo.

El mantenimiento preventivo también deberá incluir la logística de los materiales para la realización de los mantenimientos a los equipos, como procedimientos de seguridad, procedimientos ante emergencia, así mismo, debe llevarse registros de los mantenimientos realizados y el seguimiento a los mismos incluyendo equipos que necesiten mantenimientos por algún ente externo a la planta como lo son los servicios subcontratados.

- Almacenamiento de registros

Cada intervalo de mantenimiento debe ser documentado por una lista de los equipos qué están siendo reparado y los procedimientos de mantenimiento que se están aplicando. Las hojas de datos que registren los resultados de todas las pruebas deben ser completadas. Estos datos deben ser analizados por la gestión del mantenimiento con el fin de ayudar a determinar el estado de los equipos y determinarlas reparaciones necesarias.

Las reparaciones pueden ser categorizadas por su naturaleza crítica, como por ejemplo, si las reparaciones se deben hacer inmediatamente antes de volver al servicio o si se pueden programar para una fecha futura. Los resultados de los registros de mantenimiento y el análisis de los datos debe llevarla gestión hacia el aumento o la disminución de la frecuencia de mantenimiento, o hacia la determinación de qué frecuencia y los procedimientos son adecuados.

- Inspecciones y pruebas

La condición de los equipos eléctricos en general, es afectada por la atmósfera, las condiciones bajo las cuales se opera el equipo y el mantenimiento. Agua, polvo, temperatura, humedad, gases corrosivos, vibraciones y otros factores ambientales pueden afectar negativamente a los equipos eléctricos. La vida del equipo eléctrico se puede ampliar dramáticamente por las precauciones simples que promueven la limpieza, la sequedad, tirantez y la prevención de la fricción.

Los procedimientos de mantenimiento se pueden clasificar en tres niveles diferentes:

- Nivel general de inspección y mantenimiento de rutina
- Inspección nivel general, ensayos y mantenimiento preventivo
- Inspección, pruebas específicas y el mantenimiento predictivo

Las pruebas realizadas a los equipos deben ser:

- Pruebas de aislamiento
- Las pruebas de los dispositivos de protección
- Las pruebas analíticas, por ejemplo, el análisis en función del tiempo, el análisis de gases disueltos e infrarrojo
- Las pruebas de puesta a tierra
- Las pruebas de funcionalidad
- Análisis de fallas

Cuando el equipo falla, es importante entenderla razón, análisis de fallas, cuando se hace correctamente, ubica el origen de la falla. Así mismo, es necesario establecer un registro de las fallas que ocurran en las instalaciones, ya que estas ayudan a prevenir futuros accidentes.

- Inspecciones y frecuencias de prueba

El equipo que se encuentra dentro de un servicio crítico en general, recibirá la atención de mantenimiento con mayor frecuencia que otros equipos. Los manuales de servicio del fabricante deben ser consultados en la determinación de una frecuencia adecuada. En general, otorgan las frecuencias que se basan en una norma, o media, o las condiciones de operación.

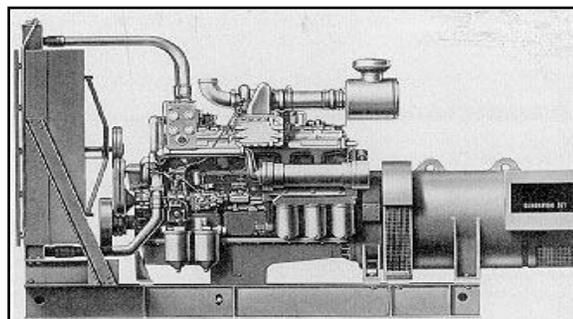
## 6.1. Planta de emergencia

El edificio del molino cuenta con una planta generadora la cual se encuentra conectada a una transferencia mecánica, este tipo de arreglo puede funcionar de dos formas muy diferentes las cuales pueden ser:

- Como una fuente de alimentación eléctrica separada, que opera de forma independiente a la fuente de energía principal, operando en paralelo, que mantiene la potencia en las cargas críticas en caso de que la principal llegara a fallar.
- Como una fuente de alimentación y disponibilidad para las cargas críticas, las cuales son rápidamente intercambiadas de forma automática si la principal fuente de energía falla.

La planta de emergencia es un motor generador a base de combustible diésel, los motores diésel son algo más costosos, pero son resistentes y confiables, además, el peligro de incendio y explosión es considerablemente inferior al de los motores de gasolina.

Figura 20. **Motogenerador diésel**



Fuente: IEEE Std 446- 1995, capítulo 5, p. 92.

La forma en la que opera la planta de emergencia es como una fuente de alimentación eléctrica separada, que trabaja de forma independiente a la fuente de energía principal, funcionando en paralelo, que mantiene la potencia en las cargas críticas en caso de que la principal llegara a fallar. El control de este intercambio se realiza por medio de una transferencia mecánica, la cual no se realiza de forma inmediata y demora mucho tiempo. Por lo se plantea la automatización de dicha transferencia, así como la instalación de un cargador de baterías automático.

### **6.1.1. Mejoras en planta de emergencias**

- Transferencia automática

Con el fin de que el generador sea accionado por el motor para proporcionar energía de emergencia automática, el sistema también debe incluirlos controles automáticos de arranque del motor, cargador de batería automático y un dispositivo de transferencia automática. El suministro de energía de la red se controla de forma continua y el arranque del motor se inicia automáticamente una vez que se produce un fallo o una reducción severa de tensión o frecuencia en el suministro normal.

La cargase transfiere automáticamente tan pronto como el generador de emergencia se estabiliza a la tensión nominal y la velocidad. En la restauración del suministro normal, el dispositivo de transferencia automática retransfiere la carga e inicia el apagado del motor.

## Datos técnicos de transferencia eléctrica

La sección de derivación es un interruptor que cuenta con una palanca de transferencia de carga manual de apertura rápida/cierre rápido y un sistema de control/interbloqueo que consta de interbloqueos mecánicos y eléctricos. El interruptor de derivación está equipado con detección de falla normal y un tiempo de retardo para poner en marcha el motor automáticamente si el controlador automático ha sido puesto fuera de servicio.

Los módulos están montados en un gabinete compacto y completamente interconectados; además requieren solo las conexiones de fuente 1 (normal), fuente 2 (emergencia) y de cable de carga. Una vez instalado, no es necesario retirar ningún cable para aislar el módulo del interruptor de transferencia para mantenimiento e inspección. El interruptor de transferencia automática puede extraerse para pruebas o mantenimiento sin afectar la carga.

El módulo del interruptor de transferencia tiene tres posiciones:

- Automático/conectado: el interruptor de transferencia está transportando la carga y el interruptor de derivación está en la posición abierta. Esta es la posición de funcionamiento normal
- Prueba: el interruptor de derivación está cerrado y alimentando a la carga. El interruptor de transferencia tiene energía de control y puede operarse con fines de prueba a través del interruptor de prueba en la puerta del gabinete. La carga no se ve afectada durante la prueba
- Aislamiento: el interruptor de transferencia deja de recibir energía y está listo para mantenimiento. El interruptor de derivación sirve a la carga.

- Cargador de baterías: es necesario instalar un cargador de baterías automático, para mantener la carga en caso de que el generador no se encuentre funcionando, se ha evidenciado que la causa más frecuente de la falla de los sistemas alternos de generación ante emergencia es la falta de carga en las baterías.



## 7. COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN AL SISTEMA ELÉCTRICO

En las siguientes tablas se muestra el detalle de la cantidad de materiales a utilizar para llevar a cabo la implementación de las modificaciones del sistema eléctrico planteadas en los diferentes niveles del edificio, así mismo, se muestra el costo unitario de cada uno de los materiales, así como el total parcial por cada nivel.

Tabla LVI. **Implementación de mejoras por nivel**

Unidades	Cantidad	Cargas primer nivel			
		Ubicación	Descripción	Precio unitario (\$)	TOTAL (\$)
M	4	Impactor de trigo	Cableado de conductor eléctrico No. 12 THHN	9,00	36,00
M	5	Impactor de harina 1	Cableado de conductor eléctrico No. 10 THHN	10,00	50,00
M	6	Impactor de harina 2	Cableado de conductor eléctrico No. 10 THHN	10,00	60,00
M	5	Impactor de harina 3	Cableado de conductor eléctrico No. 10 THHN	10,00	50,00
M	13	Molino de martillos de punta fina	Cableado de conductor eléctrico No. 6 THHN	14,00	182,00
M	19	Rosca de descarga de silos de trigo	Cableado de conductor eléctrico No. 8 THHN	12,00	228,00
				<b>TOTAL</b>	\$606,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla LVII. Implementación de mejoras por nivel

Unidades	Cantidad	Cargas segundo nivel			
		Ubicación	Descripción	Precio unitario (\$)	TOTAL (\$)
M	20	Clasificador de atasques	Cableado de conductor eléctrico No. 6 THHN	14,00	280,000
M	12	Esclusa de descarga de sémola	Cableado de conductor eléctrico No. 8 THHN	12,00	144,00
M	21	Mezclador de silos	Cableado de conductor eléctrico No. 6 THHN	14,00	294,00
M	12	Transmisión 1	Cableado de conductor eléctrico No. 350 THHN	36,00	432,00
				<b>TOTAL</b>	\$1 150,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla LVIII. Implementación de mejoras por nivel

Unidades	Cantidad	Cargas tercer nivel			
		Ubicación	Descripción	Precio unitario (\$)	TOTAL (\$)
M	18	Dosificador de vitamina para corazón de trigo	Cableado de conductor eléctrico No.10 THHN	10,00	180,00
M	17	Rosca transportadora	Cableado de conductor eléctrico No. 8 THHN	12,00	204,00
M	17	Rosca transportadora	Cableado de conductor eléctrico No. 6 THHN	14,00	238,00
M	18	Rosca de harina	Cableado de conductor eléctrico No. 6 THHN	14,00	252,00
				<b>TOTAL</b>	\$874,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla LVIX. **Implementación de mejoras por nivel**

Unidades	Cantidad	Cargas cuarto nivel			
		Ubicación	Descripción	Precio unitario (\$)	TOTAL (\$)
M	31	Esclusa de filtro de harina	Cableado de conductor eléctrico No.8 THHN	12,00	372,00
M	34	Esclusa de la punta fina	Cableado de conductor eléctrico No.8 THHN	12,00	408,00
M	16	Rosca harinera 1	Cableado de conductor eléctrico No.6 THHN	14,00	224,00
M	20	Rosca harinera 2	Cableado de conductor eléctrico No. 6 THHN	14,00	280,00
M	25	Sasor 2	Cableado de conductor eléctrico No. 8 THHN	12,00	300,00
M	27	Sasor 3	Cableado de conductor eléctrico No. 8 THHN	12,00	324,00
M	29	Sasor 4	Cableado de conductor eléctrico No. 8 THHN	12,00	348,00
M	31	Sasor 5	Cableado de conductor eléctrico No. 8 THHN	12,00	372,00
M	33	Sasor 6	Cableado de conductor eléctrico No. 8 THHN	12,00	396,00
M	33	Sasor 7	Cableado de conductor eléctrico No. 8 THHN	12,00	396,00
M	33	Sasor 8	Cableado de conductor eléctrico No. 8 THHN	12,00	396,00
<b>TOTAL</b>					<b>\$3 816,00</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla LX. **Implementación de mejoras por nivel**

Unidades	Cantidad	Cargas quinto nivel			
		Ubicación	Descripción	Precio unitario (\$)	TOTAL (\$)
M	24	Elevador de sémola sur	Cableado de conductor eléctrico No.8 THHN	12,00	288,00
M	15	Rosca de nebulizador	Cableado de conductor eléctrico No.8 THHN	12,00	180,00
M	23	Elevador lado norte	Cableado de conductor eléctrico No.8 THHN	12,00	276,00
<b>TOTAL</b>					<b>744,00</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXI. Implementación de mejoras por nivel

Unidades	Cantidad	Cargas sexto nivel			
		Ubicación	Descripción	Precio unitario (\$)	TOTAL (\$)
M	15	Aspiración principal	Cableado de 2 conductor eléctrico No. 2/0 THHN por fase	30,00	450,00
M	9	Banco de fideo molido A	Cableado de conductor eléctrico No.6 THHN	14,00	126,00
M	10	Banco de fideo molido B	Cableado de conductor eléctrico No.6 THHN	14,00	140,00
M	17	Aspiración de reproceso	Cableado de conductor eléctrico No.4 THHN	17,00	289,00
			<b>TOTAL</b>		1 005,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXII. Implementación de mejoras subestación eléctrica

Subestación del molino				
Unidades	Cantidad	Descripción	Precio unitario (\$)	TOTAL (\$)
		Red de tierras		
U	4	Obra civil para preparar cuatro pozos para red de tierras	130,00	520,00
U	4	Tratamiento químico mejora condiciones de suelo	70,00	280,00
U	4	Varillas de cobre 5/8 pulgada x 8 pies	10,00	40,00
U	6	Soldadura exotérmica	7,00	42,00
m	12	Cable de cobre para red de tierras	35,00	420,00
U	1	Medición de la resistividad del suelo	100,00	100,00
1	1	Pararrayos con dispositivo de cebado	400,00	400,00
		<b>TOTAL</b>		\$ 1 802,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXIII. Implementación de mejoras subestación eléctrica

		<b>Instalación de tablero principal de molino y ramales de distribución</b>	<b>Precio unitario (\$)</b>	<b>TOTAL (\$)</b>
U	1	Compra de tablero principal	9500	9500
U	1	Compra de tablero de distribución	10 000	10 000
U	1	Montaje de tableros y anclajes	700	700
U	3	Eliminar entradas subterráneas para tableros	500	1500
m	13	Instalación de canaleta tipo bandeja con soportería de riel unistrut.	70,00	910,00
U	1	Cableado de alimentador a interruptor principal	100,00	100,00
U	1	Cableado salida de interruptor principal a tablero de distribución.	50,00	50,00
U	5	Cableado de interruptores de distribución a tableros principales: molienda, limpia, servicios auxiliares, generador, banco de capacitores.	300,00	1 500,00
m	75	Suministro de cableado eléctrico tipo THHN, terminales y accesorios. Varias medidas.	70,00	5 250,00
			<b>TOTAL</b>	29 510,00

Fuente: elaboración propia.

El costo total de los materiales a utilizar haciende a la cantidad de \$ 39 507,00, adicionando un costo de mano de obra que se tomará como un 30% del valor de los materiales, el cual corresponde a \$ 11 852,10. Por lo tanto, el costo de la implementación y mano de obra tiene un valor final de \$ 51 359,10 dólares.

Es importante señalar que la implementación del proyecto será de beneficio para el correcto funcionamiento y operación del sistema eléctrico del molino, aumentando la vida útil de sus componentes eléctricos y permitiendo reducir al máximo el tiempo perdido a causa de fallas eléctricas dentro de la red eléctrica de la instalación.

Según datos del molino se tiene que durante un mes promedio de 26 días calendario, el molino tiene tiempos perdidos de aproximadamente 5 horas por causa de fallos en el sistema eléctrico general, dejando de producir aproximadamente 150 qq de harina por hora, para un total de 1 050 qq, a un costo del quintal de harina de \$ 35,00, esto da como resultado \$ 26 250,00 dólares al mes.

Con la implementación de estas mejoras se estará teniendo un ahorro del 3% al 5%, lo cual representa un ahorro mensual de \$ 4 700,00 en la factura del mes, además, a esto se debe agregar los costos de oportunidad por la producción de harina que suman un total de \$ 26 250,00 para un total de \$ 30 950,00 esto significa que la tasa interna de retorno del proyecto se paga en un período de dos meses.

## CONCLUSIONES

1. Se pudo evidenciar que los elementos eléctricos utilizados para la red eléctrica del molino fueron determinados de forma empírica, no se realizaron cálculos de diseño, ni se tomaron en cuenta criterios como factores de utilización, caídas por tensión a causa de distancia y tampoco el ambiente explosivo en la instalación.
2. La distorsión armónica en el edificio se encuentra a intervalos de tiempo fuera del límite de tolerancia establecido por las NTSD, por lo que afecta la calidad de energía con que cuenta la instalación.
3. Se establecieron los criterios necesarios para implementar la construcción de una red de tierras para el molino siguiendo el estándar *142-1991 del greenbook* de la *IEEE* para redes de tierras.
4. Con el adecuado rediseño del dimensionamiento de los conductores eléctricos se reducirán las pérdidas por calentamiento, así mismo, la corrección del factor de potencia en los motores de gran tamaño permitirá mejorar y hacer más eficiente la operación.
5. Se evidenció que las mejoras propuestas reducirán los costos de energía eléctrica, como también ayudarán a la confiabilidad del sistema eléctrico.



## RECOMENDACIONES

1. Implementar el rediseño de la instalación eléctrica planteado, dando prioridad al dimensionamiento de los conductores, ya que una falla de los mismos puede provocar accidentes lamentables y daño a los equipos, así como a la fabricación de la red de tierras para el molino.
2. Implementar la instalación del pararrayos, con base en los cálculos realizados para proteger la infraestructura e instalaciones eléctricas del edificio.
3. Implementar el diseño del sistema de puesta a tierras con su respectivo pararrayos, debido a que es indispensable que una instalación eléctrica lo tenga, considerando el ambiente explosivo de la instalación.
4. Implementar el programa de mantenimiento eléctrico siguiendo los criterios de estándar IEEE 902-1998.



## BIBLIOGRAFÍA

1. *Dust explosions in the process industries*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1991. 599 p.
2. *Electrostatics hazards in powder handling*. Letchworth Herts, England: Research Studies Press, 1988, 171 p.
3. *Institute of Electrical and Electronics Engineers. Recommended practice for grounding of industrial and commercial power systems*. New York: IEEE, 2008. 70 p.
4. *Institute of Electrical and Electronics Engineers Std 902-1998 Yellow Book - IEEE guide for maintenance, operation, and safety of industrial and commercial power systems*. New York: IEEE, 2007. 350. p.
5. MÉNDEZ CELIZ, Luis Alfonso. *Guía para el diseño de instalaciones eléctricas*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico Electricista. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1992. 92 p.
6. National Electric Code p. 30,305, 308, 1249. *Normas para acometidas de servicio eléctrico*. 11<sup>a</sup> ed. Guatemala: Empresa Eléctrica de Guatemala,1994. 122 p.



## **APÉNDICES**

## Apéndice 1. Resumen corrientes

Fecha	Hora	A1	A2	A3
31/01/2011	05:00:00 p.m.	215,60	161,50	199,70
31/01/2011	05:10:00 p.m.	215,60	162,10	203,90
31/01/2011	05:20:00 p.m.	212,80	164,60	204,90
31/01/2011	05:40:00 p.m.	185,70	131,30	185,70
31/01/2011	06:00:00 p.m.	193,00	135,20	187,50
31/01/2011	06:20:00 p.m.	267,00	211,60	267,00
31/01/2011	06:40:00 p.m.	868,90	787,60	766,00
31/01/2011	07:00:00 p.m.	1027,40	932,30	922,50
31/01/2011	07:20:00 p.m.	1191,60	1081,70	1064,60
31/01/2011	07:40:00 p.m.	1208,60	1097,00	1083,40
31/01/2011	08:00:00 p.m.	1212,10	1121,70	1086,80
31/01/2011	08:20:00 p.m.	1154,90	1073,80	1049,30
31/01/2011	08:40:00 p.m.	1158,40	1086,00	1057,30
31/01/2011	09:00:00 p.m.	1153,00	1083,30	1054,80
31/01/2011	09:20:00 p.m.	1204,60	1121,10	1093,70
31/01/2011	09:40:00 p.m.	1174,20	1114,70	1086,40
31/01/2011	10:00:00 p.m.	1254,60	1192,50	1161,00
31/01/2011	10:20:00 p.m.	1199,80	1142,40	1113,40
31/01/2011	10:40:00 p.m.	1319,10	1251,90	1219,60
31/01/2011	11:00:00 p.m.	1308,40	1251,10	1220,40
31/01/2011	11:20:00 p.m.	1252,70	1196,10	1169,70
31/01/2011	11:40:00 p.m.	1241,00	1188,90	1166,10
01/02/2011	12:00:00 a.m.	1303,40	1253,10	1228,30
01/02/2011	12:20:00 a.m.	1289,10	1241,60	1214,70
01/02/2011	12:40:00 a.m.	1299,80	1247,40	1222,80
01/02/2011	01:00:00 a.m.	1274,90	1213,30	1185,20
01/02/2011	01:20:00 a.m.	1277,10	1225,40	1197,20
01/02/2011	01:40:00 a.m.	1299,20	1248,20	1224,60
01/02/2011	02:00:00 a.m.	1331,30	1279,10	1252,50
01/02/2011	02:20:00 a.m.	1265,10	1212,10	1186,90
01/02/2011	02:40:00 a.m.	1245,70	1180,30	1154,20
01/02/2011	03:00:00 a.m.	1315,10	1257,00	1231,00
01/02/2011	03:20:00 a.m.	1323,30	1265,70	1239,50
01/02/2011	03:40:00 a.m.	1285,50	1233,60	1206,70
01/02/2011	04:00:00 a.m.	1284,10	1226,60	1194,30
01/02/2011	04:20:00 a.m.	1329,80	1259,70	1234,30
01/02/2011	04:40:00 a.m.	1330,20	1274,90	1256,40

Fecha	Hora	A1	A2	A3
01/02/2011	05:00:00 a.m.	1302,40	1236,80	1198,60
01/02/2011	05:20:00 a.m.	1250,40	1176,00	1138,50
01/02/2011	05:40:00 a.m.	1244,50	1161,50	1124,20
01/02/2011	06:00:00 a.m.	1287,00	1217,30	1197,00
01/02/2011	06:20:00 a.m.	1269,00	1213,80	1180,60
01/02/2011	06:40:00 a.m.	1170,70	1097,60	1104,60
01/02/2011	07:00:00 a.m.	1020,10	953,20	961,50
01/02/2011	07:20:00 a.m.	1028,10	968,40	960,30
01/02/2011	07:40:00 a.m.	1073,10	1009,80	994,50
01/02/2011	08:00:00 a.m.	1106,30	1035,80	1039,00
01/02/2011	08:20:00 a.m.	1071,40	1003,40	1023,40
01/02/2011	08:40:00 a.m.	1122,20	1040,10	1042,90
01/02/2011	09:00:00 a.m.	1078,20	1017,00	1024,00
01/02/2011	09:20:00 a.m.	1127,80	1055,00	1065,30
01/02/2011	09:40:00 a.m.	1136,80	1063,60	1091,50
01/02/2011	10:00:00 a.m.	1130,40	1063,90	1081,60
01/02/2011	10:20:00 a.m.	1167,30	1105,40	1108,20
01/02/2011	10:40:00 a.m.	1154,70	1088,10	1084,60
01/02/2011	11:00:00 a.m.	1134,20	1064,70	1064,20
01/02/2011	11:20:00 a.m.	1202,30	1130,30	1099,00
01/02/2011	11:40:00 a.m.	1175,70	1111,90	1087,80
01/02/2011	12:00:00 p.m.	1203,00	1132,30	1106,90
01/02/2011	12:20:00 p.m.	1245,30	1158,10	1139,50
01/02/2011	12:40:00 p.m.	1215,00	1149,90	1117,00
01/02/2011	01:00:00 p.m.	1202,10	1134,10	1107,20
01/02/2011	01:20:00 p.m.	1150,30	1090,00	1050,80
01/02/2011	01:40:00 p.m.	1141,50	1082,40	1045,10
01/02/2011	02:00:00 p.m.	1185,40	1125,00	1097,50
01/02/2011	02:20:00 p.m.	1196,70	1133,40	1107,00
01/02/2011	02:40:00 p.m.	1186,00	1140,60	1119,10
01/02/2011	03:00:00 p.m.	1130,40	1081,10	1051,00
01/02/2011	03:20:00 p.m.	1165,30	1114,10	1075,40
01/02/2011	03:40:00 p.m.	1171,50	1117,60	1079,80
01/02/2011	04:00:00 p.m.	1203,40	1147,70	1104,20
01/02/2011	04:20:00 p.m.	1160,50	1115,90	1073,30
01/02/2011	04:40:00 p.m.	1144,40	1059,90	1039,00
01/02/2011	05:00:00 p.m.	1152,60	1087,80	1077,00

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 2. Resumen voltajes RMS

Fecha	Hora	V1 RMS	V2 RMS	V3 RMS
31/01/2011	05:00:00 p.m.	141,00	141,30	139,70
31/01/2011	05:10:00 p.m.	141,30	141,50	140,00
31/01/2011	05:20:00 p.m.	140,50	141,20	139,60
31/01/2011	05:40:00 p.m.	140,80	141,40	140,00
31/01/2011	06:00:00 p.m.	139,30	140,00	138,40
31/01/2011	06:20:00 p.m.	139,00	139,60	138,00
31/01/2011	06:40:00 p.m.	137,50	137,50	136,00
31/01/2011	07:00:00 p.m.	137,70	137,70	136,00
31/01/2011	07:20:00 p.m.	138,50	138,60	136,90
31/01/2011	07:40:00 p.m.	138,80	138,80	137,10
31/01/2011	08:00:00 p.m.	138,50	138,80	137,00
31/01/2011	08:20:00 p.m.	138,40	138,70	137,10
31/01/2011	08:40:00 p.m.	138,70	138,90	137,30
31/01/2011	09:00:00 p.m.	138,80	139,10	137,40
31/01/2011	09:20:00 p.m.	138,20	138,50	136,90
31/01/2011	09:40:00 p.m.	138,10	138,40	136,80
31/01/2011	10:00:00 p.m.	137,40	137,60	136,10
31/01/2011	10:20:00 p.m.	137,80	138,00	136,50
31/01/2011	10:40:00 p.m.	138,10	138,30	136,80
31/01/2011	11:00:00 p.m.	138,60	138,80	137,30
31/01/2011	11:20:00 p.m.	138,40	138,60	137,20
31/01/2011	11:40:00 p.m.	138,40	138,50	137,20
01/02/2011	12:00:00 a.m.	137,80	137,90	136,50
01/02/2011	12:20:00 a.m.	138,00	138,20	136,80
01/02/2011	12:40:00 a.m.	136,90	137,10	135,70
01/02/2011	01:00:00 a.m.	137,10	137,20	135,80
01/02/2011	01:20:00 a.m.	137,50	137,60	136,30
01/02/2011	01:40:00 a.m.	137,40	137,50	136,20
01/02/2011	02:00:00 a.m.	137,10	137,20	135,90
01/02/2011	02:20:00 a.m.	137,40	137,50	136,20
01/02/2011	02:40:00 a.m.	137,60	137,70	136,40
01/02/2011	03:00:00 a.m.	137,40	137,50	136,20
01/02/2011	03:20:00 a.m.	137,30	137,50	136,10
01/02/2011	03:40:00 a.m.	137,40	137,50	136,20
01/02/2011	04:00:00 a.m.	137,20	137,40	136,00
01/02/2011	04:20:00 a.m.	136,90	137,00	135,60
01/02/2011	04:40:00 a.m.	136,10	136,30	134,90

Fecha	Hora	V1 RMS	V2 RMS	V3 RMS
01/02/2011	05:00:00 a.m.	136,80	137,00	135,30
01/02/2011	05:20:00 a.m.	136,20	136,30	134,60
01/02/2011	05:40:00 a.m.	136,40	136,50	134,60
01/02/2011	06:00:00 a.m.	136,10	136,10	134,60
01/02/2011	06:20:00 a.m.	137,60	137,80	136,10
01/02/2011	06:40:00 a.m.	139,00	139,20	137,60
01/02/2011	07:00:00 a.m.	138,80	139,20	137,60
01/02/2011	07:20:00 a.m.	137,80	138,30	136,60
01/02/2011	07:40:00 a.m.	137,00	137,60	136,00
01/02/2011	08:00:00 a.m.	137,80	138,10	136,60
01/02/2011	08:20:00 a.m.	138,50	138,60	137,20
01/02/2011	08:40:00 a.m.	138,10	138,40	136,80
01/02/2011	09:00:00 a.m.	138,30	138,60	137,00
01/02/2011	09:20:00 a.m.	137,60	137,90	136,40
01/02/2011	09:40:00 a.m.	138,40	138,70	137,00
01/02/2011	10:00:00 a.m.	138,30	138,60	137,00
01/02/2011	10:20:00 a.m.	137,30	137,60	136,00
01/02/2011	10:40:00 a.m.	137,00	137,30	135,70
01/02/2011	11:00:00 a.m.	136,90	137,10	135,50
01/02/2011	11:20:00 a.m.	137,00	137,60	135,60
01/02/2011	11:40:00 a.m.	137,00	137,50	135,60
01/02/2011	12:00:00 p.m.	137,80	138,30	136,50
01/02/2011	12:20:00 p.m.	137,60	138,20	136,30
01/02/2011	12:40:00 p.m.	137,90	138,50	136,60
01/02/2011	01:00:00 p.m.	137,90	138,50	136,50
01/02/2011	01:20:00 p.m.	137,70	138,30	136,30
01/02/2011	01:40:00 p.m.	137,60	138,30	136,30
01/02/2011	02:00:00 p.m.	137,00	137,60	135,70
01/02/2011	02:20:00 p.m.	136,50	137,10	135,20
01/02/2011	02:40:00 p.m.	136,70	137,30	135,40
01/02/2011	03:00:00 p.m.	137,10	137,50	135,70
01/02/2011	03:20:00 p.m.	137,00	137,80	135,80
01/02/2011	03:40:00 p.m.	137,50	138,10	136,20
01/02/2011	04:00:00 p.m.	138,10	138,80	136,80
01/02/2011	04:20:00 p.m.	138,60	139,20	137,30
01/02/2011	04:40:00 p.m.	139,30	139,60	137,70
01/02/2011	05:00:00 p.m.	139,00	139,20	137,60

Fuente: elaboración propia.

### Apéndice 3. Resumen potencia activa

Fecha	Hora	W 1	W 2	W 3
31/01/2011	05:00:00 p.m.	-28868,11	22004,95	27756,89
31/01/2011	05:10:00 p.m.	-28817,7	22100,01	28390,77
31/01/2011	05:20:00 p.m.	-28483,46	22497,99	28447,74
31/01/2011	05:40:00 p.m.	-25224,83	18281,4	25586,36
31/01/2011	06:00:00 p.m.	-25915,54	18582,53	25600,54
31/01/2011	06:20:00 p.m.	-36480,33	28969,05	36044,65
31/01/2011	06:40:00 p.m.	-101023,02	87981,53	89493,5
31/01/2011	07:00:00 p.m.	-128852,98	114671,96	115572,66
31/01/2011	07:20:00 p.m.	-150790,3	134976,8	134102,89
31/01/2011	07:40:00 p.m.	-152432,16	136116,66	135985,98
31/01/2011	08:00:00 p.m.	-153688,25	139599,47	135904,8
31/01/2011	08:20:00 p.m.	-146875,61	134610,88	131996,39
31/01/2011	08:40:00 p.m.	-147629,95	136272,23	133126,8
31/01/2011	09:00:00 p.m.	-146674,42	135748,11	132930,66
31/01/2011	09:20:00 p.m.	-152698,39	140200,89	136778,22
31/01/2011	09:40:00 p.m.	-148921,64	139403,92	136162,06
31/01/2011	10:00:00 p.m.	-154627,77	144309,27	141084,17
31/01/2011	10:20:00 p.m.	-147346,08	137872,98	134876,77
31/01/2011	10:40:00 p.m.	-163438,45	152731,22	148674,97
31/01/2011	11:00:00 p.m.	-162223,7	152602,89	149093,94
31/01/2011	11:20:00 p.m.	-155189,45	145933,58	142981,95
31/01/2011	11:40:00 p.m.	-153666,23	145367,47	142443,64
01/02/2011	12:00:00 a.m.	-156243,34	147917,55	144997,73
01/02/2011	12:20:00 a.m.	-154539,41	146321,11	143303,36
01/02/2011	12:40:00 a.m.	-155873,84	147378,83	144416,58
01/02/2011	01:00:00 a.m.	-153252,05	143365,84	139794,86
01/02/2011	01:20:00 a.m.	-153334,64	144692,84	141083,03
01/02/2011	01:40:00 a.m.	-155677,7	147379,78	144150,7
01/02/2011	02:00:00 a.m.	-159914,11	151286,86	147724,27
01/02/2011	02:20:00 a.m.	-151604,3	142988,58	139763,59
01/02/2011	02:40:00 a.m.	-149545,64	139330,77	136123,8
01/02/2011	03:00:00 a.m.	-158304,48	149242,05	145602,23
01/02/2011	03:20:00 a.m.	-159585,05	150494,66	146941
01/02/2011	03:40:00 a.m.	-155199,66	146928,77	143101,48
01/02/2011	04:00:00 a.m.	-155158,44	145822,14	141656,23
01/02/2011	04:20:00 a.m.	-160139,31	149535,36	146118,97
01/02/2011	04:40:00 a.m.	-160126,05	151240,92	149658,06

Fecha	Hora	W 1	W 2	W 3
01/02/2011	05:00:00 a.m.	-156977,09	145502,83	142152,34
01/02/2011	05:20:00 a.m.	-150405,3	138020,84	135258,48
01/02/2011	05:40:00 a.m.	-149941,33	135567,03	133994,23
01/02/2011	06:00:00 a.m.	-154181,47	142893,31	142074,17
01/02/2011	06:20:00 a.m.	-152456,75	142502,14	140392,53
01/02/2011	06:40:00 a.m.	-154509,39	144148,77	145466
01/02/2011	07:00:00 a.m.	-137792,91	128552,51	129522,6
01/02/2011	07:20:00 a.m.	-138273,56	129954,84	128405,52
01/02/2011	07:40:00 a.m.	-142967,06	134513,33	131508,34
01/02/2011	08:00:00 a.m.	-147631,75	137836,14	138092,84
01/02/2011	08:20:00 a.m.	-143282,52	134316,92	136660,22
01/02/2011	08:40:00 a.m.	-149933,48	138907,48	138905,48
01/02/2011	09:00:00 a.m.	-144489,59	136030	136584,45
01/02/2011	09:20:00 a.m.	-149713,56	139635,22	141188,66
01/02/2011	09:40:00 a.m.	-151087,95	141792,17	145124,69
01/02/2011	10:00:00 a.m.	-149674,06	141104,56	143025,52
01/02/2011	10:20:00 a.m.	-153262,11	144499	144836,33
01/02/2011	10:40:00 a.m.	-151697,77	142370,7	141520,5
01/02/2011	11:00:00 a.m.	-148684,22	139034,41	138750,86
01/02/2011	11:20:00 a.m.	-157833,97	147151,08	142839,27
01/02/2011	11:40:00 a.m.	-154239,58	144755,7	141237,92
01/02/2011	12:00:00 p.m.	-158266,02	147117,47	144139,06
01/02/2011	12:20:00 p.m.	-163093	150224,81	148487,7
01/02/2011	12:40:00 p.m.	-160204,23	150000,34	145774,92
01/02/2011	01:00:00 p.m.	-158658,23	148529,17	144794,91
01/02/2011	01:20:00 p.m.	-152486,77	142938,55	137655,95
01/02/2011	01:40:00 p.m.	-151349,33	141886,83	136962,48
01/02/2011	02:00:00 p.m.	-155811,11	146886,08	142929,09
01/02/2011	02:20:00 p.m.	-156753,02	147366,23	143671,56
01/02/2011	02:40:00 p.m.	-155675,72	148815,17	145244,55
01/02/2011	03:00:00 p.m.	-149440,39	141405,52	137251,64
01/02/2011	03:20:00 p.m.	-153097,95	144844,16	139632,59
01/02/2011	03:40:00 p.m.	-154545,8	145759,52	140687,72
01/02/2011	04:00:00 p.m.	-158595,16	149508,08	143676,64
01/02/2011	04:20:00 p.m.	-153794,94	146281,23	140279
01/02/2011	04:40:00 p.m.	-152141,2	139119,44	137169,86
01/02/2011	05:00:00 p.m.	-152390,91	142623,84	141369,25

Fuente: elaboración propia.

#### Apéndice 4. Resumen potencia reactiva

Fecha	Hora	Var 1	Var 2	Var 3	Fecha	Hora	Var 1	Var 2	Var 3
31/01/2011	05:00:00 p.m.	-9573,46	6036,29	2934,27	01/02/2011	05:00:00 a.m.	-84493,87	86986,67	78233,70
31/01/2011	05:10:00 p.m.	-9931,03	6144,20	2990,19	01/02/2011	05:20:00 a.m.	-79946,27	81677,90	72181,93
31/01/2011	05:20:00 p.m.	-9131,42	5861,77	2776,46	01/02/2011	05:40:00 a.m.	-79790,95	82272,37	70430,82
31/01/2011	05:40:00 p.m.	-6876,69	3229,74	-4673,72	01/02/2011	06:00:00 a.m.	-83292,41	84020,33	76083,29
31/01/2011	06:00:00 p.m.	-7185,15	3571,43	-4239,88	01/02/2011	06:20:00 a.m.	-85378,28	87712,57	78369,22
31/01/2011	06:20:00 p.m.	-5873,05	128,31	-5448,32	01/02/2011	06:40:00 a.m.	-51270,99	50924,23	44354,39
31/01/2011	06:40:00 p.m.	-63936,86	63195,47	53340,86	01/02/2011	07:00:00 a.m.	-32935,20	33192,33	26993,68
31/01/2011	07:00:00 p.m.	-58492,29	57734,52	48935,88	01/02/2011	07:20:00 a.m.	-31011,87	32556,19	27048,51
31/01/2011	07:20:00 p.m.	-67291,30	65347,16	57206,81	01/02/2011	07:40:00 a.m.	-34430,93	34981,37	31744,77
31/01/2011	07:40:00 p.m.	-70290,13	68392,77	59898,07	01/02/2011	08:00:00 a.m.	-38255,43	38456,79	33124,89
31/01/2011	08:00:00 p.m.	-67695,75	69077,75	60910,72	01/02/2011	08:20:00 a.m.	-38825,86	36380,55	32511,65
31/01/2011	08:20:00 p.m.	-63260,66	63869,67	57256,29	01/02/2011	08:40:00 a.m.	-39531,23	38134,68	32727,95
31/01/2011	08:40:00 p.m.	-63436,96	64918,87	57973,05	01/02/2011	09:00:00 a.m.	-36916,13	36992,99	32339,47
31/01/2011	09:00:00 p.m.	-64229,18	65569,63	57915,17	01/02/2011	09:20:00 a.m.	-41012,49	41088,92	34429,14
31/01/2011	09:20:00 p.m.	-66486,42	66926,59	60986,40	01/02/2011	09:40:00 a.m.	-43992,46	40855,07	36454,20
31/01/2011	09:40:00 p.m.	-64395,21	66314,76	59644,09	01/02/2011	10:00:00 a.m.	-44962,70	42773,97	38682,15
31/01/2011	10:00:00 p.m.	-76366,84	78233,91	71118,17	01/02/2011	10:20:00 a.m.	-47140,61	47697,43	42002,12
31/01/2011	10:20:00 p.m.	-75135,27	76577,38	70178,26	01/02/2011	10:40:00 a.m.	-45204,74	45505,55	40802,98
31/01/2011	10:40:00 p.m.	-80543,92	81717,16	75849,58	01/02/2011	11:00:00 a.m.	-44719,93	44673,50	39544,11
31/01/2011	11:00:00 p.m.	-81081,34	82958,88	76484,02	01/02/2011	11:20:00 a.m.	-47397,46	50502,97	42534,41
31/01/2011	11:20:00 p.m.	-77472,45	78773,98	72920,82	01/02/2011	11:40:00 a.m.	-46521,23	49423,36	42616,50
31/01/2011	11:40:00 p.m.	-76763,64	77569,02	72993,80	01/02/2011	12:00:00 p.m.	-49672,71	53716,73	45392,11
01/02/2011	12:00:00 a.m.	-88607,20	89443,05	84422,86	01/02/2011	12:20:00 p.m.	-52969,80	55476,06	45886,03
01/02/2011	12:20:00 a.m.	-88261,68	89680,76	84244,48	01/02/2011	12:40:00 p.m.	-49262,60	53735,23	45159,25
01/02/2011	12:40:00 a.m.	-86003,64	86806,96	81881,84	01/02/2011	01:00:00 p.m.	-48139,69	51414,66	43579,85
01/02/2011	01:00:00 a.m.	-84122,12	84770,21	80014,96	01/02/2011	01:20:00 p.m.	-43156,05	48170,55	39802,68
01/02/2011	01:20:00 a.m.	-85755,41	86801,13	82041,95	01/02/2011	01:40:00 p.m.	-42336,50	47743,45	39381,38
01/02/2011	01:40:00 a.m.	-87465,21	88037,48	83941,02	01/02/2011	02:00:00 p.m.	-46143,10	49191,07	42219,51
01/02/2011	02:00:00 a.m.	-88187,47	89174,36	84597,72	01/02/2011	02:20:00 p.m.	-46170,04	49387,72	42014,32
01/02/2011	02:20:00 a.m.	-85222,37	85793,88	81330,71	01/02/2011	02:40:00 p.m.	-45332,09	48796,31	43309,02
01/02/2011	02:40:00 a.m.	-83978,02	83916,03	79227,18	01/02/2011	03:00:00 p.m.	-41087,83	46218,60	39018,19
01/02/2011	03:00:00 a.m.	-87265,14	87400,98	83218,52	01/02/2011	03:20:00 p.m.	-45652,17	50971,30	42819,36
01/02/2011	03:20:00 a.m.	-87147,98	87549,66	83045,96	01/02/2011	03:40:00 p.m.	-45508,46	51048,36	42939,62
01/02/2011	03:40:00 a.m.	-84378,54	85001,63	81006,77	01/02/2011	04:00:00 p.m.	-50021,91	55090,79	46942,92
01/02/2011	04:00:00 a.m.	-83673,11	84594,89	79558,68	01/02/2011	04:20:00 p.m.	-47267,80	52462,96	45335,14
01/02/2011	04:20:00 a.m.	-86647,22	86369,86	81851,82	01/02/2011	04:40:00 p.m.	-47830,55	50559,27	40813,82
01/02/2011	04:40:00 a.m.	-84648,36	85648,93	79585,73	01/02/2011	05:00:00 p.m.	-49460,85	51063,41	44532,00

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 5. Resumen potencia aparente

Fecha	Hora	VA 1	VA 2	VA 3
31/01/2011	05:00:00 p.m.	30417,33	22822,37	27915,75
31/01/2011	05:10:00 p.m.	30484,5	22943,98	28553,52
31/01/2011	05:20:00 p.m.	29915,75	23255,33	28616,88
31/01/2011	05:40:00 p.m.	26152,27	18576,26	26024,95
31/01/2011	06:00:00 p.m.	26898,15	18932,36	25962,67
31/01/2011	06:20:00 p.m.	37135,01	29558,99	36867,16
31/01/2011	06:40:00 p.m.	119556,43	108326,63	104184,57
31/01/2011	07:00:00 p.m.	141513,14	128390,67	125512,77
31/01/2011	07:20:00 p.m.	165123,44	149965,27	145795,41
31/01/2011	07:40:00 p.m.	167857,66	152333,16	148593,86
31/01/2011	08:00:00 p.m.	167936,7	155755,77	148931,23
31/01/2011	08:20:00 p.m.	159919,8	148995,83	143880,06
31/01/2011	08:40:00 p.m.	160682,59	150946,78	145202,44
31/01/2011	09:00:00 p.m.	160122,47	150756,36	145001
31/01/2011	09:20:00 p.m.	166544,8	155356,45	149759,2
31/01/2011	09:40:00 p.m.	162248,08	154373,8	148652,55
31/01/2011	10:00:00 p.m.	172476,64	164172,73	158015,78
31/01/2011	10:20:00 p.m.	165396,5	157712,19	152042,16
31/01/2011	10:40:00 p.m.	182206,89	173218,67	166906,19
31/01/2011	11:00:00 p.m.	181357,41	173694,92	167567,55
31/01/2011	11:20:00 p.m.	173452,02	165837,3	160503,47
31/01/2011	11:40:00 p.m.	171772,36	164768,61	160057,27
01/02/2011	12:00:00 a.m.	179619,31	172857,72	167784,72
01/02/2011	12:20:00 a.m.	177967,23	171617,72	166231,95
01/02/2011	12:40:00 a.m.	178025,53	171044,23	166014,72
01/02/2011	01:00:00 a.m.	174821,78	166554,08	161075,02
01/02/2011	01:20:00 a.m.	175685,56	168732,97	163204,33
01/02/2011	01:40:00 a.m.	178565,06	171672,55	166810,11
01/02/2011	02:00:00 a.m.	182619,34	175613,92	170234,73
01/02/2011	02:20:00 a.m.	173915,73	166753,17	161706,39
01/02/2011	02:40:00 a.m.	171511,11	162650,3	157501,5
01/02/2011	03:00:00 a.m.	180763,5	172951,8	167706,72
01/02/2011	03:20:00 a.m.	181829,72	174108,5	168785,31
01/02/2011	03:40:00 a.m.	176653,61	169745,19	164439,5
01/02/2011	04:00:00 a.m.	176281,94	168584,28	162469,31
01/02/2011	04:20:00 a.m.	182077,72	172686,86	167483,59
01/02/2011	04:40:00 a.m.	181122,77	173809,19	169504,98

Fecha	Hora	VA 1	VA 2	VA 3
01/02/2011	05:00:00 a.m.	178271,72	169522,50	162258,77
01/02/2011	05:20:00 a.m.	170332,27	160378,73	153314,34
01/02/2011	05:40:00 a.m.	169849,69	158578,98	151377,31
01/02/2011	06:00:00 a.m.	175240,91	165765,11	161164,11
01/02/2011	06:20:00 a.m.	174734,98	167333,70	160786,69
01/02/2011	06:40:00 a.m.	162794,44	152880,03	152080,48
01/02/2011	07:00:00 a.m.	141675,02	132769,50	132307,09
01/02/2011	07:20:00 a.m.	141709,16	133972,20	131224,70
01/02/2011	07:40:00 a.m.	147057,45	138990,31	135288,83
01/02/2011	08:00:00 a.m.	152508,44	143103,41	142011,09
01/02/2011	08:20:00 a.m.	148449,61	139157,13	140475,30
01/02/2011	08:40:00 a.m.	155057,66	144048,25	142709,84
01/02/2011	09:00:00 a.m.	149131,08	140971,06	140361,41
01/02/2011	09:20:00 a.m.	155230,11	145557,14	145327,00
01/02/2011	09:40:00 a.m.	157363,45	147562,28	149634,42
01/02/2011	10:00:00 a.m.	156346,52	147512,95	148233,27
01/02/2011	10:20:00 a.m.	160347,92	152168,56	150804,70
01/02/2011	10:40:00 a.m.	158292,95	149467,48	147287,69
01/02/2011	11:00:00 a.m.	155275,08	146040,27	144281,45
01/02/2011	11:20:00 a.m.	164798,97	155577,59	149038,25
01/02/2011	11:40:00 a.m.	161105,55	152961,03	147528,31
01/02/2011	12:00:00 p.m.	165877,92	156618,91	151118,48
01/02/2011	12:20:00 p.m.	171479,09	160143,03	155416,61
01/02/2011	12:40:00 p.m.	167609,47	159336,17	152610,58
01/02/2011	01:00:00 p.m.	165800,95	157176,98	151211,64
01/02/2011	01:20:00 p.m.	158477,41	150838,30	143296,08
01/02/2011	01:40:00 p.m.	157159,20	149704,67	142512,67
01/02/2011	02:00:00 p.m.	162500,45	154904,53	149034,78
01/02/2011	02:20:00 p.m.	163411,03	155423,44	149692,94
01/02/2011	02:40:00 p.m.	162141,75	156613,83	151567,67
01/02/2011	03:00:00 p.m.	154985,75	148768,33	142691,48
01/02/2011	03:20:00 p.m.	159760,39	153552,67	146054,09
01/02/2011	03:40:00 p.m.	161106,92	154441,91	147097,39
01/02/2011	04:00:00 p.m.	166297,22	159335,27	151151,78
01/02/2011	04:20:00 p.m.	160896,14	155407,06	147427,98
01/02/2011	04:40:00 p.m.	159482,64	148022,48	143113,83
01/02/2011	05:00:00 p.m.	160216,53	151490,23	148220,91

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 6. Resumen distorsión de armónicos THDA

Fecha	Hora	% A1 THD	% A2 THD	% A3 THD
31/01/2011	05:00:00 p.m.	7,10	9,30	8,50
31/01/2011	05:10:00 p.m.	7,10	9,20	8,60
31/01/2011	05:20:00 p.m.	7,30	9,30	9,30
31/01/2011	05:40:00 p.m.	10,40	12,40	13,40
31/01/2011	06:00:00 p.m.	9,00	10,70	12,10
31/01/2011	06:20:00 p.m.	10,50	12,90	11,90
31/01/2011	06:40:00 p.m.	3,20	4,20	4,20
31/01/2011	07:00:00 p.m.	3,10	3,70	3,80
31/01/2011	07:20:00 p.m.	2,20	2,80	2,90
31/01/2011	07:40:00 p.m.	2,00	2,60	2,60
31/01/2011	08:00:00 p.m.	2,00	2,60	2,70
31/01/2011	08:20:00 p.m.	2,40	3,00	3,20
31/01/2011	08:40:00 p.m.	2,60	3,20	3,40
31/01/2011	09:00:00 p.m.	2,80	3,40	3,60
31/01/2011	09:20:00 p.m.	2,70	3,30	3,60
31/01/2011	09:40:00 p.m.	2,80	3,30	3,60
31/01/2011	10:00:00 p.m.	2,20	2,70	2,90
31/01/2011	10:20:00 p.m.	2,00	2,40	2,60
31/01/2011	10:40:00 p.m.	2,00	2,40	2,60
31/01/2011	11:00:00 p.m.	1,80	2,10	2,40
31/01/2011	11:20:00 p.m.	1,80	2,10	2,40
31/01/2011	11:40:00 p.m.	1,80	2,00	2,30
01/02/2011	12:00:00 a.m.	1,40	1,20	1,70
01/02/2011	12:20:00 a.m.	1,40	1,10	1,60
01/02/2011	12:40:00 a.m.	1,40	1,00	1,60
01/02/2011	01:00:00 a.m.	1,40	1,10	1,60
01/02/2011	01:20:00 a.m.	1,50	1,10	1,60
01/02/2011	01:40:00 a.m.	1,50	1,10	1,50
01/02/2011	02:00:00 a.m.	1,50	1,00	1,50
01/02/2011	02:20:00 a.m.	1,50	1,10	1,60
01/02/2011	02:40:00 a.m.	1,60	1,20	1,70
01/02/2011	03:00:00 a.m.	1,40	1,00	1,50
01/02/2011	03:20:00 a.m.	1,40	1,00	1,50
01/02/2011	03:40:00 a.m.	1,40	0,90	1,60
01/02/2011	04:00:00 a.m.	1,40	0,90	1,50
01/02/2011	04:20:00 a.m.	1,50	1,00	1,60
01/02/2011	04:40:00 a.m.	1,40	0,90	1,60

Fecha	Hora	% A1 THD	% A2 THD	% A3 THD
01/02/2011	05:00:00 a.m.	1,40	1,00	1,70
01/02/2011	05:20:00 a.m.	1,30	1,00	1,80
01/02/2011	05:40:00 a.m.	1,30	1,00	1,90
01/02/2011	06:00:00 a.m.	1,20	1,00	1,70
01/02/2011	06:20:00 a.m.	1,20	1,20	1,70
01/02/2011	06:40:00 a.m.	4,90	6,70	6,10
01/02/2011	07:00:00 a.m.	6,80	9,20	8,00
01/02/2011	07:20:00 a.m.	7,00	9,90	8,80
01/02/2011	07:40:00 a.m.	6,30	9,00	8,00
01/02/2011	08:00:00 a.m.	6,30	8,80	7,60
01/02/2011	08:20:00 a.m.	6,70	9,20	7,40
01/02/2011	08:40:00 a.m.	5,80	8,20	6,70
01/02/2011	09:00:00 a.m.	6,20	8,40	7,00
01/02/2011	09:20:00 a.m.	6,10	8,30	6,80
01/02/2011	09:40:00 a.m.	5,60	8,20	6,40
01/02/2011	10:00:00 a.m.	5,80	8,20	6,60
01/02/2011	10:20:00 a.m.	5,20	7,10	5,80
01/02/2011	10:40:00 a.m.	5,50	7,60	6,20
01/02/2011	11:00:00 a.m.	5,60	7,90	6,30
01/02/2011	11:20:00 a.m.	5,00	6,90	5,70
01/02/2011	11:40:00 a.m.	4,90	6,70	5,60
01/02/2011	12:00:00 p.m.	5,30	6,80	5,80
01/02/2011	12:20:00 p.m.	4,90	6,70	5,50
01/02/2011	12:40:00 p.m.	5,50	7,50	6,20
01/02/2011	01:00:00 p.m.	5,70	7,60	6,10
01/02/2011	01:20:00 p.m.	6,40	8,60	7,30
01/02/2011	01:40:00 p.m.	6,80	9,40	7,80
01/02/2011	02:00:00 p.m.	6,20	8,20	6,90
01/02/2011	02:20:00 p.m.	5,90	7,80	6,60
01/02/2011	02:40:00 p.m.	6,00	8,00	6,80
01/02/2011	03:00:00 p.m.	6,70	8,80	7,60
01/02/2011	03:20:00 p.m.	6,20	8,50	7,00
01/02/2011	03:40:00 p.m.	6,10	8,60	7,10
01/02/2011	04:00:00 p.m.	6,10	8,50	7,20
01/02/2011	04:20:00 p.m.	6,80	9,10	7,80
01/02/2011	04:40:00 p.m.	6,70	9,70	8,00
01/02/2011	05:00:00 p.m.	6,40	9,10	7,20

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. **Resumen distorsión de armónicos voltajes THDV**

Fecha	Hora	% A1 THD	% A2 THD	% A3 THD
31/01/2011	05:00:00 p.m.	7,10	9,30	8,50
31/01/2011	05:10:00 p.m.	7,10	9,20	8,60
31/01/2011	05:20:00 p.m.	7,30	9,30	9,30
31/01/2011	05:40:00 p.m.	10,40	12,40	13,40
31/01/2011	06:00:00 p.m.	9,00	10,70	12,10
31/01/2011	06:20:00 p.m.	10,50	12,90	11,90
31/01/2011	06:40:00 p.m.	3,20	4,20	4,20
31/01/2011	07:00:00 p.m.	3,10	3,70	3,80
31/01/2011	07:20:00 p.m.	2,20	2,80	2,90
31/01/2011	07:40:00 p.m.	2,00	2,60	2,60
31/01/2011	08:00:00 p.m.	2,00	2,60	2,70
31/01/2011	08:20:00 p.m.	2,40	3,00	3,20
31/01/2011	08:40:00 p.m.	2,60	3,20	3,40
31/01/2011	09:00:00 p.m.	2,80	3,40	3,60
31/01/2011	09:20:00 p.m.	2,70	3,30	3,60
31/01/2011	09:40:00 p.m.	2,80	3,30	3,60
31/01/2011	10:00:00 p.m.	2,20	2,70	2,90
31/01/2011	10:20:00 p.m.	2,00	2,40	2,60
31/01/2011	10:40:00 p.m.	2,00	2,40	2,60
31/01/2011	11:00:00 p.m.	1,80	2,10	2,40
31/01/2011	11:20:00 p.m.	1,80	2,10	2,40
31/01/2011	11:40:00 p.m.	1,80	2,00	2,30
01/02/2011	12:00:00 a.m.	1,40	1,20	1,70
01/02/2011	12:20:00 a.m.	1,40	1,10	1,60
01/02/2011	12:40:00 a.m.	1,40	1,00	1,60
01/02/2011	01:00:00 a.m.	1,40	1,10	1,60
01/02/2011	01:20:00 a.m.	1,50	1,10	1,60
01/02/2011	01:40:00 a.m.	1,50	1,10	1,50
01/02/2011	02:00:00 a.m.	1,50	1,00	1,50
01/02/2011	02:20:00 a.m.	1,50	1,10	1,60
01/02/2011	02:40:00 a.m.	1,60	1,20	1,70
01/02/2011	03:00:00 a.m.	1,40	1,00	1,50
01/02/2011	03:20:00 a.m.	1,40	1,00	1,50
01/02/2011	03:40:00 a.m.	1,40	0,90	1,60
01/02/2011	04:00:00 a.m.	1,40	0,90	1,50
01/02/2011	04:20:00 a.m.	1,50	1,00	1,60
01/02/2011	04:40:00 a.m.	1,40	0,90	1,60

Fecha	Hora	% A1 THD	% A2 THD	% A3 THD
01/02/2011	05:00:00 a.m.	1,40	1,00	1,70
01/02/2011	05:20:00 a.m.	1,30	1,00	1,80
01/02/2011	05:40:00 a.m.	1,30	1,00	1,90
01/02/2011	06:00:00 a.m.	1,20	1,00	1,70
01/02/2011	06:20:00 a.m.	1,20	1,20	1,70
01/02/2011	06:40:00 a.m.	4,90	6,70	6,10
01/02/2011	07:00:00 a.m.	6,80	9,20	8,00
01/02/2011	07:20:00 a.m.	7,00	9,90	8,80
01/02/2011	07:40:00 a.m.	6,30	9,00	8,00
01/02/2011	08:00:00 a.m.	6,30	8,80	7,60
01/02/2011	08:20:00 a.m.	6,70	9,20	7,40
01/02/2011	08:40:00 a.m.	5,80	8,20	6,70
01/02/2011	09:00:00 a.m.	6,20	8,40	7,00
01/02/2011	09:20:00 a.m.	6,10	8,30	6,80
01/02/2011	09:40:00 a.m.	5,60	8,20	6,40
01/02/2011	10:00:00 a.m.	5,80	8,20	6,60
01/02/2011	10:20:00 a.m.	5,20	7,10	5,80
01/02/2011	10:40:00 a.m.	5,50	7,60	6,20
01/02/2011	11:00:00 a.m.	5,60	7,90	6,30
01/02/2011	11:20:00 a.m.	5,00	6,90	5,70
01/02/2011	11:40:00 a.m.	4,90	6,70	5,60
01/02/2011	12:00:00 p.m.	5,30	6,80	5,80
01/02/2011	12:20:00 p.m.	4,90	6,70	5,50
01/02/2011	12:40:00 p.m.	5,50	7,50	6,20
01/02/2011	01:00:00 p.m.	5,70	7,60	6,10
01/02/2011	01:20:00 p.m.	6,40	8,60	7,30
01/02/2011	01:40:00 p.m.	6,80	9,40	7,80
01/02/2011	02:00:00 p.m.	6,20	8,20	6,90
01/02/2011	02:20:00 p.m.	5,90	7,80	6,60
01/02/2011	02:40:00 p.m.	6,00	8,00	6,80
01/02/2011	03:00:00 p.m.	6,70	8,80	7,60
01/02/2011	03:20:00 p.m.	6,20	8,50	7,00
01/02/2011	03:40:00 p.m.	6,10	8,60	7,10
01/02/2011	04:00:00 p.m.	6,10	8,50	7,20
01/02/2011	04:20:00 p.m.	6,80	9,10	7,80
01/02/2011	04:40:00 p.m.	6,70	9,70	8,00
01/02/2011	05:00:00 p.m.	6,40	9,10	7,20

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 8. Resumen factor de potencia

Fecha	Hora	PF 1	PF 2	PF 3
31/01/2011	05:00:00 p.m.	-0,949	0,964	0,994
31/01/2011	05:10:00 p.m.	-0,945	0,963	0,994
31/01/2011	05:20:00 p.m.	-0,952	0,967	0,994
31/01/2011	05:40:00 p.m.	-0,964	0,984	0,982
31/01/2011	06:00:00 p.m.	-0,963	0,981	0,985
31/01/2011	06:20:00 p.m.	-0,982	0,98	0,977
31/01/2011	06:40:00 p.m.	-0,845	0,812	0,859
31/01/2011	07:00:00 p.m.	-0,91	0,893	0,92
31/01/2011	07:20:00 p.m.	-0,913	0,9	0,919
31/01/2011	07:40:00 p.m.	-0,908	0,893	0,915
31/01/2011	08:00:00 p.m.	-0,915	0,896	0,912
31/01/2011	08:20:00 p.m.	-0,918	0,903	0,917
31/01/2011	08:40:00 p.m.	-0,918	0,902	0,916
31/01/2011	09:00:00 p.m.	-0,916	0,9	0,916
31/01/2011	09:20:00 p.m.	-0,916	0,902	0,913
31/01/2011	09:40:00 p.m.	-0,917	0,903	0,915
31/01/2011	10:00:00 p.m.	-0,896	0,879	0,892
31/01/2011	10:20:00 p.m.	-0,89	0,874	0,887
31/01/2011	10:40:00 p.m.	-0,896	0,881	0,89
31/01/2011	11:00:00 p.m.	-0,894	0,878	0,889
31/01/2011	11:20:00 p.m.	-0,894	0,88	0,89
31/01/2011	11:40:00 p.m.	-0,894	0,882	0,889
01/02/2011	12:00:00 a.m.	-0,869	0,855	0,864
01/02/2011	12:20:00 a.m.	-0,868	0,852	0,862
01/02/2011	12:40:00 a.m.	-0,875	0,861	0,869
01/02/2011	01:00:00 a.m.	-0,876	0,86	0,867
01/02/2011	01:20:00 a.m.	-0,872	0,857	0,864
01/02/2011	01:40:00 a.m.	-0,871	0,858	0,864
01/02/2011	02:00:00 a.m.	-0,875	0,861	0,867
01/02/2011	02:20:00 a.m.	-0,871	0,857	0,864
01/02/2011	02:40:00 a.m.	-0,871	0,856	0,864
01/02/2011	03:00:00 a.m.	-0,875	0,862	0,868
01/02/2011	03:20:00 a.m.	-0,877	0,864	0,87
01/02/2011	03:40:00 a.m.	-0,878	0,865	0,87
01/02/2011	04:00:00 a.m.	-0,88	0,865	0,871
01/02/2011	04:20:00 a.m.	-0,879	0,865	0,872
01/02/2011	04:40:00 a.m.	-0,884	0,87	0,882

Fecha	Hora	PF 1	PF 2	PF 3
01/02/2011	05:00:00 a.m.	-0,88	0,858	0,876
01/02/2011	05:20:00 a.m.	-0,883	0,86	0,882
01/02/2011	05:40:00 a.m.	-0,882	0,854	0,885
01/02/2011	06:00:00 a.m.	-0,879	0,862	0,881
01/02/2011	06:20:00 a.m.	-0,872	0,851	0,873
01/02/2011	06:40:00 a.m.	-0,949	0,942	0,956
01/02/2011	07:00:00 a.m.	-0,972	0,968	0,979
01/02/2011	07:20:00 a.m.	-0,975	0,97	0,978
01/02/2011	07:40:00 a.m.	-0,972	0,967	0,972
01/02/2011	08:00:00 a.m.	-0,968	0,963	0,972
01/02/2011	08:20:00 a.m.	-0,965	0,965	0,972
01/02/2011	08:40:00 a.m.	-0,966	0,964	0,973
01/02/2011	09:00:00 a.m.	-0,968	0,964	0,973
01/02/2011	09:20:00 a.m.	-0,964	0,959	0,971
01/02/2011	09:40:00 a.m.	-0,96	0,96	0,969
01/02/2011	10:00:00 a.m.	-0,957	0,956	0,965
01/02/2011	10:20:00 a.m.	-0,955	0,949	0,96
01/02/2011	10:40:00 a.m.	-0,958	0,952	0,96
01/02/2011	11:00:00 a.m.	-0,957	0,952	0,961
01/02/2011	11:20:00 a.m.	-0,957	0,945	0,958
01/02/2011	11:40:00 a.m.	-0,957	0,946	0,957
01/02/2011	12:00:00 p.m.	-0,954	0,939	0,953
01/02/2011	12:20:00 p.m.	-0,951	0,938	0,955
01/02/2011	12:40:00 p.m.	-0,955	0,941	0,955
01/02/2011	01:00:00 p.m.	-0,956	0,945	0,957
01/02/2011	01:20:00 p.m.	-0,962	0,947	0,96
01/02/2011	01:40:00 p.m.	-0,962	0,947	0,961
01/02/2011	02:00:00 p.m.	-0,958	0,948	0,959
01/02/2011	02:20:00 p.m.	-0,959	0,948	0,959
01/02/2011	02:40:00 p.m.	-0,96	0,95	0,958
01/02/2011	03:00:00 p.m.	-0,964	0,95	0,961
01/02/2011	03:20:00 p.m.	-0,958	0,943	0,956
01/02/2011	03:40:00 p.m.	-0,959	0,943	0,956
01/02/2011	04:00:00 p.m.	-0,953	0,938	0,95
01/02/2011	04:20:00 p.m.	-0,955	0,941	0,951
01/02/2011	04:40:00 p.m.	-0,953	0,939	0,958
01/02/2011	05:00:00 p.m.	-0,951	0,941	0,953

Fuente: elaboración propia