



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

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA ADQUISICIÓN, INSTALACIÓN Y  
PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DEL SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
EN LA GRANJA PENAL DE PAVÓN, FRAIJANES**

**Helmunt Federico Chicol Cabrera**

Asesorado por el Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar

Guatemala, agosto de 2015



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA ADQUISICIÓN, INSTALACIÓN Y  
PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DEL SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
EN LA GRANJA PENAL DE PAVÓN, FRAIJANES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**HELMUNT FEDERICO CHICOL CABRERA**  
ASESORADO POR EL ING. CARLOS EDUARDO GUZMÁN SALAZAR

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2015



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

|            |  |
|------------|--|
| DECANO     | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco     |
| VOCAL I    | Ing. Angel Roberto Sic García          |
| VOCAL II   | Ing. Pablo Christian de León Rodríguez |
| VOCAL III  | Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa    |
| VOCAL IV   | Br. Narda Lucía Pacay Barrientos       |
| VOCAL V    | Br. Walter Rafael Véliz Muñoz          |
| SECRETARIA | Inga. Lesbia Magalí Herrera López      |

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

|            |                                  |
|------------|----------------------------------|
| DECANO     | Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos |
| EXAMINADOR | Ing. Juan Carlos Morataya Ramos  |
| EXAMINADOR | Ing. Romeo Nefalí López Orozco   |
| EXAMINADOR | Ing. Armando Gálvez Castillo     |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez  |



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA ADQUISICIÓN, INSTALACIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DEL SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA GRANJA PENAL DE PAVÓN, FRAIJANES**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 29 de noviembre de 2013.



**Helmut Federico Chicol Cabrera**





Guatemala, 19 de agosto de 2014

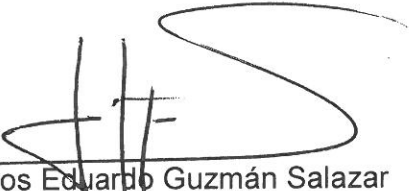
Ingeniero  
Silvio Rodríguez  
Director Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Rodríguez:

Por medio de la presente me permito informarle que he revisado completamente el trabajo de graduación titulado: **Especificaciones técnicas para adquisición, instalación y puesta en funcionamiento del servicio de energía eléctrica en la Granja Penal de Pavón, Fraijanes**; desarrollado por el señor **Helmunt Federico Chicol Cabrera**.

Puedo concluir que dicho trabajo cumple con los objetivos propuestos en el anteproyecto de tesis, para lo cual me complace dar la aprobación respectiva e indicarle que el autor y mi persona somos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Atentamente,



Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar  
ASESOR  
Colegiado No. 2762

**CARLOS GUZMAN SALAZAR**  
Ingeniero Electricista  
Col. No. 2762



Guatemala, 27 de octubre de 2014.  
Ref.EPS.DOC.1088.10.14.

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano  
Director Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Rodríguez Serrano.

Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Helmunt Federico Chicol Cabrera** de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, con carné No. **199811143**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA ADQUISICIÓN, INSTALACIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DEL SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA GRANJA PENAL DE PAVÓN, FRAIJANES”**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez  
Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Eléctrica



c.c. Archivo  
NJRG/ra



Guatemala 27 de octubre de 2014.

Ref.EPS.D.621.10.14.

Ing. Guillermo Antonio Puento Romero  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Puento Romero.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA ADQUISICIÓN, INSTALACIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DEL SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA GRANJA PENAL DE PAVÓN, FRAIJANES"** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Helmunt Federico Chicol Cabrera**, quien fue debidamente asesorado por el Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar y supervisado por el Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor y del Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano  
Director de Unidad de EPS



SJRS/ra



Ref. LIME 15. 2015

Guatemala, 24 de febrero 2015.

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:  
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA ADQUISICIÓN,  
INSTALACIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DEL  
SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA GRANJA  
PENAL DE PAVÓN, FRAIJANES, del estudiante Helmut  
Federico Chicol Cabrera que cumple con los requisitos establecidos  
para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Otto Fernando Andrino González  
Coordinador Área Electrotécnica



STC



REF. EIME 15. 2015.

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; HELMUNT FEDERICO CHICOL CABRERA titulado: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA ADQUISICIÓN, INSTALACIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DEL SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA GRANJA PENAL DE PAVÓN, FRAIJANES, procede a la autorización del mismo.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 19 DE MARZO 2015.



DTG. 414.2015

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: **ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA ADQUISICIÓN, INSTALACIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DEL SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA GRANJA PENAL DE PAVÓN, FRAIJANES**, presentado por el estudiante universitario: **Helmunt Federico Chicol Cabrera**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, 24 de agosto de 2015

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| <b>Dios</b>                      | El físico y matemático más grande de todos los tiempos y del universo.   |
| <b>La Santísima Virgen María</b> | Madre de toda la humanidad, y de nuestro Señor Jesucristo.   |
| <b>Mi esposa</b>                 | Vilma Julissa, por su amor incondicional y apoyo en la finalización de este trabajo.   |
| <b>Mis padres</b>                | Justo Neri Chicol Dian y Natalia Cabrera de Chicol, con gratitud por sus esfuerzos en mi formación profesional.                            |
| <b>Mis suegros</b>               | Julio Muñoz y Vilma López de Muñoz, con cariño por su apoyo.   |
| <b>Mis hermanos</b>              | Ing. Carlos Enrique e Ing. Germán Leonel, con cariño y gratitud por el apoyo brindado.   |
| <b>Mis abuelos (q. e. p. d.)</b> | Federico Chicol, Germán Cabrera, Rosa Vásquez, Tránsito Dian, quienes están en gloria y que de alguna manera me acompañan en este momento. |

**Mis tíos**

Mario Velásquez, Teresa y Marquina Cabrera,  
con cariño.

**Mis sobrinos**

Jackeline Paola Chicol, Brian Enrique Chicol,  
Ing. Carlos Snell Chicol, con aprecio.

**Mi prima**

Suliana Velásquez, con cariño.

**Las familias**

Muñoz de León y Muñoz Torres, con aprecio.

**A mis amigos**

Carlos Guzmán, Luis Sandoval, César de Paz,  
Rodolfo Samayoa, Luis Girón, Omar  
Maldonado, por su apoyo incondicional.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

|  |   |
|--|---|
| <b>Ing. Carlos Guzmán</b>                          | Por haberme asesorado desinteresadamente durante el desarrollo de este trabajo.         |
| <b>Ing. Guillermo Puente</b>                       | Por su amistad y apoyo incondicional.   |
| <b>Ingenieros Carlos Chicol y Leonel Chicol</b>    | Por el apoyo técnico y profesional brindado para la culminación de este trabajo.        |
| <b>Licda. Nury Menéndez</b>                        | Por su valiosa colaboración y ayuda incondicional.                                      |
| <b>Ing. Jorge Álvarez</b>                          | Por su amistad y apoyo en mi formación profesional en el sector eléctrico de Guatemala. |
| <b>Dirección General del Sistema Penitenciario</b> | Por su valiosa colaboración.  |



## ÍNDICE GENERAL

|   |      |
|---|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....   | V    |
| GLOSARIO .....  | VII  |
| RESUMEN.....  | XI   |
| OBJETIVOS.....  | XIII |
| INTRODUCCIÓN .....  | XV   |
| <br>  |      |
| 1. INFORMACIÓN GENERAL DE LA INSTITUCIÓN.....                                   | 1    |
| 1.1. Antecedentes.....  | 1    |
| 1.1.1. Misión .....   | 1    |
| 1.1.2. Visión.....  | 2    |
| <br>  |      |
| 2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL .....                                   | 3    |
| 2.1. Evaluación y diagnóstico de las instalaciones eléctricas<br>actuales ..... | 3    |
| 2.2. Generalidades .....  | 3    |
| 2.2.1. Tableros.....  | 3    |
| 2.2.2. Condición actual de los tableros .....                                   | 4    |
| 2.2.3. Características actuales de los tableros .....                           | 5    |
| 2.2.4. Protecciones instaladas .....  | 6    |
| 2.2.5. Tubería instalada .....  | 6    |
| 2.2.6. Conductores instalados .....   | 6    |
| 2.2.7. Tipo de cargas instaladas .....  | 7    |
| 2.2.8. Iluminación.....   | 7    |
| 2.2.9. Fuerza .....   | 9    |
| 2.2.10. Distribución de cargas .....  | 9    |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 2.2.11. | Intensidad lumínica por ambientes.....  | 9  |
| 2.2.12. | Diagrama unifilar de las instalaciones .....  | 12 |
| 2.2.13. | Instalación de tierra física.....   | 13 |
| 2.3.    | Cálculo de las instalaciones eléctricas .....   | 14 |
| 2.3.1.  | Distribución de cargas por circuito .....   | 18 |
| 2.3.2.  | Cálculo de conductores.....   | 18 |
| 2.3.3.  | Cálculo de protecciones .....   | 23 |
| 2.3.4.  | Distribución de circuitos de tableros.....  | 24 |
| 2.3.5.  | Cálculo de tablero principal y sus protecciones.....  | 25 |
| 2.3.6.  | Medición de la resistividad del terreno .....   | 30 |
| 2.3.7.  | Elaboración de planos finales.....  | 32 |
| 2.4.    | Comparaciones teórica-prácticas.....  | 34 |
| 2.4.1.  | Comparación de calibre de conductor, protección<br>por circuito y análisis de la calidad de energía .....                 | 34 |
| 2.4.2.  | Comparación teórica-práctica de tableros .....  | 58 |
| 3.      | FASE DE INVESTIGACIÓN.....  | 61 |
| 3.1.    | Análisis de actividades asociadas a la institución y<br>exposición de desastres.....                                      | 61 |
| 3.2.    | Diseño del plan de contingencia ante incendios .....  | 65 |
| 4.      | FASE DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE .....   | 69 |
| 4.1.    | Capacitación al personal técnico de mantenimiento .....   | 69 |
| 4.1.1.  | Capacitación sobre la implementación de<br>programas de mantenimiento y futuras<br>ampliaciones de la red eléctrica ..... | 78 |

CONCLUSIONES ..... 85  
RECOMENDACIONES ..... 87  
BIBLIOGRAFÍA ..... 89



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1.  | Instalación de tablero principal anterior .....   | 4  |
| 2.  | Entorno del tablero principal anterior.....   | 5  |
| 3.  | Reflector central .....   | 10 |
| 4.  | Reflector esquina derecha.....  | 11 |
| 5.  | Diagrama unifilar del área de la cuadra de seguridad .....  | 13 |
| 6.  | Espacio para tierra física.....   | 14 |
| 7.  | Tablero principal (único) nuevo .....   | 15 |
| 8.  | Puesta del tablero principal .....  | 16 |
| 9.  | Tablero principal y entorno.....  | 17 |
| 10. | Tubo PVC eléctrico y reflector.....   | 20 |
| 11. | Cableado hacia tablero principal y caja de registro .....   | 22 |
| 12. | Vista general de la instalación de la acometida al tablero principal.....   | 23 |
| 13. | Distribución de cargas.....   | 25 |
| 14. | Acometida, tablero y circuitos derivados .....  | 26 |
| 15. | Varilla de cobre .....  | 27 |
| 16. | Estado anterior del espacio para tierra física .....  | 28 |
| 17. | Estado actual del espacio para tierra física, tomando en cuenta que<br>hubo necesidad de obra civil, para evitar contaminación exterior ..... | 29 |
| 18. | Medición de resistencia del terreno.....  | 31 |
| 19. | Plano de eléctrico de nivel único (Granja Penal de Pavón, Fraijanes<br>(cuadra de seguridad)) .....   | 33 |
| 20. | Factores calidad de energía en la demanda .....   | 49 |
| 21. | Menú de variables de entrada .....  | 50 |

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 22. | Gráfico de corriente, frecuencia y voltaje (Granja Penal de Pavón, Fraijanes).....  | 51 |
| 23. | Extracto de valores de corriente, frecuencia y voltaje, por cuartos de hora.....  | 53 |
| 24. | Gráfico potencia activa, reactiva y factor de potencia.....   | 55 |
| 25. | Extracto de los valores registrados de potencia activa, reactiva y factor de potencia (Granja Penal de Pavón, Fraijanes)..... | 56 |
| 26. | Valores registrados del consumo de energía (kilovatios hora) y reactiva (Granja Penal de Pavón, Fraijanes) .....              | 57 |
| 27. | Esquema organizacional contra emergencias .....   | 63 |
| 28. | Plano de evacuación en caso de sismo, terremoto e incendio (Granja Penal de Pavón, Fraijanes (cuadra de seguridad)).....      | 67 |

## TABLAS

|       |   |    |
|-------|---|----|
| I.    | Ampacidad de conductores .....  | 21 |
| II.   | Comparación teórica-práctica del calibre del conductor utilizado en la instalación eléctrica..... | 35 |
| III.  | Tolerancias admisibles por nivel de tensión... ..   | 43 |
| IV.   | Tolerancias por distorsión armónica de corrientes de carga.....                                   | 46 |
| V.    | Tolerancias para el <i>flicker</i> generado por el usuario .....                                  | 47 |
| VI.   | Índice de tolerancia para regulación de tensión.....  | 54 |
| VII.  | Balanceo de carga por circuito .....  | 58 |
| VIII. | Funciones principales de las brigadas .....   | 64 |
| IX.   | Plan de Mantenimiento Preventivo .....  | 82 |



## GLOSARIO

|                  |  |
|------------------|--|
| <b>Acometida</b> | Conductores y equipo para dar energía desde un sistema de suministro eléctrico hasta la carga servida.   |
| <b>Ampacidad</b> | Es la máxima intensidad de corriente que circula de manera continua por un conductor eléctrico sin que este sufra daños (también conocida como corriente admisible).   |
| <b>Amperio</b>   | Unidad de medida de la corriente eléctrica, que debe su nombre al físico André Marie Ampere, y representa el número de cargas ( <i>coulombs</i> ) por segundo que pasan por un punto de un material conductor.   |
| <b>AWG</b>       | Calibre de alambre estadounidense (cable, en inglés awg-American wire gauge) es una referencia de clasificación de diámetros. En muchos sitios de internet y también en libros y manuales, especialmente de origen norteamericano, es común encontrar la medida de conductores eléctricos (cables o alambres) indicados con la referencia awg. |

|                  |  |
|------------------|--|
| <b>Burden</b>    | Carga o impedancia conectada en el secundario de un transformador de corriente o de voltaje.   |
| <b>Carga</b>     | Potencia (o corriente) que consume un circuito eléctrico.  |
| <b>CNEE</b>      | Comisión Nacional de Energía Eléctrica   |
| <b>Conductor</b> | Material que ofrece una baja resistencia al paso de la corriente eléctrica.  |
| <b>Consumo</b>   | Cantidad de energía eléctrica utilizada por una instalación, durante un tiempo determinado.  |
| <b>Demanda</b>   | Suma total de la carga y las pérdidas de potencia correspondientes en un instante determinado, de un cliente o usuario, sector de usuarios o un sistema en su totalidad. |
| <b>EEGSA</b>     | Empresa Eléctrica de Guatemala, S. A.  |
| <b>Electrodo</b> | Varilla metálica, diseñada especialmente para enterrarla en el suelo y conectar en ella un sistema eléctrico aterrizado.   |

|                           |   |
|---------------------------|---|
| <b>Empalme de cable</b>   | La conexión de un cable a otro de manera que la conductividad y el aislamiento en la unión sean de la misma calidad que la de los cables que intervienen.   |
| <b>Energía</b>            | La capacidad de un sistema para realizar un trabajo, es medida en kilovatios, la energía lleva implícita la variable tiempo y se mide en kilovatios por hora (kwh). Y la potencia (demanda) en kilovatios (kW). |
| <b>Factor de potencia</b> | Relación entre la potencia activa y la potencia aparente. Da una medida de la capacidad de una carga de absorber potencia activa.   |
| <b><i>Flicker</i></b>     | Fenómeno de variación de la intensidad luminosa que afecta la visión humana.  |
| <b>Flipón</b>             | Interruptor termomagnético que está diseñado para protección de cortocircuitos y sobrecargas de un circuito eléctrico, desempeña funciones de conexión y desconexión para realizar trabajos de mantenimiento.   |
| <b>Iluminación</b>        | Cantidad de luz que alcanza un área unitaria de superficie, se mide en luxes.   |
| <b>Interruptor</b>        | Aparato o sistema de poder de corte, destinado a efectuar la apertura y cierre de un circuito eléctrico. Puede ser unipolar, bipolar, tripolar o tetrapolar.  |

|                      |   |
|----------------------|---|
| <b>NTSD</b>          | Norma técnica del servicio de distribución, publicada por la CNEE.  |
| <b>Ohm</b>           | Unidad de medida de la resistencia eléctrica.   |
| <b>Red eléctrica</b> | Interconexión de dispositivos que transportan la energía.   |
| <b>Tablero</b>       | Un panel o paneles individuales en donde se incluyen barras, dispositivos de protección contra sobrecorrientes e interruptores, para controlar circuitos eléctricos u otras cargas. |
| <b>Vatio</b>         | Unidad de medida de la potencia eléctrica (W).  |

## **RESUMEN**

El presente trabajo de graduación se enfoca en el desarrollo de las especificaciones técnicas para adquisición, instalación y puesta en funcionamiento del servicio de energía eléctrica en la Granja Penal de Pavón, Fraijanes.

En el capítulo I se presenta información de la misión y visión del Sistema Penitenciario. En el capítulo II se desarrolla la evaluación y diagnóstico de las instalaciones eléctricas actuales, el cálculo de conductores, protecciones, cálculo de tablero principal. Adicionalmente, la distribución de cargas por circuito, medición de resistividad del terreno, elaboración de planos finales y la comparación teórica-práctica de los cálculos realizados. Por otro lado, se incluye un estudio de calidad de energía nivel de carga general, donde se dan a conocer los índices de calidad, fundamentados en la normativa vigente del sector eléctrico de Guatemala.

El capítulo III se muestra un análisis de las actividades asociadas a la institución y exposición a desastres. Adicionalmente, un diseño sobre un plan de emergencia ante incendios.

Por último, se presenta una fase de enseñanza–aprendizaje sobre la implementación de programas de mantenimiento y futuras ampliaciones de la red eléctrica.



# OBJETIVOS

## General

Desarrollar las especificaciones técnicas para adquisición, instalación y puesta en funcionamiento del servicio de energía eléctrica en la Granja Penal de Pavón Fraijanes.

## Específicos

1. Describir misión y visión del sistema penitenciario.
2. Presentar los resultados de las instalaciones eléctricas actuales.
3. Analizar y desarrollar planes de contingencia.
4. Desarrollar una capacitación al personal técnico sobre mantenimiento rutinario, correctivo, programado, preventivo y predictivo.





## INTRODUCCIÓN

Las instalaciones de la Granja Penal de Pavón Fraijanes del Sistema Penitenciario, tienen varias deficiencias, algunas de ellas están en desuso, carecen de protecciones eléctricas, sistema de tierra física, que en todo caso representa un sistema ineficiente para consumo de energía eléctrica. Por eso es importante el desarrollo de especificaciones técnicas para la instalación y puesta del funcionamiento de energía eléctrica, con el fin de cumplir con los requerimientos de seguridad y confiabilidad.

Cabe mencionar que una instalación eléctrica se garantiza para un promedio de 20 años, para los cuales se calculan sobreesfuerzos eléctricos y un margen de sobrecarga adecuada, sean estos por la adición de nuevas cargas a la infraestructura inicial o por cortos circuitos.

En las instalaciones eléctricas se debe tomar en cuenta: el mantenimiento y la verificación periódica de cada uno de los elementos que la conforman, con el objetivo de que el consumo de la energía sea eficiente, ya que contribuye a evitar fallas de mayor magnitud en cualquiera de los puntos de la instalación, tales como: puntos calientes, ruido en los interruptores, entre otros.



# **1. INFORMACIÓN GENERAL DE LA INSTITUCIÓN**

## **1.1. Antecedentes**

El Sistema Penitenciario inicia el 9 de julio de 1875, cuando la Municipalidad de Guatemala, le encargó al señor José Quezada que visitara la cárcel de hombres y de corrección Santa Catarina, ubicada en la 3ª. avenida y 5ª. calle, zona 1 de la ciudad de Guatemala.

El señor Quezada plasma en su informe el desastroso estado de dicha cárcel, haciendo énfasis en que los reclusos eran tratados de manera inhumana, pues aparte del hacinamiento, las celdas no contaban con servicio alguno y eran similares a caballerizas, los reclusos se enfermaban y morían por falta de atención médica. Este informe llegó a manos del general Justo Rufino Barrios, quien gobernaba en ese entonces, ordenando que se iniciara la construcción de la Penitenciaría central, el 11 de enero de 1877. El lugar en el cual se inició la construcción era conocido como El Campamento. El general Justo Rufino Barrios murió en 1885, ascendiendo al poder el general Manuel Lisandro Barillas, quien continuó con el proyecto de construcción de la Penitenciaría Central.

### **1.1.1. Misión**

Ser el órgano educativo del sistema penitenciario, responsable de la formación, capacitación, profesionalización, actualización y evaluación permanente del personal penitenciario, de manera integral, logrando en el proceso formativo niveles de eficacia y eficiencia en la gestión penitenciaria, compromiso social, capacidad de liderazgo, concepción

valórica e irrestricto respeto de los derechos humanos, en búsqueda de la excelencia profesional en ciencias penitenciarias, con el compromiso de una mejora continua que proyecte seguridad a la sociedad guatemalteca.<sup>1</sup>

### **1.1.2. Visión**

Ser una institución responsable, dinámica y capaz de formar, capacitar y profesionalizar al recurso humano penitenciario con métodos, procedimientos y tecnologías modernas en la gestión de seguridad, custodia y rehabilitación de la población privada de libertad, con valores y vocación de servicio que permita ofrecer personal calificado y acreditado para el servicio del sistema penitenciario, contribuyendo a la seguridad ciudadana.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Dirección General del Sistema Penitenciario. [www.dgsp.gob.gt](http://www.dgsp.gob.gt) [Consulta: 26 de noviembre de 2013]

<sup>2</sup> Ibíd

## **2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL**

### **2.1. Evaluación y diagnóstico de las instalaciones eléctricas actuales**

Actualmente, la Granja Penal de Pavón Fraijanes (cuadra de seguridad), tiene acceso a la red eléctrica a través de la Distribuidora Empresa Eléctrica de Guatemala S. A. Los cables provienen de un poste, a través de un equipo de transformación de 13,8 kV a 220 V (tensión secundaria), entrando por la acometida principal hasta un tablero de distribución, el cual se encontraba en condiciones técnicas no adecuadas para la prestación del servicio. Cabe mencionar que los cables provenientes del poste se encuentran interrumpidos, sin embargo, están energizados y aislados tal y como se menciona más adelante. Por lo anterior no se cuenta con un servicio de energía eléctrica que presente las condiciones de continuidad y eficiencia.

### **2.2. Generalidades**

Las condiciones actuales de los equipos con los que cuenta la cuadra de seguridad de la institución, se describen en los siguientes incisos.

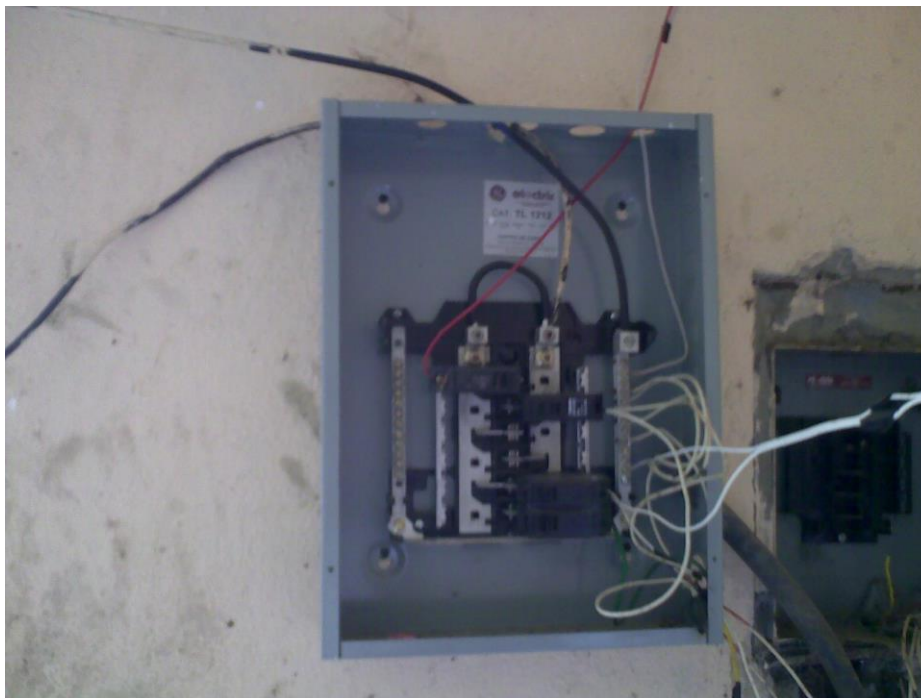
#### **2.2.1. Tableros**

El área de la cuadra de seguridad de la institución únicamente cuenta con una entrada de acometida hacia un tablero principal (TB) 220/120 V, este se encontraba fuera de servicio.

### 2.2.2. Condición actual de los tableros

El único tablero con el que cuenta el sistema, no cumple con las especificaciones Técnicas de tableros para distribución de cargas. No tiene tapadera de seguridad. No cuenta con circuitos de entrada y ni tampoco con circuitos de salida, prácticamente está excluido de todo funcionamiento. La condición actual se muestra en la figura 1.

Figura 1. **Instalación de tablero principal anterior**



Fuente: Granja Penal de Pavón, Fraijanes.

En la figura 2 se muestra el entorno del tablero en el estado de: fuera de operación.

Figura 2. **Entorno del tablero principal anterior**



Fuente: Granja Penal de Pavón, Fraijanes.

### **2.2.3. Características actuales de los tableros**

En la actualidad, el tablero está fuera de servicio, y además, no cuenta con las características ideales para la puesta de funcionamiento de una instalación eléctrica adecuada. Necesita ser dimensionado para el correcto funcionamiento. Adicionalmente se debe prever una expansión futura de carga, ante la necesidad de adecuación de nuevas instalaciones.

#### **2.2.4. Protecciones instaladas**

Las protecciones instaladas, están en mal estado, no tienen carga conectada. Necesitan reemplazarse por otro tipo; dimensionarlas para diferentes cargas. Cabe mencionar que ésta se encontraban en desuso y que el cableado que estaba a su alrededor, representaba antiguas instalaciones, en las cuales no existía ninguna carga conectada.

#### **2.2.5. Tubería instalada**

Actualmente no se cuenta con tubería eléctrica instalada. Los cables que vienen del poste de transformadores, pasan a través de la terraza del inmueble, lo cual representa un riesgo alto para el personal de mantenimiento y civil que opera dentro del inmueble.

Adicionalmente se verificó que los cables provenientes del poste estaban energizados, sin embargo, estos habían sido cortados y aislados. Para la corrección de tal falla fue necesaria la instalación de nuevos conductores y la realización de empalmes. Tal y como se describirá en los incisos posteriores.

#### **2.2.6. Conductores instalados**

En las instalaciones internas no se cuenta con algún tipo de conductor instalado funcional, es decir se cuenta con una serie de conductores en mal estado, los cuales no tienen conectada alguna carga. Con lo anterior, se consideró que, al momento de calcular las variables de la instalación eléctrica, estas deberían tomar en cuenta el dimensionamiento de tubería, el tipo de conductor de acuerdo al estudio técnico de cargas requeridas, acorde a las necesidades planteadas por la institución.



### **2.2.7. Tipos de cargas instaladas**

No se cuenta con alguna carga instalada, por lo que la instalación eléctrica debe ser dimensionada de acuerdo con lo que se va a conectar y prever expansiones futuras. Se necesita el diseño de circuitos de iluminación y de fuerza. Los circuitos de fuerza requieren de nuevos conductores, porque cuentan con tomas para tal fin.

De acuerdo a lo informado por el personal de mantenimiento, se procedió a tabular las cargas que estarán conectadas, y a la vez, la prevención de crecimiento de la demanda de energía.

### **2.2.8. Iluminación**

En los ambientes no se cuenta con algún tipo de iluminación artificial. Por lo que, se procedió al cálculo de luminarias internas por medio del Método de los Lúmenes. Cabe mencionar que tal método da un resultado muy aproximado, para este caso se utilizó únicamente como una guía indicativa a tomar en cuenta, ya que se realizaron consideraciones técnicas y además se tomaron en cuenta propuestas de parte del personal de mantenimiento de la institución, analizadas técnicamente, para la colocación de las luminarias.

El método de los lúmenes, también denominado: sistema general o método del factor de utilización, es una forma muy práctica y sencilla de calcular el nivel medio de la iluminancia en una instalación de alumbrado general. Proporciona una iluminancia media con un error de  $\pm 5 \%$ .

La fórmula del método de los lúmenes es la siguiente:

Ecuación 1

$$\Phi_T = \frac{E_m S}{C_u C_m}$$

Donde:

$E_m$  = nivel de iluminación medio (lux)

$\Phi_T$  = flujo luminoso que un determinado local o zona necesita (en lúmenes)

$S$  = superficie a iluminar (en  $m^2$ )

Este flujo luminoso se ve afectado por unos coeficientes de utilización ( $C_u$ ) y de mantenimiento ( $C_m$ ), que se definen a continuación:

$C_u$  = coeficiente de utilización: es la relación entre el flujo luminoso recibido por un cuerpo y el flujo emitido por la fuente luminosa. Lo proporciona el fabricante de la luminaria.

$C_m$  = coeficiente de mantenimiento: es el cociente que indica el grado de conservación de una luminaria.

Para calcular el número de luminarias, se emplea la siguiente fórmula:

Ecuación 2

$$NL = \frac{\Phi_T}{n\Phi_L}$$

Donde:

NL = número de luminarias

$\Phi_T$  = flujo luminoso total en la zona o local

$\Phi_L$  = flujo luminoso de una lámpara (se toma del catálogo)

n = número de lámparas que tiene la luminaria

La finalidad de este método es calcular el valor medio de la iluminancia en un local iluminado con alumbrado general. Es muy práctico, y por ello se utiliza mucho en la iluminación de interiores, cuando la precisión necesaria no es muy alta, como ocurre en la mayoría de los casos.

### **2.2.9. Fuerza**

No se cuenta con alguna instalación de circuitos de fuerza, por lo que se necesita el diseño e instalación de tales circuitos, previendo la expansión ante futuras cargas que requieran una potencia mayor. Hay tomas en mal estado, las cuales fueron reemplazadas y adecuadas a la nueva instalación.

### **2.2.10. Distribución de cargas**

De la inspección visual y tomando en cuenta que no contienen alguna carga conectada, en el diseño de la instalación eléctrica, cabe mencionar que se consideró tal punto, con el objetivo de evitar desbalances y además, lograr una calidad de energía y consumo eficiente. Lo anterior se toma en cuenta en la consideración teórica-práctica de tableros.

### **2.2.11. Intensidad lumínica por ambientes**

Porque el sistema no cuenta con alguna carga conectada, se llevó cabo el cálculo de la intensidad lumínica con el enfoque del patrón del flujo luminoso, bajo el método propuesto en el inciso 2.2.8. con el objetivo de llenar los requisitos que demande cada ambiente.

Con lo anterior, se llevó a cabo el análisis de luminarias, tanto para el interior como para el exterior de la institución. En la parte exterior, a solicitud del personal de mantenimiento, se llevó a cabo la colocación de reflectores, tal y como se muestra en figura 3.

Figura 3. **Reflector central**



Fuente: Granja Penal de Pavón, Fraijanes.

En la figura 4, se muestra otro de los reflectores instalado en una de las esquinas.

Figura 4. **Reflector esquina derecha**



Fuente: Granja Penal de Pavón, Fraijanes.

Un resumen de cálculos, de acuerdo a lo descrito anteriormente, se realizó tomando en cuenta los siguientes factores:  $E_m = 300$  lux, valor típico empleado en aulas y tutorías, con el objetivo que tal área sea un área de oficina y estudio;  $C_u = 0,97$  y  $C_m = 0,8$  como valores típicos;  $S = 6 \times 8$  m.

De acuerdo a lo anterior el flujo luminoso en lúmenes viene dado por:

Ecuación 3

$$\Phi_T = \frac{300 \cdot 6 \cdot 8}{0.97 \cdot 0.8} = 18,556.70$$

Tomando en cuenta una luminaria por lámpara y un flujo típico de 2 400 lúmenes, el número total de luminarias viene dado por:

Ecuación 4

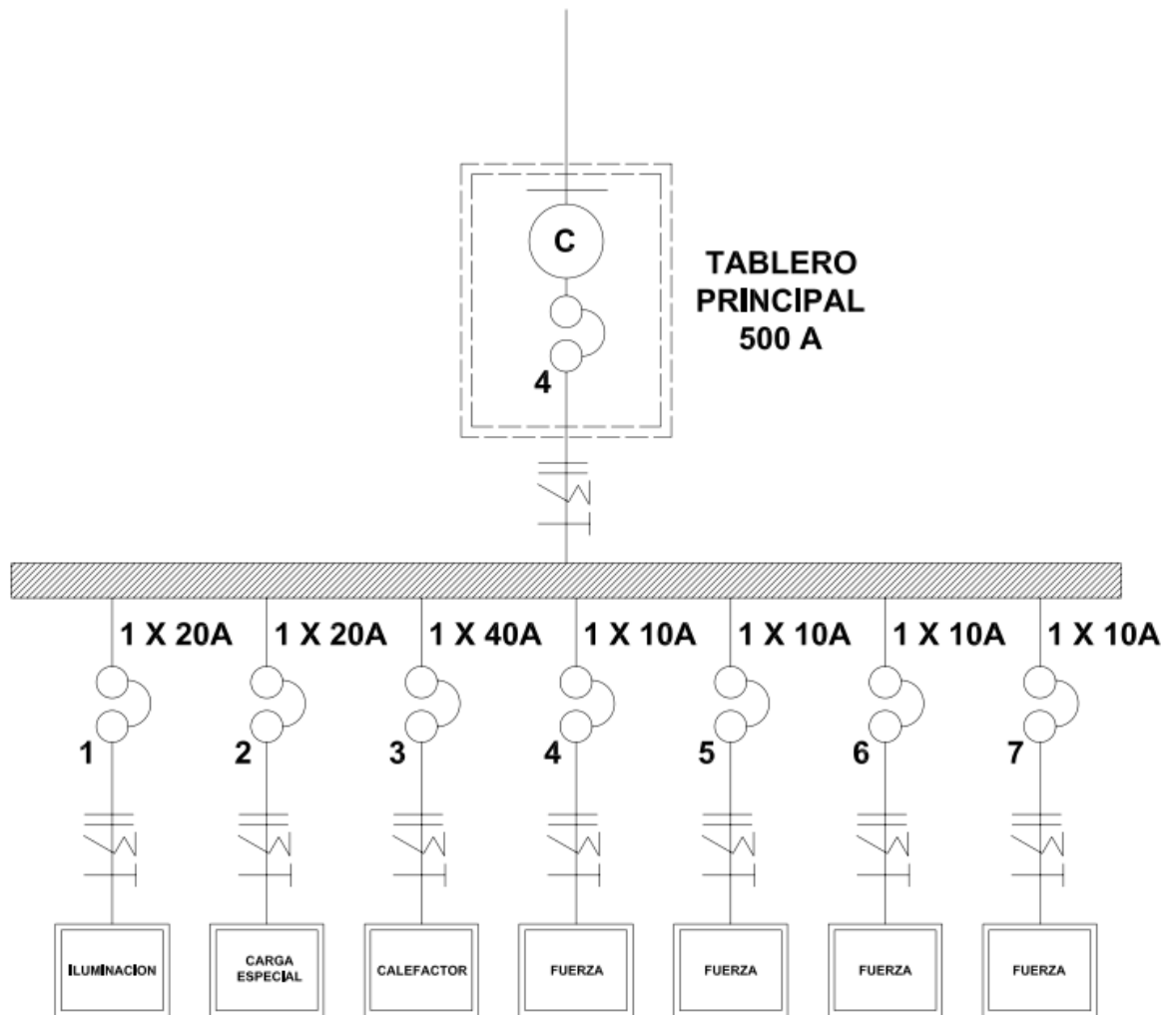
$$NL = \frac{18556.7}{1 \cdot 2400} = 7,73 \text{ luminarias}$$

En la instalación eléctrica se consideraron 6 lámparas interiores, bajo factores técnicos, condiciones del ambiente del inmueble y servicio al que será destinado, y un total de 6 reflectores como parte de la iluminación exterior.

#### **2.2.12. Diagrama unifilar de las instalaciones**

No se cuenta con algún tipo de esquema unifilar para las instalaciones existentes. Por lo que, de acuerdo a la inspección visual, a lo informado por el personal de mantenimiento y del análisis técnico de estudio de cargas a conectar, el diagrama unifilar del área de la cuadra de seguridad de la institución, quedó como se observa en figura 5.

Figura 5. **Diagrama unifilar del área de la cuadro de seguridad**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD.

### 2.2.13. Instalación de tierra física

El sistema carece de instalación de tierra física, únicamente cuenta con el lugar destinado a esa instalación, de acuerdo a lo informado por el personal de mantenimiento. Por lo que se tendría que realizar el tratamiento adecuado del suelo para la puesta en funcionamiento de la tierra física, considerando que tal

instalación cumpla estándares de calidad para tal fin. En la figura 6 se observa el lugar con el que se cuenta para la instalación de tierra física.

Figura 6. **Espacio para tierra física**



Fuente: Granja Penal de Pavón, Fraijanes.

Como se observa, se cuenta con el espacio asignado, pero en condiciones no apropiadas.

### **2.3. Cálculo de las instalaciones eléctricas**

Se procedió al diseño y cálculo de las instalaciones eléctricas para tal sector de la institución, seleccionado un tablero de distribución (único) con una capacidad de 500 A. La instalación eléctrica se desarrolló bajo criterios técnicos



y de ingeniería, enfocados a la eficiencia energética. En la siguiente figura se muestra el tablero seleccionado (marca General Electric).

**Figura 7. Tablero principal (único) nuevo**



Fuente: Granja Penal de Pavón, Fraijanes.

La colocación del tablero quedó, como se muestra en la figura 8.

Figura 8. **Puesta del tablero principal**



Fuente: Granja Penal de Pavón, Fraijanes.

En la figura 8 se ve el cableado en desuso y un tablero secundario fuera de línea, el cual se omitió mencionarlo en los incisos anteriores, por ser de carácter vestigial. Se procedió a mejorar el trabajo civil dentro del entorno del tablero, quedando como se muestra en la figura 9.

Figura 9. **Tablero principal y entorno**



Fuente: Granja Penal de Pavón, Fraijanes.

Para el trabajo final de pintura, el personal de mantenimiento de la institución, se comprometió a realizarlo una vez terminado el proyecto de la instalación eléctrica. Únicamente se menciona el tema como referencia, porque no formó parte del proyecto de la instalación eléctrica.

### **2.3.1. Distribución de cargas por circuito**

Del estudio realizado en la instalación eléctrica se consideró, de acuerdo a la necesidad del sector de la cuadra de seguridad, un total de carga de 130 A, cuyo desglose se dará a conocer más adelante. Cabe mencionar que se dispone de un margen de carga para expansiones futuras, no obstante las condiciones anteriores fueron las requeridas por la institución (cuadra de seguridad), bajo previa consideración técnica y factores de calidad.

### **2.3.2. Cálculo de conductores**

El desglose de las cargas conectadas es el siguiente:

Cargas de iluminación: 20 A

Cargas de contactos: 40 A

Carga especial continua: 20 A

Calefactor: 40 A

Para las cargas de contactos se consideró un factor de demanda igual a 1. Para el caso de carga de iluminación se tomo el factor de demanda de 1,25 de la misma forma para la carga especial, siendo el resumen de cargas afectadas por los factores técnicos el siguiente:

- Cargas de iluminación:  $20 \times 1.25 = 25 \text{ A}$
- Cargas de contactos:  $40 \times 1 = 40 \text{ A}$
- Calefactor:  $40 \times 1 = 40 \text{ A}$
- Carga especial continua:  $20 \times 1.25 = 25 \text{ A}$

Con un total de carga de 130 A. Como el cableado del transformador al tablero está en mal estado, se procedió a dimensionar tal conductor, siendo el valor del calibre del mismo de acuerdo a la tabla de ampacidades de THWN 1/0 AWG, considerando factores de crecimiento de demanda. Cabe mencionar que los cables que vienen del transformador del poste de distribución, están colocados en una instalación subterránea. Para acoplar el tablero de distribución se empalmó con el conductor THWN 1/0 AWG. Este conductor tiene una capacidad de 150 A, valor considerado como suficiente ante el crecimiento de demanda en el sector de la cuadra de seguridad de la institución.

En la figura 10 se muestra cómo se colocó el tubo que lleva los conductores hacia el tablero principal (único). El diámetro del tubo eléctrico utilizado fue de 1 ½”.

Figura 10. **Tubo PVC eléctrico y reflector**



Fuente: Granja Penal de Pavón, Fraijanes.

En la tabla I se muestran los valores de las ampacidades que se utilizaron para el dimensionamiento de conductores.

Tabla I. Ampacidad de conductores

T A B L A 1.6

AMPACIDAD DE CONDUCTORES AISLADOS DE COBRE DE 1 A 3 CONDUCTORES  
EN CONDUIT (BASADO EN UNA TEMPERATURA AMBIENTE DE 30 °C)  
RANGO DE TEMPERATURA DEL CONDUCTOR (VER TABLA C)

| °C                               | 60 °C   | 75 °C                           | 90 °C                    | 110 °C     | 125 °C | 200 °C  | 250 °C |
|----------------------------------|---------|---------------------------------|--------------------------|------------|--------|---------|--------|
|                                  | 140 °F  | 167 °F                          | 194 °F                   | 230 °F     | 257 °F | 392 °F  | 482 °F |
| T I P O S                        |         |                                 |                          |            |        |         |        |
| CALIBRE DEL CONDUCTOR<br>AWG MCM | T<br>TW | RH<br>RHW<br>RUH<br>THW<br>THWN | TA<br>TBS<br>RHH<br>RHHN | AVA<br>AVL | AIA    | A<br>AA | TFE    |
| 18                               |         |                                 | 21                       |            |        |         |        |
| 16                               |         |                                 | 22                       |            |        |         |        |
| 14                               | 15      | 15                              | 25                       | 30         | 30     | 30      | 40     |
| 12                               | 20      | 20                              | 30                       | 35         | 40     | 40      | 55     |
| 10                               | 30      | 30                              | 40                       | 45         | 50     | 55      | 75     |
| 8                                | 40      | 45                              | 50                       | 60         | 65     | 75      | 95     |
| 6                                | 55      | 65                              | 70                       | 80         | 85     | 95      | 120    |
| 4                                | 70      | 85                              | 90                       | 105        | 115    | 120     | 145    |
| 3                                | 80      | 100                             | 105                      | 120        | 130    | 145     | 170    |
| 2                                | 95      | 115                             | 120                      | 135        | 145    | 165     | 195    |
| 1                                | 110     | 130                             | 140                      | 160        | 170    | 190     | 220    |
| 1/0                              | 125     | 150                             | 155                      | 190        | 200    | 225     | 250    |
| 2/0                              | 145     | 175                             | 185                      | 215        | 230    | 250     | 280    |
| 3/0                              | 165     | 200                             | 210                      | 245        | 265    | 285     | 315    |
| 4/0                              | 195     | 230                             | 235                      | 275        | 310    | 340     | 370    |
| 250                              | 215     | 255                             | 270                      | 315        | 335    |         |        |
| 300                              | 240     | 285                             | 300                      | 345        | 380    |         |        |
| 350                              | 260     | 310                             | 325                      | 390        | 420    |         |        |
| 400                              | 280     | 335                             | 360                      | 420        | 450    |         |        |
| 500                              | 320     | 380                             | 405                      | 470        | 500    |         |        |
| 600                              | 355     | 420                             | 455                      | 525        | 545    |         |        |
| 700                              | 385     | 460                             | 490                      | 560        | 600    |         |        |
| 750                              | 400     | 475                             | 500                      | 580        | 620    |         |        |
| 800                              | 410     | 490                             | 515                      | 600        | 640    |         |        |
| 900                              | 435     | 520                             | 555                      | ---        | ---    |         |        |
| 1000                             | 455     | 545                             | 585                      | 680        | 730    |         |        |
| 1250                             | 495     | 590                             | 645                      | ---        | ---    |         |        |
| 1500                             | 520     | 625                             | 700                      | 785        | ---    |         |        |
| 2000                             | 560     | 665                             | 775                      | 840        | ---    |         |        |

1.- PARA TEMPERATURAS MAYORES VER TABLA C DE FACTORES DE CORRECCION.  
2.- AMPACIDAD PARA LOS TIPOS DE CONDUCTORES RRH, THHN. CALIBRE 14, 12 Y 10. DEBE SER EL MISMO PARA CONDUCTORES DE 75 °C EN ESTA TABLA.

Copyrighted material

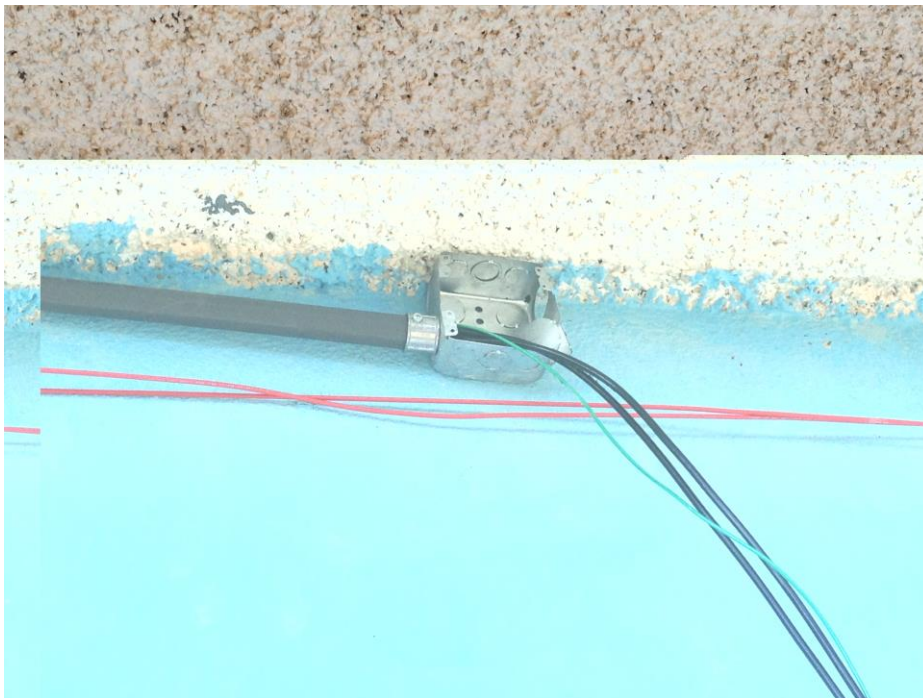
Fuente: HARPER, Gilberto Enrique. *Guía práctica para el cálculo de instalaciones eléctricas.*

Para el caso de los circuitos de iluminación, con un total de carga de 25 A, se procedió a utilizar de acuerdo a la tabla I el conductor THWN 10 AWG. Para el caso de los contactos como conforman 4 grupos de 10 A, se procedió a utilizar el conductor THWN 14 AWG.

Por otro lado, la carga especial se dimensionó sobre 20 A, de acuerdo a la tabla I, el conductor seleccionado fue el THWN 12 AWG. Para el caso del conductor del calefactor de 40 A se utilizó el conductor 8 AWG.

En la figura 11 se muestra la colocación de cajas de registro y conductor hacia el tablero principal, como también el cable de tierra física.

Figura 11. **Cableado hacia tablero principal y caja de registro**



Fuente: Granja Penal de Pavón, Fraijanes.



Los conductores de color rojo fueron removidos. Una vista del trabajo en otro ángulo se muestra en la figura 12.

Figura 12. **Vista general de la instalación de la acometida al tablero principal**



Fuente: Granja Penal de Pavón, Fraijanes.

### **2.3.3. Cálculo de protecciones**

Las protecciones en instalaciones eléctricas están orientadas hacia la función principal de prevenir daño a conductores y aislamientos debidos a corrientes excesivas que circulan debido a corto circuito, de fase a tierra o entre fases.

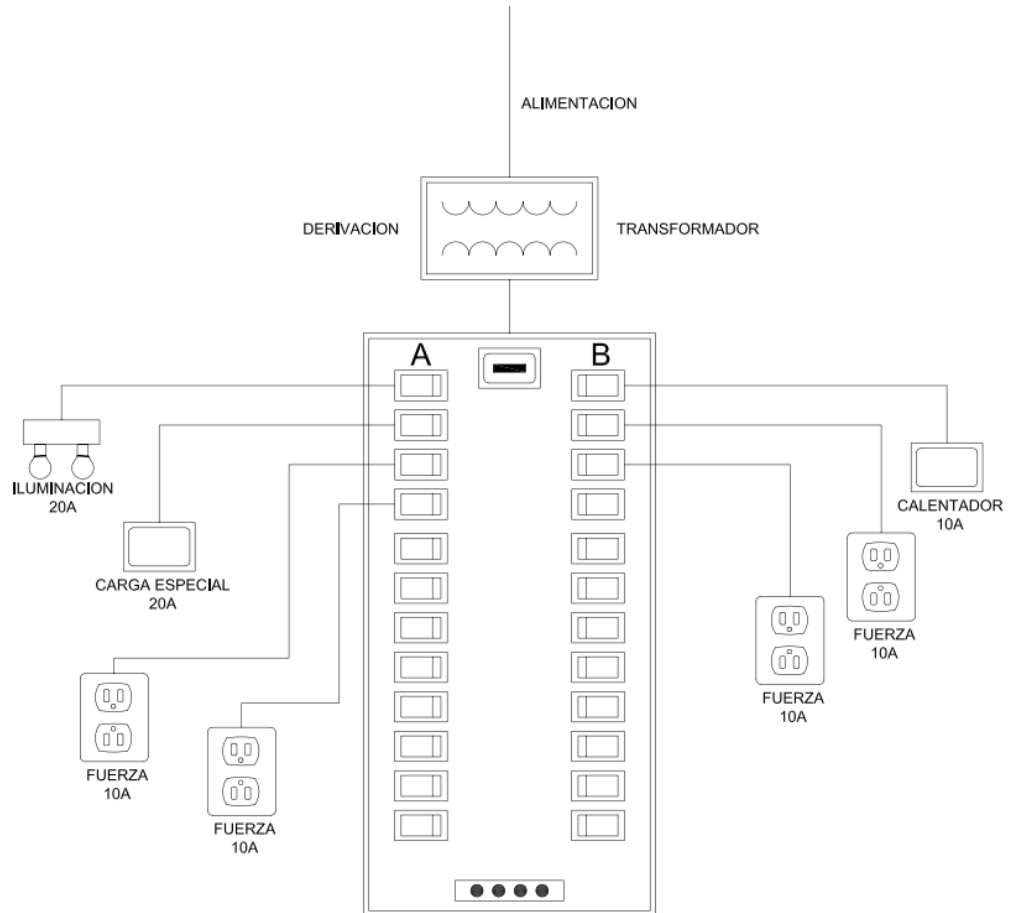
Los interruptores magnéticos seleccionados fueron acorde al tipo de carga conectada, siendo los siguientes:

- Alumbrado: un interruptor de 20 A, el cual concentra circuitos derivados
- Contactos: cuatro interruptores de 10 A
- Carga especial continua: un interruptor de 20 A
- Calefactor: un interruptor de 40 A

#### **2.3.4. Distribución de circuitos en tableros**

Como la instalación eléctrica que se diseñó cuenta con un único tablero, de acuerdo a las necesidades presentadas por la cuadra de seguridad de la Institución, el esquema de distribución de circuitos en el tablero es como se muestra en la figura 13.

Figura 13. **Distribución de cargas**



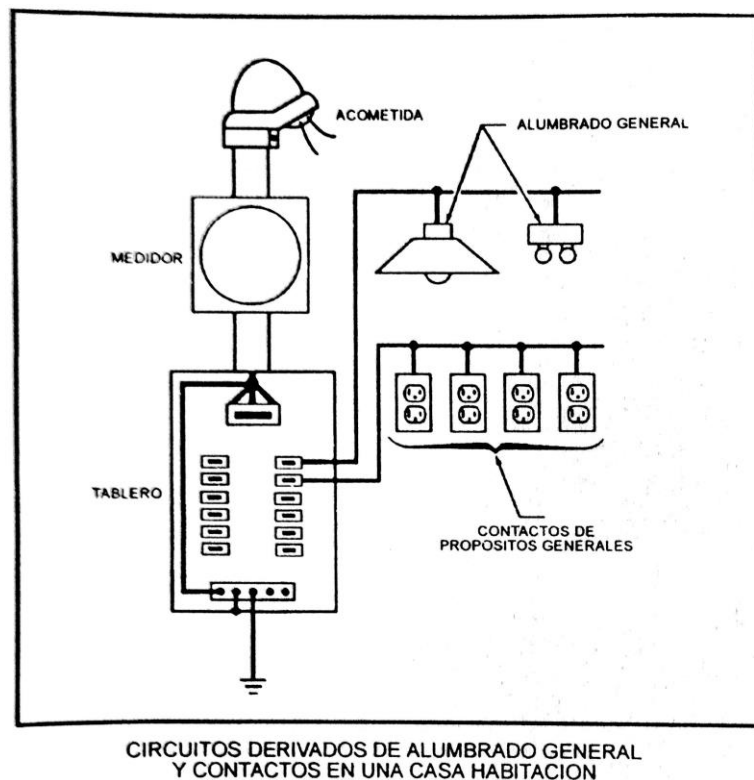
Fuente: elaboración propia, en programa AutoCAD.

### 2.3.5. **Cálculo de tablero principal y sus protecciones**

El tablero principal que se diseñó por requerimiento técnico, fue uno de capacidad de 500 A de veinticuatro circuitos, el cual está dentro del rango operativo de la carga total conectada de 130 A, incluyendo la consideración técnica de los factores de demanda. Considerando expansiones futuras de la red actual.

Un esquema de interés de la configuración de tablero puesto en marcha, obedece a la figura 14.

Figura 14. **Acometida, tablero y circuitos derivados**



Fuente: HARPER, Gilberto Enrique. *Guía práctica para el cálculo de instalaciones eléctricas.*

p. 15.

Se consideró la instalación de una tierra física, tomando en cuenta que se mejora el funcionamiento de los equipos eléctricos, electrónicos y todo lo relacionado con las instalaciones eléctricas, además se protegen zonas de alto riesgo o zonas con manejo de alto voltaje, donde hay personas que resulten lesionadas sin el sistema de tierra física.

Asimismo, al proteger el equipo eléctrico en general, se obtiene un incremento en la seguridad, ahorro de energía, mayor calidad y mayor tiempo de vida en los aparatos, atenuación del ruido y disminución de calentamiento en cables, disminución en fallas, entre otros.

Los objetivos que persigue un sistema puesta a tierra son muchos, en especial el de brindar seguridad a las personas, proteger las instalaciones, los equipos, facilitar y garantizar la correcta operación de los dispositivos de protección, asegurar ventajas en los centros de trabajo y la vida de los equipos, establecer la permanencia de un potencial de referencia al estabilizar la tensión eléctrica a tierra bajo las condiciones normales de operación.

El tipo de tierra física seleccionado fue el de varilla de cobre, como el mostrado en la figura 15.

Figura 15. **Varilla de cobre**



Fuente: METAS. <http://www.metas.com.mx/guiamet/la-guia-metas-08-03-tierra-fisica.pdf>.

Consulta: 14 de julio de 2014.

Se utilizó un electrodo de cobre, con una longitud de 2 metros y un diámetro de 5/8", con estos parámetros al momento de realizar mediciones de resistencia del terreno, se verificó que cumplían con el objetivo del rango de resistencia tolerable tal y como se detalla más adelante. En las siguientes imágenes se muestra el estado que tenía la construcción destinada para tal propósito en un inicio, y luego cómo quedó después del diseño.

Figura 16. **Estado anterior del espacio para tierra física**



Fuente: Granja Penal de Pavón, Fraijanes.

**Figura 17. Estado actual del espacio para tierra física, tomando en cuenta que hubo necesidad de obra civil, para evitar contaminación exterior**



Fuente: Granja Penal de Pavón, Fraijanes.

En la figura 17 se ve que la tierra física quedó en un lugar adecuado y protegido. Cabe mencionar que el mantenimiento e inspección quedó a cargo del personal de mantenimiento de la institución. Se comentó el tema de verificaciones periódicas entre otros, para la conservación de tal instalación de tierra física bajo las condiciones adecuadas.

### **2.3.6. Medición de resistividad del terreno**

Para determinar el diseño del sistema de conexión a tierra física es necesario conocer la resistividad del terreno; el cual raras veces es homogéneo y la resistividad del terreno varía geográficamente y a diferentes profundidades y a diferentes ambientes.

El funcionamiento básico de los instrumentos para comprobar la resistividad del terreno utiliza en línea recta sobre el terreno cuatro estacas de conexión a tierra física, equidistantes entre sí. La distancia entre las estacas de conexión a tierra física debe ser de, al menos, tres veces mayor que la profundidad de la estaca. De modo que, si la profundidad de cada estaca de conexión a tierra física es de 0,30 metros, la distancia entre estacas sea mayor que 0,91 metros. El instrumento genera una corriente conocida a través de las dos estacas externas de conexión a tierra física, y la caída del potencial de voltaje se mide entre las dos estacas internas de conexión a tierra física. Usando la ley de Ohm ( $V = I \cdot R$ ), el comprobador calcula automáticamente la resistencia del terreno.

Al cambiar la profundidad y la distancia varias veces se produce un perfil que determina un sistema apropiado de resistencia del terreno. La mayoría de los comprobadores utilizan un sistema de control automático de frecuencia con el objetivo de lograr una menor cantidad de ruido, permitiendo obtener una lectura clara.

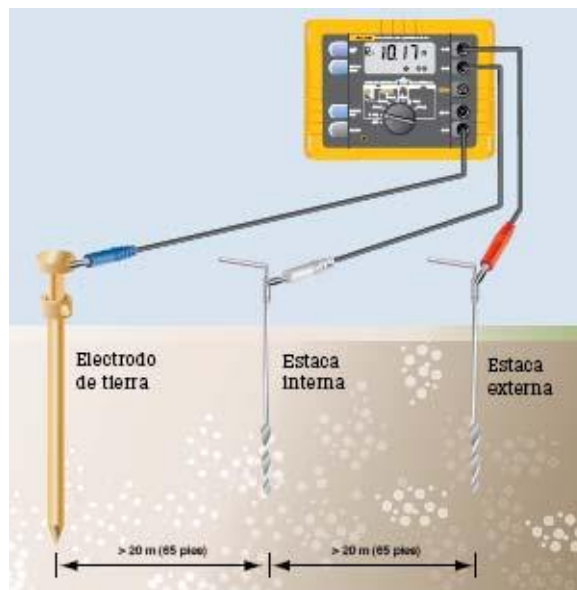
El método tradicional fue el de comprobación de caída de potencial, el cual se utiliza para medir la capacidad de un sistema de conexión a tierra física o un electrodo individual para disipar la energía de un sitio, y es el método que utilizan los equipos conocidos como telurómetros.



El telurómetro genera una corriente conocida entre la estaca externa (estaca auxiliar de conexión a tierra) y el electrodo de tierra, mientras que se mide el potencial de caída de tensión entre la estaca interna de tierra y el electrodo de tierra. Utilizando la ley de Ohm ( $V = I \cdot R$ ), el comprobador calcula automáticamente la resistencia del electrodo de tierra. Si este electrodo de tierra física está en paralelo o en serie con otras varillas de conexión a tierra física, el valor de resistencia desplegado en el medidor resulta ser el valor total de todas las resistencias.

Para el caso del proyecto de instalación eléctrica fue de una sola varilla. Con una impedancia del terreno medida de 20 Ohm. El esquema gráfico utilizado, se muestra en la figura 18.

Figura 18. **Medición de resistencia del terreno**



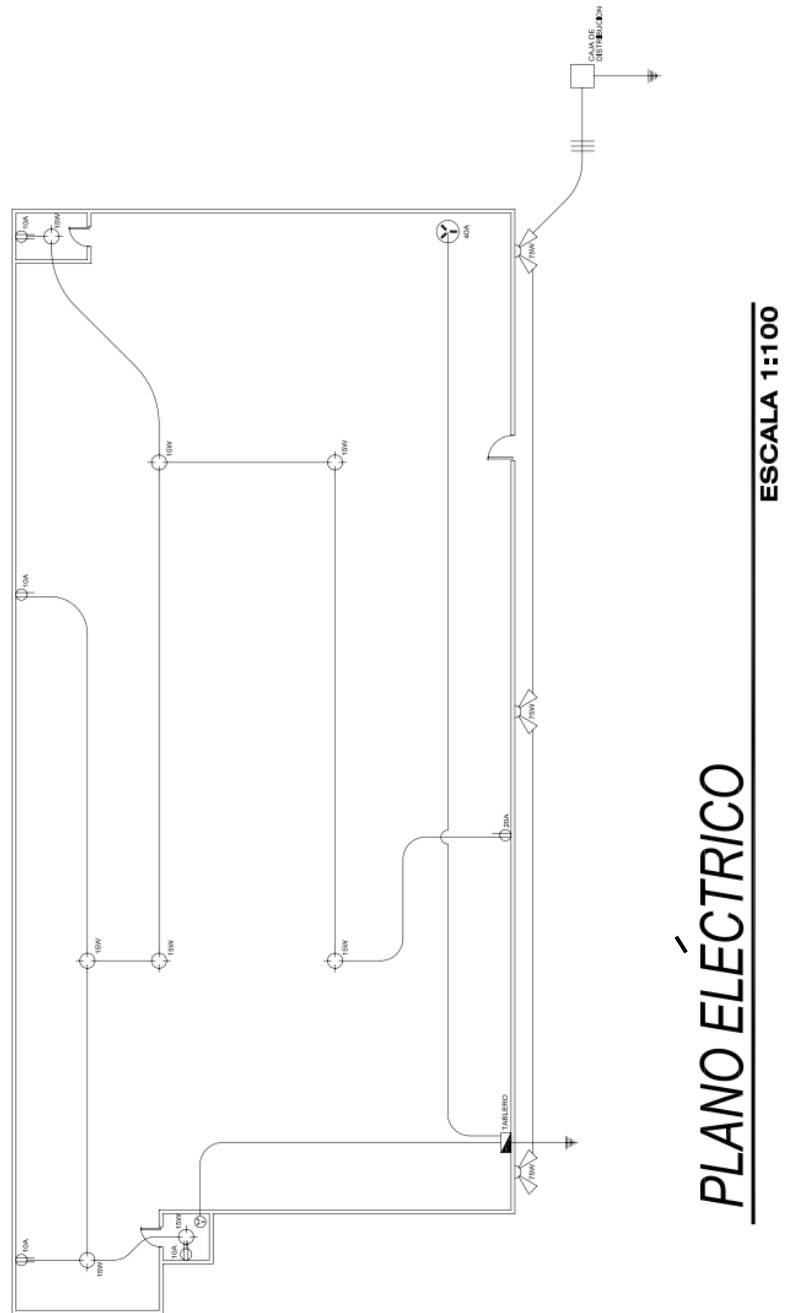
Fuente: METAS. <http://www.metas.com.mx/guiamet/la-guia-metas-08-03-tierra-fisica.pdf>.

Consulta: 17 de julio de 2014.

### **2.3.7. Elaboración de planos finales**

Como parte de una guía y complemento final de la instalación eléctrica, se presentan los planos finales del proyecto, cabe mencionar que el formato utilizado es de representación gráfica para este informe. Los planos originales fueron entregados al personal de mantenimiento de la institución. En la figura 19, se muestran el plano eléctrico general:

Figura 19. **Plano de eléctrico de nivel único (Granja Penal de Pavón, Fraijanes (cuadra de seguridad))**



**PLANO ELÉCTRICO**

ESCALA 1:100

Fuente: elaboración propia, en AutoCAD.

## **2.4. Comparaciones teórica–práctica**

En la instalación eléctrica efectuada, se consideraron tablas de conductores, de acuerdo a capacidades por circuito, es decir que cada uno de los circuitos se diseñó tomando en cuenta tablas, especificaciones técnicas de conductores, como calibres y protección por circuito.

Se consideró el factor de demanda según el uso de cada circuito, ya sea continuo o no continuo. Adicionalmente en un inicio se estableció el tipo de carga y capacidad para cada circuito conjuntamente con la Institución, de acuerdo a sus requerimientos, analizados técnicamente.

### **2.4.1. Comparación de calibre de conductor, protección por circuito y análisis de la calidad de energía**

Después de realizado el cálculo de todos los circuitos, se puede observar que se tiene instalado un conductor de diámetro aproximadamente igual al necesario. Por tal motivo se indica que los circuitos no necesitan cambio de conductor, ni de protección.

**Tabla II. Comparación teórica-práctica del calibre del conductor utilizado en la instalación eléctrica**

| Circuito | Descripción    | Cálculo práctico |        | Cálculo teórico |        |
|----------|----------------|------------------|--------|-----------------|--------|
|          |                | THWN No.         | Flipon | THWN No.        | Flipon |
| 1        | Iluminación    | 12               | 1x20   | 14              | 1x20   |
| 2        | Carga Especial | 12               | 1x20   | 12              | 1x20   |
| 3        | Calefactor     | 8                | 1x40   | 8               | 1x40   |
| 4        | Fuerza         | 14               | 1x10   | 14              | 1x10   |
| 5        | Fuerza         | 14               | 1x10   | 14              | 1x10   |
| 6        | Fuerza         | 14               | 1x10   | 14              | 1x10   |
| 7        | Fuerza         | 14               | 1x10   | 14              | 1x10   |

Fuente: elaboración propia.

Lo descrito en la tabla II muestra las cargas que fueron requeridas, el calibre de los conductores y las protecciones instaladas. Cabe mencionar que la capacidad máxima del transformador de la distribuidora EEGSA que alimenta la acometida que va del mismo al tablero de distribución (único) es de 15 kVA, la capacidad proyectada de carga es de 150 A. Por lo anterior, como se detalló anteriormente, se eligió un conductor 1/0 AWG, bajo consideraciones de consumo eficiente de energía y calidad de la misma.

Un factor importante a tomar en cuenta es la calidad del suministro, que no es más que la normalización del suministro eléctrico mediante reglas que fijan los niveles, parámetros básicos, forma de onda, armónicos, niveles de distorsión armónica, interrupciones, entre otros. La calidad de suministro suele referirse a la calidad de la onda de tensión de la energía eléctrica en sistemas de tensión alterna, no obstante, se debe tomar en cuenta que el consumidor debe ayudar, de alguna forma, a eliminar las perturbaciones, en el sentido de la correcta dimensionalidad de la instalación eléctrica.

Los parámetros que se incluyen en el concepto de calidad son los siguientes:

- Confiabilidad del servicio
- Desviaciones de la frecuencia
- Desviaciones y fluctuaciones de tensión:
  - Desviaciones de la tensión nominal o de trabajo
  - Fluctuaciones rápidas de la tensión
  - Modulaciones en la onda de tensión
  - Sobretensiones
- Distorsión de la onda de tensión y corriente
- Asimetría de las tensiones trifásicas

En lo referido a las perturbaciones de la tensión, se puede considerar lo siguiente:

- Depresión: bajón, de tensión, lo cual es una reducción repentina, seguida por una recuperación, después de un corto período de tiempo (desde unos pocos ciclos hasta unos pocos segundos).
- El bajón de tensión se caracteriza por el valor eficaz por debajo de determinado umbral, que generalmente se toma como 90 % de la tensión de referencia.

Las interrupciones de tensión es el bajón para 1-10 % de la tensión de referencia y se caracterizan sólo por la duración.

La sociedad y la industria actual poseen un sistema complejo en cuanto a equipamiento electrónico de diversas generaciones, vinculados al control de procesos, accionamiento, procesamiento de datos, comunicaciones y transmisión de información, dispositivos domésticos y comerciales.

Los fabricantes de este equipamiento, en un mercado competitivo, diseñan el burden de sus equipos en el nivel normado por el sistema, de manera que las desviaciones dentro de esos límites no afectan el funcionamiento.

Una insuficiente calidad en el suministro de la energía eléctrica afecta, en mayor o menor grado, a otras tecnologías y procesos industriales, donde las pérdidas económicas que se generan por este concepto llegan a ser importantes.

La deficiente calidad en el suministro provoca una operación ineficiente e impropia, entre otros, en las redes eléctricas, conducente a averías o incremento en los costos de operación, los que, al final, redundan en pérdidas para las compañías del servicio eléctrico.

Con parámetros de tensión diferentes a los nominales o de trabajo ocurre la aceleración del envejecimiento del aislamiento de los equipos eléctricos, como consecuencia de un calentamiento más intensivo y, en una serie de casos como resultado del reforzamiento de procesos de ionización. De aquí se deriva una intensificación de las tasas de averías.

Las desviaciones de tensión conllevan un aumento del calentamiento de motores eléctricos con momentos constantes de carga, provocando con ello la disminución de la vida útil del aislamiento.

La asimetría en la tensión también conlleva a calentamiento adicional del equipamiento de fuerza y disminuye su vida útil. Este defecto también influye negativamente en el funcionamiento de algunos esquemas de protecciones por relés, provocando operaciones erráticas.

Por otro lado, la presencia de armónicos superiores conduce a la aceleración del envejecimiento del aislamiento, al calentamiento adicional de las partes conductoras de los equipos e instalaciones, al incremento de las pérdidas de energía en las redes, a la operación errática de los esquemas de protecciones eléctricas, al envejecimiento acelerado de las baterías de condensadores provocando su fallo, entre otros. La presencia de armónicos superiores, también implica el aumento de las pérdidas parásitas e histerésicas en los núcleos de motores y transformadores, tanto del sistema eléctrico como de los propios consumidores. De igual manera crean interferencias en los servicios de comunicaciones y transmisión de datos.

La reducción de la frecuencia conduce a una disminución de la productividad de los accionamientos eléctricos, al trabajo inestable de equipos electrónicos, de mediciones y de sistemas de protecciones. En las centrales termoeléctricas tiene también influencia en las vibraciones de las turbinas, las que tienen bandas estrictas de variaciones admisibles de este parámetro.

Existen consumidores altamente contaminantes de la red, al tener equipos que significan cargas alineales, grandes generadoras de armónicos, tales son los casos de los hornos de fundición por arco eléctrico, los equipos de soldadura por arco, los equipos numéricos, los equipos de cómputo, entre otros.

El papel principal en la calidad del servicio eléctrico recae, por supuesto, en la empresa del servicio público, la que debe mantener los parámetros de



tensión y frecuencia en los valores nominales o de trabajo en todo momento, pero tienen una incidencia muy importante los propios consumidores, causantes de contaminación de la red, desde los consumidores del sector residencial hasta los grandes consumidores industriales. La contaminación del sector residencial hacia la red es fundamental, de carácter extensivo, pues el peso relativo de un solo consumidor es insignificante.

Cabe mencionar que existen indicadores de calidad de energía, los cuales están conformados por fórmulas, cuyos valores ayudan a determinar el factor calidad y además los resultados, son útiles al momento de la toma de decisiones. Siendo los que se describen a continuación:

- Desviación de la tensión: dando por la siguiente expresión:

Ecuación 5

$$\Delta U = \frac{U - U_{nom}}{U_{nom}} * 100$$

Donde:

$\Delta U$  = porcentaje de cambio de tensión (valor absoluto)

$U$  = tensión máxima

$U_{nom}$  = tensión nominal

- Bajón de tensión: se toma como referencia el valor por debajo del 90 % de la tensión de referencia ( $U_{ref}$ ), caracterizado por la magnitud efectiva y la duración.
- Distorsión de la onda de tensión (o corriente).

### Ecuación 6

$$V_i' = \frac{V_i}{V_{nom}} * 100$$

Donde:

$V_i'$  = valor porcentual de la tensión del armónico i

$V_i$  = valor de la tensión del armónico i

$V_{nom}$  = valor de la tensión nominal

- Asimetría de la tensión: dado por

### Ecuación 7

$$K_2 = 100 * \frac{U_2}{U_1}$$

Donde:

$K_2$  = es el coeficiente de secuencia negativa

$U_1 = 0.33(U_{ab} + U_{bc} + U_{ca})$

$U_2 = 0.62(U_{dmax} - U_{dmin})$

Donde:

$U_{dmax}$  y  $U_{dmin}$  representan el mayor y menor desbalance entre las magnitudes de tensión. Adicionalmente, se considera la variable:

### Ecuación 8

$$K_0 = 173 \frac{U_0}{U_1}$$

Donde:

$K_0$  = coeficiente de secuencia cero

$U_0$  y  $U_1$  = valores de tensión mínimo y máximo de secuencia cero

Las variaciones de carga que provocan grandes efectos en los sistemas radican en los propios consumidores, estas variaciones afectan el comportamiento de todo el sistema y, en especial, del resto de las cargas conectadas en la barra del mismo consumidor. Cabe mencionar que, de acuerdo a lo anterior, el punto donde se logra mayor economía en la implementación de medidas para mejorar la calidad del servicio, es en las barras del usuario.

Se precisa de una compensación adecuada de la carga reactiva del consumidor, para lo cual ha de disponerse, por parte de este, de los bancos de capacitores requeridos, con el sistema de regulación adecuada para lograr un alto factor de potencia estable que, cuando la carga varía en un amplio margen, se requiera de bancos regulados.

Para poder analizar la calidad de suministro eléctrico es necesaria la instalación de analizadores de medida eléctrica, más complejos, precisos y completos que un sencillo medidor eléctrico. Un analizador eléctrico de calidad de suministro debe ser capaz de analizar, por sí mismo, todos los fenómenos eléctricos no deseados que afectarían a la carga o a la fuente suministradora de energía.

Por lo anterior se procedió a la toma de datos de medida, como voltaje, corriente, frecuencia (proveniente de la red) y factor. Cabe mencionar que estos datos constituyen el total de carga de la Granja Penal de Pavón, Fraijanes, incluyendo la instalación de la cuadra de seguridad. Debido a que está catalogado como un gran usuario, conectado en las redes de distribución de EEGSA, por superar los 100 kW de potencia, tal y como se muestra más adelante en los gráficos de análisis.

De acuerdo a la NTSD de la CNEE en el capítulo II y artículo 13, señala las obligaciones de los usuarios finales, que se detallan a continuación:

- a) Suscribir con su Distribuidor, el contrato de compra-venta de energía eléctrica, de conformidad con la Ley General de Electricidad, su Reglamento y estas Normas;
- b) Cumplir con todas las Normas que sean aprobadas por la Comisión;
- c) Realizar todas las instalaciones internas, incluyendo las reparaciones o modificaciones, que sean necesarias para evitar introducir perturbaciones en la red del Distribuidor que afecte la calidad del Servicio Eléctrico de Distribución;
- d) Pagar a la Comisión, el importe de las sanciones y/o multas que ésta le imponga, dentro de los primeros siete días del mes siguiente a la notificación respectiva;
- e) Pagar al Distribuidor las indemnizaciones que correspondan, en la facturación inmediatamente posterior al período de control, por incumplimiento de la calidad del servicio de energía eléctrica, de acuerdo a estas Normas.

Lo anterior fue tomado en cuenta para el dimensionamiento de la instalación de la cuadra de seguridad de la institución.

Por otro lado en el capítulo II en los artículos del 23 y 24 de la NTSD de la CNEE, en lo referente a la regulación de tensión, se señala lo siguiente:

Artículo 23. Índices de Calidad. A efectos de evaluar convenientemente el conjunto de las mediciones realizadas a lo largo del proceso de medición, se determinarán los siguientes índices o indicadores individuales y globales, cuyo incumplimiento dará origen a la aplicación de indemnizaciones individuales y globales a los Usuarios afectados, según corresponda.

Los valores de tensión registrados, utilizados para la determinación de los índices o indicadores, se analizarán con base a las desviaciones del valor nominal medido, discriminados por bandas de unidad porcentual.

El índice de calidad de regulación de tensión, se define a continuación:

1. Índice de Calidad de Regulación de Tensión. El índice para evaluar la tensión en el punto de entrega del Distribuidor al Usuario, en un intervalo de medición (k), será el valor absoluto de la diferencia ( $\Delta V_k$ ) entre la media de los valores eficaces (RMS) de tensión ( $V_k$ ) y el valor de la tensión nominal ( $V_n$ ), medidos en del mismo punto.

El artículo 24, señala lo siguiente:

Artículo 24. Tolerancias para la Regulación de Tensión. Todos los índices o indicadores estipulados en el Artículo anterior se calculan en relación de las tolerancias admisibles, para cada tipo de Usuario, en la Etapa que corresponda. A continuación se establecen las tolerancias de los índices o indicadores individuales y globales:

1. Tolerancias de los índices individuales. Las tolerancias admitidas en la desviación porcentual, respecto de las tensiones nominales en los puntos de entrega de energía eléctrica, serán las indicadas en cada una de las etapas de Transición y Régimen.

Tabla III. **Tolerancias admisibles por nivel de tensión**

| TENSION | TOLERANCIA ADMISIBLE RESPECTO DEL VALOR NOMINAL, EN % |                   |  |                     |                                |                   |
|---------|---|-------------------|--|---------------------|--------------------------------|-------------------|
|         | ETAPA   |                   |  |                     |                                |                   |
|         | TRANSICION  |                   | REGIMEN<br>A partir del Mes 1<br>hasta el 12 |                     | REGIMEN<br>A partir del Mes 13 |                   |
|         | SERVICIO<br>URBANO                                    | SERVICIO<br>RURAL | SERVICIO<br>O<br>URBANO                      | SERVICIO<br>O RURAL | SERVICIO<br>URBANO             | SERVICIO<br>RURAL |
| BAJA    | 12  | 15                | 10   | 12                  | 8                              | 10                |
| MEDIA   | 10  | 13                | 8  | 10                  | 6                              | 7                 |
| ALTA    | TRANSICION  |                   | REGIMEN<br>A partir del Mes 1<br>hasta el 12 |                     | REGIMEN<br>A partir del Mes 13 |                   |
|         | 7   |                   | 6  |                     | 5                              |                   |

Fuente: Normas Técnicas del Sistema de Distribución CNEE. p. 16.

Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad cuando, en un lapso de tiempo mayor al cinco por ciento del correspondiente al total del Período de Medición, las mediciones muestran que la Regulación de Tensión ha excedido el rango de tolerancias establecidas.

Tolerancias de los índices globales. Se establece como cinco por ciento el valor máximo para la tolerancia del índice o indicador global FEBNoPER (Bandas no Permitidas) durante el período de control.

Se debe considerar la incidencia del usuario en la calidad del producto, siendo un tema a considerar la distorsión armónica de la corriente generada por el usuario. A continuación se presenta el extracto del Artículo 41 de las mismas Normas:

Artículo 41. Índice de Calidad de la Distorsión Armónica de la Corriente de Carga. El índice está dado por la Distorsión Armónica de la Corriente de Carga medida en el punto de conexión.

Para tensiones mayores de 1 kV y potencias de carga mayores de 10 kW, se utiliza:

#### Ecuación 9

$$\begin{aligned} \text{DATI} &= (\sqrt{\sum I_i^2 / I_1^2}) \times 100 \\ \text{DAII} &= (I_i / I_1) \times 100 \end{aligned}$$

En donde:

DATI: Distorsión Armónica Total de Corriente.

DAII: Distorsión Armónica Individual de Corriente.

$I_i$  : Componente de la intensidad de corriente de la armónica de orden  $i$ .

$I_1$ : Componente de la intensidad de corriente de la frecuencia fundamental (60 Hz).

Para tensiones menores de 1 kV y potencias de carga menores de 10 kW, se utiliza:

### Ecuación 10

$$\Delta I_i = (I_i \text{ carga} - I_i \text{ límite})$$

Donde:

$I_i$  límite: límite de tolerancia establecida para la intensidad armónica.

En el artículo 42 se consideran las tolerancias permisibles por distorsión armónica de carga:

Artículo 42. Tolerancias para la Distorsión Armónica de la Corriente de Carga. La distorsión armónica de tensión producida por una fuente de corriente armónica dependerá de la potencia del Usuario, del nivel de tensión al cual se encuentra conectado, y del orden de la armónica, por lo que en la Tabla siguiente se establecen las tolerancias de corrientes armónicas individuales para distintos niveles de tensión, potencia máxima demandada y orden de armónica.

Tabla IV. Tolerancias por distorsión armónica de corrientes de carga

| ORDEN DE LA ARMONICA<br>(n)                                      | P ≤ 10 kW<br>V ≤ 1kV                   | P >10Kw<br>1kV < V ≤ 60kV                                    | P >50kW<br>v >60kV |
|--|--|--|--------------------|
|  | INTENSIDAD<br>ARMONICA<br>MAXIMA (AMP) | DISTORSION ARMONICA<br>INDIVIDUAL DE CORRIENTE<br>DAII, EN % |                    |
| <b>IMPARES NO MULTIPLOS DE 3</b>                                 |  |  |                    |
| 5  | 2.28                                   | 12.0   | 6.0                |
| 7  | 1.54                                   | 8.5  | 5.1                |
| 11   | 0.66                                   | 4.3  | 2.9                |
| 13   | 0.42                                   | 3.0  | 2.2                |
| 17   | 0.26                                   | 2.7  | 1.8                |
| 19   | 0.24                                   | 1.9  | 1.7                |
| 23   | 0.20                                   | 1.6  | 1.1                |
| 25   | 0.18                                   | 1.6  | 1.1                |
| > 25   | 4.5/n                                  | 0.2 + 0.8*25/n   | 0.4                |
| <b>IMPARES MULTIPLOS DE 3</b>                                    |  |  |                    |
| 3  | 4.60                                   | 16.6   | 7.5                |
| 9  | 0.80                                   | 2.2  | 2.2                |
| 15   | 0.30                                   | 0.6  | 0.8                |
| 21   | 0.21                                   | 0.4  | 0.4                |
| > 21   | 4.5/n                                  | 0.3  | 0.4                |
| <b>PARES</b>   |  |  |                    |
| 2  | 2.16                                   | 10.0   | 10.0               |
| 4  | 0.86                                   | 2.5  | 3.8                |
| 6  | 0.60                                   | 1.0  | 1.5                |
| 8  | 0.46                                   | 0.8  | 0.5                |
| 10   | 0.37                                   | 0.8  | 0.5                |
| 12   | 0.31                                   | 0.4  | 0.5                |
| > 12   | 3.68/n                                 | 0.3  | 0.5                |
| <b>DISTORSION ARMONICA<br/>TOTAL DE CORRIENTE DATI,<br/>EN %</b> | --                                     | 20   | 12                 |

Fuente: Normas Técnicas del Sistema de Distribución CNEE. p. 26.

Se considerará que la energía eléctrica es de mala calidad cuando en un lapso de tiempo mayor al cinco por ciento, del empleado en las mediciones en el Período de Medición, dichas mediciones muestran que la Distorsión Armónica de la Corriente de Carga ha excedido el rango de tolerancias establecidas.



El efecto *flicker*, se considera en el capítulo II y artículos 45 y 46, los extractos de interés, se definen a continuación:

Artículo 45. Índice de flicker Generado por el Usuario. El índice de flicker generado por el Usuario se determina por el índice de severidad de flicker de corto plazo (Pst) medido sobre la impedancia de referencia fijada por la Norma IEC 1000-3-3.

Artículo 46. Tolerancias para el flicker generado por el Usuario.

Tabla V. **Tolerancias para el *flicker* generado por el usuario**

| Carga (SI) kW  | Pst         |
|--|-------------|
| <b>Tensión: (<math>\leq 1</math> kV)</b>                     |             |
| <b><math>SI \leq 20</math></b>                               | <b>1.00</b> |
| <b><math>20 &lt; SI \leq 30</math></b>                       | <b>1.26</b> |
| <b><math>30 &lt; SI \leq 50</math></b>                       | <b>1.58</b> |
| <b><math>SI &gt; 50</math></b>                               | <b>1.86</b> |
| <b>Tensión: (<math>1\text{kV} &lt; V \leq 230</math> kV)</b> |             |
| <b><math>SI / Scc \leq 0.005</math></b>                      | <b>0.37</b> |
| <b><math>0.005 &lt; SI / Scc \leq 0.02</math></b>            | <b>0.58</b> |
| <b><math>0.02 &lt; SI / Scc \leq 0.04</math></b>             | <b>0.74</b> |
| <b><math>SI / Scc &gt; 0.04</math></b>                       | <b>0.80</b> |

Fuente: *Normas Técnicas del Sistema de Distribución CNEE*. p. 28.

Scc: Capacidad de corto circuito del sistema en el punto de medición del flicker [kVA]

Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad cuando en un lapso de tiempo mayor al cinco por ciento, del empleado en las mediciones en el Período de Medición, dichas mediciones muestran que el flicker ha excedido el rango de tolerancias establecidas.

El factor de potencia es de interés en el estudio de las instalaciones eléctricas, de acuerdo al capítulo III y artículos 49 y 50 de la NTSD de la CNEE, se debe considerar lo siguiente:

Artículo 49. Valor Mínimo para el Factor de Potencia. El valor mínimo admitido para el factor de potencia se discrimina de acuerdo a la potencia del Usuario, de la siguiente forma:

Usuarios con potencias de hasta 11 kW 0,85  
Usuarios con potencias superiores a 11 kW 0,90

Artículo 50. Control para el Factor de Potencia. El control se realizará en el punto de medición o en la acometida del Usuario, en períodos mínimos de siete días, registrando datos de energía activa y reactiva. El factor de potencia se determinará, efectuando mediciones tanto en el período horario de punta como en el resto del día, de acuerdo a lo indicado a continuación:

Ecuación 11

$$Fpot_p = \frac{EnergAct_p}{\sqrt{(EnergAct_p^2 + EnergReact_p^2)}}$$

Donde:

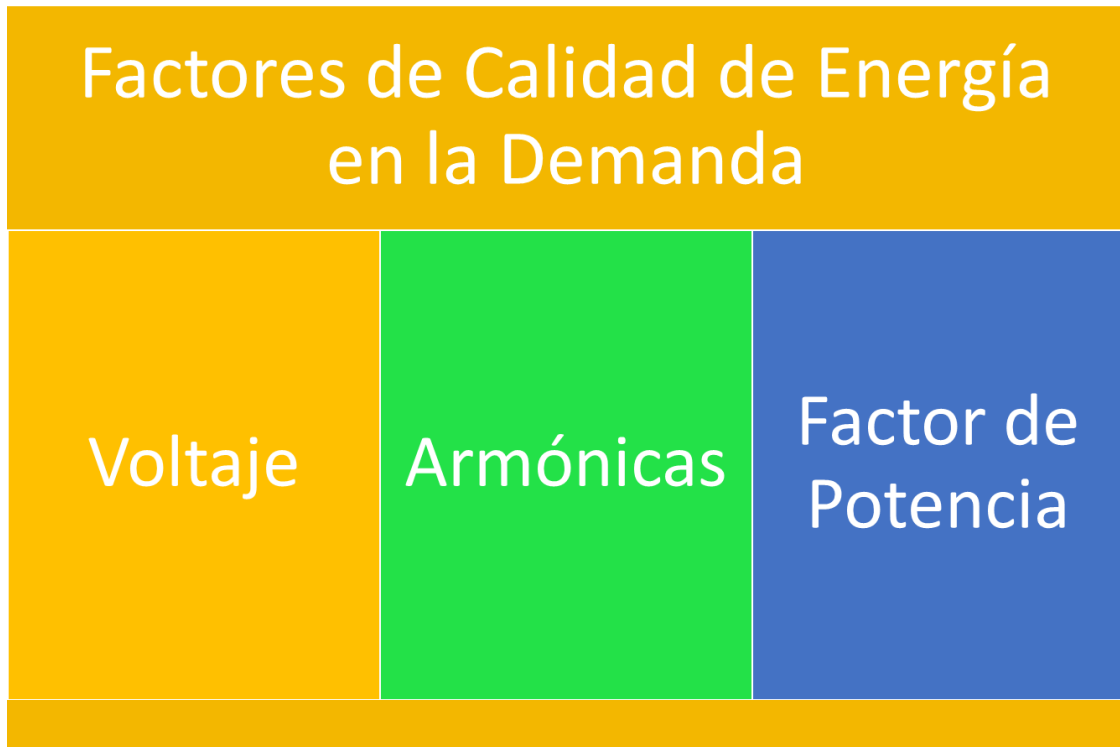
Fpot<sub>p</sub>: factor de Potencia para el período horario (p)

EnergAct<sub>p</sub>: energía activa registrada en el período de registro para el período horario (p).

EnergReact<sub>p</sub>: energía reactiva registrada en el período de registro para el período horario (p).

De acuerdo a las consideraciones anteriores, las variables de interés para la demanda se resumen en la figura 21.

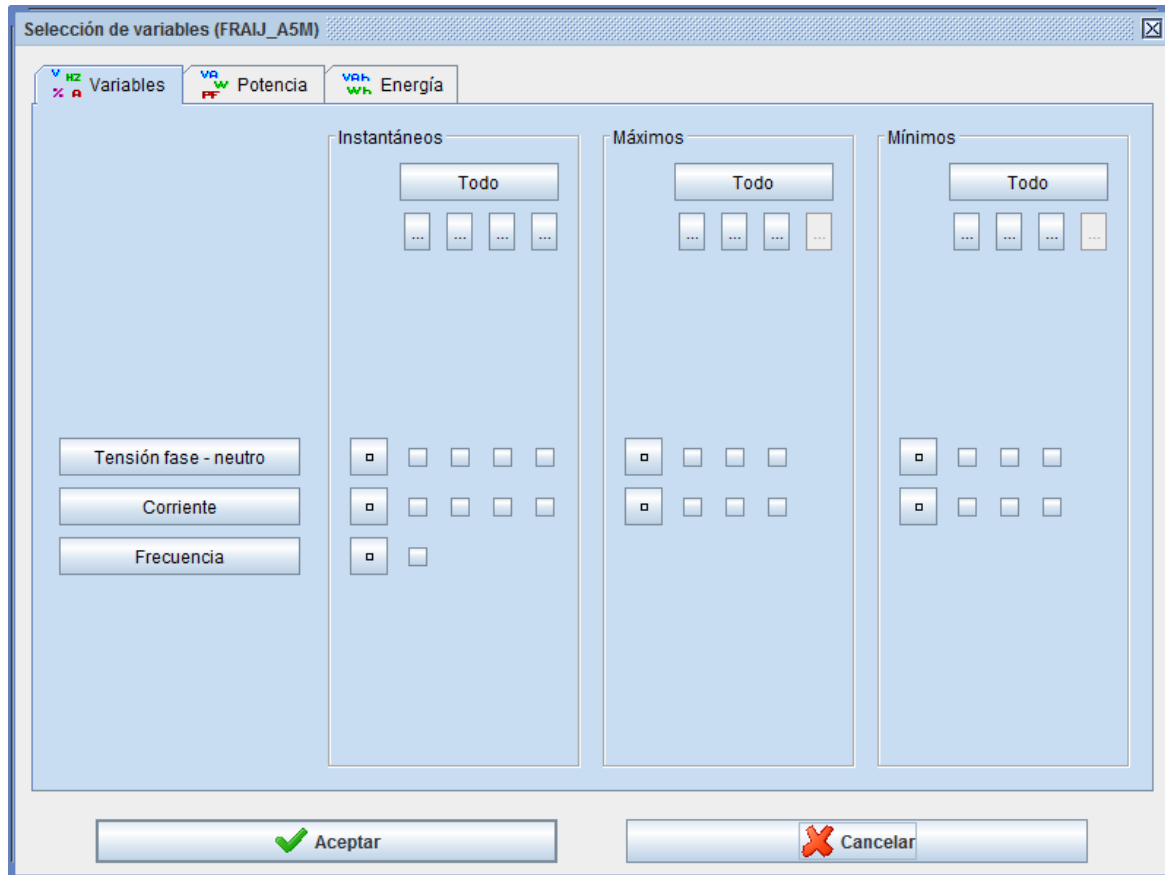
Figura 20. Factores calidad energía en la demanda



Fuente: elaboración propia.

Para el análisis efectuado a la calidad de energía del gran usuario Granja Penal de Pavón, Fraijanes, se utilizó como herramienta el software Power Vision Circutor, el cual llena los requisitos para tal fin. El estudio se basó en datos históricos, que puede aproximarse a lo actual, por el hecho de que no es un gran usuario con crecimiento de demanda exponencial, sino que se ha mantenido prácticamente constante. En la figura 21, se muestra el menú inicial para el procesamiento de información.

Figura 21. Menú de variables de entrada



Fuente: elaboración propia.

En la figura 22, se muestra el gráfico para el período de datos históricos de la medición de los parámetros de corriente (A), frecuencia (Hz) y voltaje (V).

Figura 22. **Gráfico de corriente, frecuencia y voltaje (Granja Penal de Pavón, Fraijanes)**



Fuente: elaboración propia.

Para el tema de la frecuencia, como es un parámetro externo, debe mantenerse a 60 Hz, lo cual es responsabilidad del ente operador del Sistema Nacional Interconectado (SNI) siendo en el caso de Guatemala el Administrador del Mercado Mayorista. Lo anterior tiene su fundamento en la Norma de Coordinación Operativa No. 4 (NCO-4), en los incisos 4.4.1.2 y 4.4.1.3, que se detallan a continuación:

4.4.1.1 La frecuencia nominal del SNI es 60 Hz y permanecerá constante mientras haya un balance exacto entre la generación y la demanda más las pérdidas.

4.4.1.2 La frecuencia del SNI deberá mantenerse dentro de los límites establecidos en las Normas Técnicas para condiciones normales y de emergencia. En tanto la CNEE no defina estos valores los límites serán, en condiciones normales 59.9 Hz y 60.1 Hz, en condiciones de emergencia 59.8 Hz y 60.2 Hz.

En conclusión, las desviaciones normales de frecuencia deberán ser  $\pm 0.1$  Hz. Como un análisis complementario del gráfico anterior se ve que el rango de la frecuencia está dentro de los límites normales para el período analizado.

En la figura 23 se muestra un extracto de los datos históricos medidos de corriente, frecuencia y voltaje, por orden de secuencia.

Figura 23. Extracto de valores de corriente, frecuencia y voltaje, por cuartos de hora

| Fecha/hora       | FRAI... | FRAI... | FRAI... | FRAI... | FRAI... | FRAI... | FRAI... | FRAI... | FRAI... | FRAI... | FRAI... | FRAI... | FRAI... | FRAI... | FRAI... | FRAI... | FRAI... | FRAI... | FRAI... | FRAI... |
|------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 8/11/12 14:25:00 | 346     | 366     | 358     | 316     | 334     | 334     | 293     | 404     | 391     | 350     | 60.0    | 119...  | 120...  | 120...  | 119...  | 120...  | 120...  | 119...  | 120...  | 120...  |
| 8/11/12 14:30:00 | 317     | 335     | 330     | 287     | 269     | 270     | 232     | 447     | 424     | 378     | 60.0    | 119...  | 120...  | 120...  | 119...  | 120...  | 120...  | 119...  | 120...  | 121...  |
| 8/11/12 14:45:00 | 312     | 330     | 323     | 284     | 284     | 281     | 246     | 445     | 424     | 375     | 60.0    | 119...  | 120...  | 120...  | 119...  | 120...  | 120...  | 119...  | 121...  | 121...  |
| 8/11/12 15:00:00 | 330     | 350     | 340     | 300     | 287     | 282     | 246     | 437     | 414     | 366     | 60.0    | 120...  | 121...  | 120...  | 119...  | 120...  | 120...  | 119...  | 121...  | 121...  |
| 8/11/12 15:15:00 | 318     | 335     | 331     | 288     | 281     | 284     | 244     | 384     | 383     | 326     | 60.0    | 120...  | 121...  | 120...  | 119...  | 120...  | 120...  | 119...  | 121...  | 121...  |
| 8/11/12 15:30:00 | 329     | 351     | 342     | 295     | 289     | 283     | 244     | 406     | 394     | 331     | 60.0    | 120...  | 121...  | 120...  | 120...  | 121...  | 120...  | 119...  | 122...  | 121...  |
| 8/11/12 15:45:00 | 316     | 335     | 326     | 287     | 282     | 278     | 243     | 415     | 398     | 351     | 60.0    | 120...  | 121...  | 121...  | 120...  | 121...  | 120...  | 122...  | 122...  | 121...  |
| 8/11/12 16:00:00 | 318     | 337     | 327     | 290     | 298     | 291     | 252     | 410     | 389     | 359     | 60.0    | 121...  | 122...  | 121...  | 122...  | 121...  | 120...  | 122...  | 122...  | 121...  |
| 8/11/12 16:15:00 | 313     | 332     | 325     | 283     | 265     | 265     | 228     | 390     | 374     | 338     | 60.0    | 121...  | 122...  | 122...  | 121...  | 122...  | 121...  | 121...  | 123...  | 123...  |
| 8/11/12 16:30:00 | 318     | 336     | 329     | 290     | 276     | 277     | 243     | 396     | 380     | 336     | 60.0    | 122...  | 123...  | 122...  | 121...  | 122...  | 122...  | 121...  | 123...  | 123...  |
| 8/11/12 16:45:00 | 323     | 344     | 337     | 290     | 266     | 268     | 228     | 435     | 421     | 365     | 60.0    | 121...  | 122...  | 122...  | 121...  | 121...  | 121...  | 120...  | 123...  | 123...  |
| 8/11/12 17:00:00 | 309     | 327     | 320     | 282     | 282     | 280     | 242     | 387     | 376     | 330     | 60.0    | 120...  | 121...  | 121...  | 120...  | 121...  | 120...  | 119...  | 122...  | 122...  |
| 8/11/12 17:15:00 | 315     | 333     | 329     | 283     | 279     | 284     | 242     | 422     | 414     | 361     | 60.0    | 119...  | 120...  | 120...  | 119...  | 120...  | 119...  | 118...  | 121...  | 121...  |
| 8/11/12 17:30:00 | 321     | 341     | 338     | 286     | 277     | 280     | 233     | 399     | 387     | 339     | 60.0    | 119...  | 120...  | 119...  | 118...  | 119...  | 119...  | 118...  | 121...  | 120...  |
| 8/11/12 17:45:00 | 338     | 359     | 356     | 300     | 296     | 294     | 249     | 409     | 408     | 337     | 60.0    | 118...  | 119...  | 119...  | 118...  | 119...  | 118...  | 118...  | 120...  | 119...  |
| 8/11/12 18:00:00 | 323     | 341     | 341     | 289     | 291     | 291     | 241     | 392     | 390     | 336     | 60.0    | 119...  | 120...  | 119...  | 119...  | 118...  | 118...  | 122...  | 121...  | 120...  |
| 8/11/12 18:15:00 | 331     | 352     | 352     | 290     | 275     | 277     | 229     | 414     | 415     | 354     | 60.0    | 120...  | 121...  | 121...  | 120...  | 120...  | 119...  | 118...  | 122...  | 121...  |
| 8/11/12 18:30:00 | 325     | 342     | 345     | 290     | 299     | 304     | 243     | 414     | 413     | 359     | 60.0    | 119...  | 120...  | 119...  | 120...  | 119...  | 118...  | 121...  | 120...  | 120...  |
| 8/11/12 18:45:00 | 323     | 341     | 342     | 286     | 295     | 294     | 245     | 401     | 398     | 333     | 60.0    | 119...  | 120...  | 120...  | 119...  | 120...  | 120...  | 119...  | 121...  | 121...  |
| 8/11/12 19:00:00 | 334     | 357     | 355     | 290     | 304     | 303     | 244     | 423     | 414     | 349     | 60.0    | 120...  | 121...  | 120...  | 120...  | 121...  | 120...  | 119...  | 121...  | 121...  |
| 8/11/12 19:15:00 | 317     | 334     | 336     | 281     | 277     | 277     | 228     | 416     | 410     | 336     | 60.0    | 120...  | 121...  | 121...  | 120...  | 121...  | 120...  | 120...  | 122...  | 121...  |
| 8/11/12 19:30:00 | 320     | 338     | 343     | 281     | 285     | 288     | 241     | 399     | 409     | 326     | 60.0    | 120...  | 121...  | 121...  | 120...  | 120...  | 119...  | 119...  | 122...  | 122...  |
| 8/11/12 19:45:00 | 325     | 345     | 345     | 287     | 304     | 304     | 257     | 392     | 386     | 319     | 60.0    | 120...  | 121...  | 120...  | 120...  | 120...  | 120...  | 119...  | 121...  | 121...  |
| 8/11/12 20:00:00 | 321     | 340     | 338     | 287     | 288     | 289     | 243     | 393     | 386     | 329     | 60.0    | 120...  | 121...  | 121...  | 120...  | 120...  | 120...  | 120...  | 122...  | 122...  |
| 8/11/12 20:15:00 | 330     | 351     | 354     | 285     | 286     | 297     | 228     | 406     | 407     | 334     | 60.0    | 120...  | 121...  | 120...  | 120...  | 120...  | 120...  | 119...  | 122...  | 122...  |
| 8/11/12 20:30:00 | 313     | 330     | 329     | 280     | 278     | 285     | 236     | 367     | 363     | 313     | 60.0    | 120...  | 121...  | 120...  | 120...  | 121...  | 120...  | 119...  | 122...  | 121...  |
| 8/11/12 20:45:00 | 321     | 340     | 345     | 279     | 294     | 301     | 240     | 396     | 398     | 326     | 60.0    | 121...  | 122...  | 121...  | 121...  | 120...  | 120...  | 118...  | 123...  | 122...  |
| 8/11/12 21:00:00 | 319     | 337     | 338     | 283     | 284     | 287     | 239     | 422     | 422     | 354     | 60.0    | 121...  | 122...  | 121...  | 121...  | 120...  | 120...  | 119...  | 123...  | 122...  |
| 8/11/12 21:15:00 | 327     | 347     | 344     | 290     | 289     | 289     | 244     | 406     | 399     | 339     | 60.1    | 120...  | 121...  | 120...  | 120...  | 121...  | 120...  | 119...  | 122...  | 121...  |
| 8/11/12 21:30:00 | 329     | 352     | 350     | 287     | 288     | 288     | 228     | 424     | 416     | 353     | 60.1    | 120...  | 121...  | 120...  | 120...  | 121...  | 120...  | 119...  | 122...  | 121...  |
| 8/11/12 21:45:00 | 310     | 330     | 323     | 278     | 271     | 268     | 229     | 415     | 396     | 353     | 60.1    | 120...  | 121...  | 120...  | 120...  | 120...  | 120...  | 120...  | 121...  | 121...  |
| 8/11/12 22:00:00 | 326     | 346     | 346     | 286     | 288     | 288     | 251     | 392     | 391     | 316     | 60.1    | 121...  | 122...  | 121...  | 121...  | 121...  | 121...  | 120...  | 122...  | 121...  |
| 8/11/12 22:15:00 | 317     | 336     | 338     | 277     | 298     | 299     | 239     | 367     | 367     | 313     | 60.1    | 121...  | 122...  | 121...  | 121...  | 121...  | 120...  | 120...  | 123...  | 122...  |

Fuente: elaboración propia.

Cabe mencionar que, de acuerdo a las NTSD de la CNEE, la tolerancia del nivel de tensión en baja tensión para el servicio urbano es del 8 %. Con el período de análisis, se verifican si la carga total está dentro del rango permisible. Con la fórmula de cálculo, los resultados en valor absoluto se muestran en la tabla V.

Tabla VI. Índice de tolerancia para regulación de tensión

| Voltaje Nominal (V) | Voltaje Máximo (V) | Voltaje Mínimo (V) | Porcentaje de tolerancia Vmin | Porcentaje de tolerancia Vmax |
|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 120                 | 123                | 118                | 2,5 %                         | 1,67 %                        |

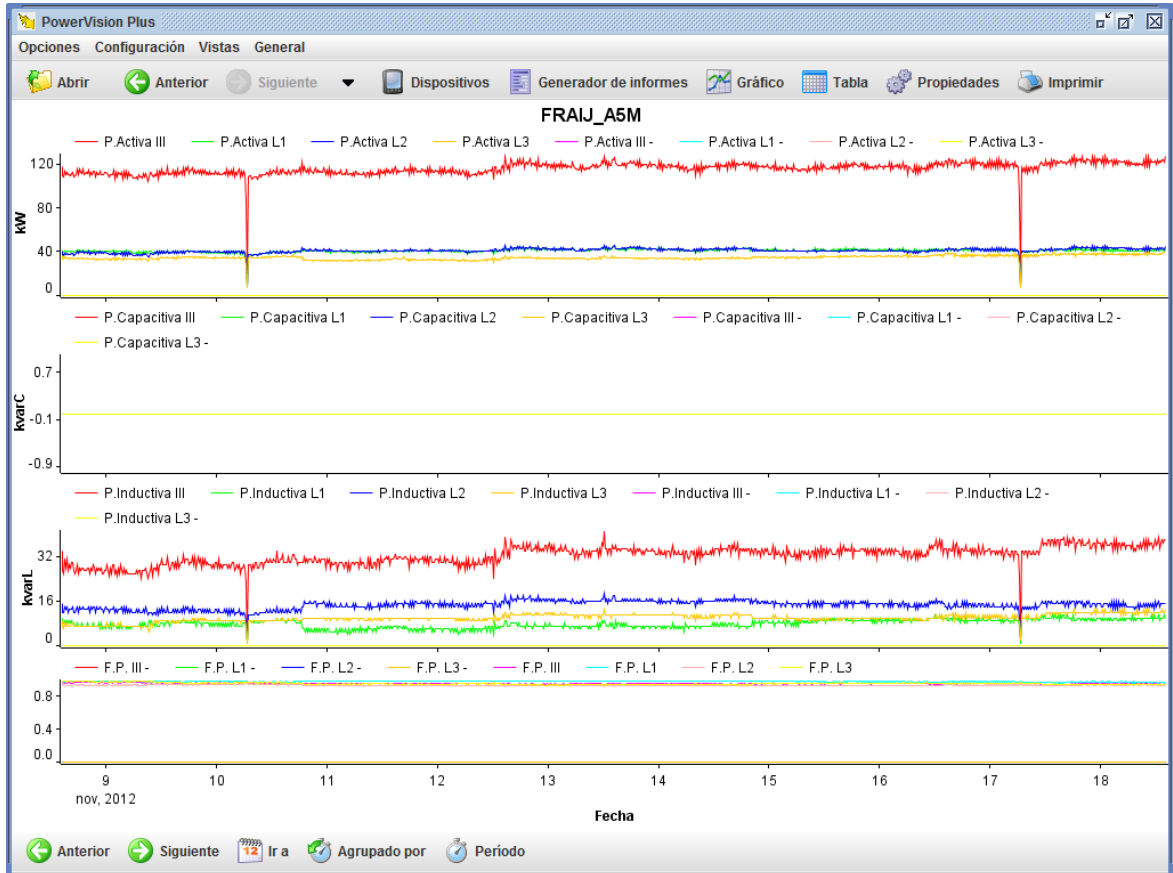
Fuente: elaboración propia.

Puede verse que los porcentajes se encuentran dentro del rango permisible del 8 %.

Para el caso del factor de potencia, se consideró, para el mismo período de estudio, mediciones de potencia activa y reactiva (capacitiva más inductiva). Los resultados se muestran en la figura 24:



Figura 24. Gráfico potencia activa, reactiva y factor de potencia



Fuente: elaboración propia.

En la figura 24 se ve claramente que la institución es un gran usuario porque supera la potencia activa por arriba de los 100 kW, tal y como lo indica la Ley General de Electricidad en su apartado de definiciones. Cuyo extracto es el siguiente:

Gran Usuario: (Reformado por el artículo 1, Acuerdo Gubernativo No. 68-2007). Es un consumidor de energía cuya demanda de potencia excede cien kilovatios (kW), o el límite inferior fijado por el Ministerio en el futuro. El gran usuario no estará sujeto a regulación de precio y las condiciones de suministro

serán libremente pactadas con el distribuidor o con cualquier otro suministrador. Para efectos del artículo 59, literal c) de la Ley, las tarifas de los consumidores con demanda de potencia igual o inferior a cien kilovatios (kW), o el límite inferior que en el futuro establezca el Ministerio, serán fijadas por la Comisión.

En la figura 25 se muestra un extracto de los valores registrados de potencia activa, reactiva y factor de potencia en el periodo de análisis.

**Figura 25. Extracto de los valores registrados de potencia activa, reactiva y factor de potencia (Granja Penal de Pavón, Fraijanes)**

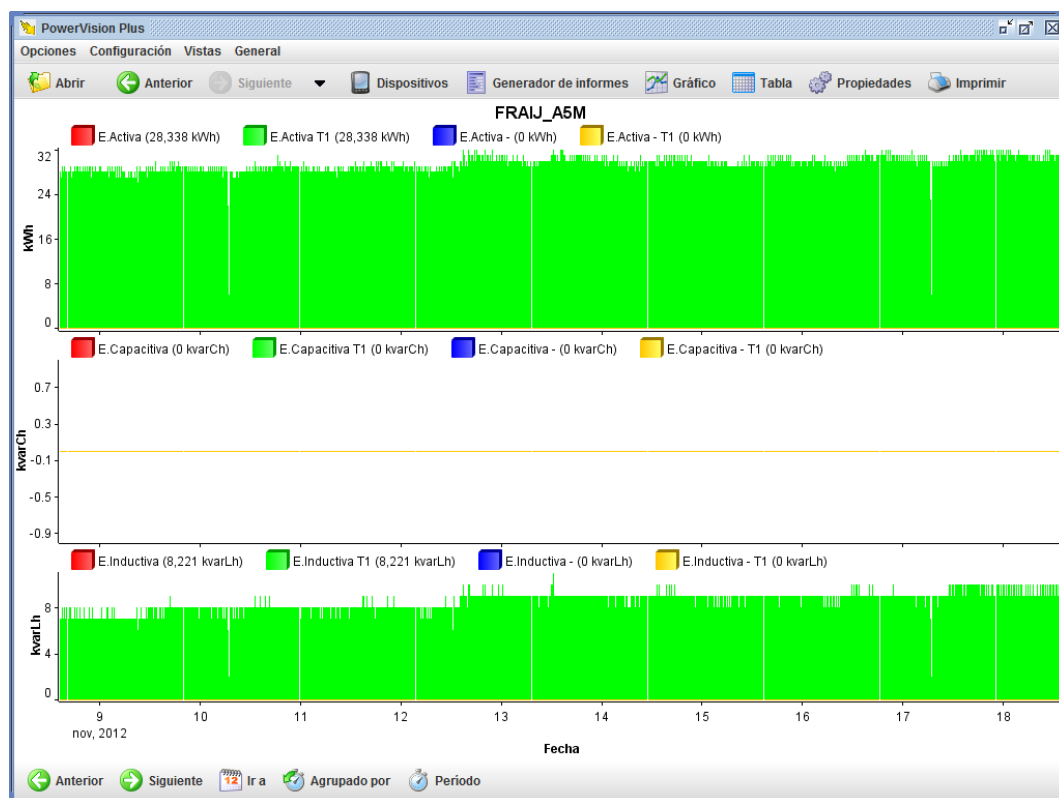
The screenshot shows the PowerVision Plus software interface. The main window displays a data table for the period from 8 November 2012 to 18 November 2012. The table has 33 columns and many rows. The columns are labeled 'Fech...' followed by 'FR...' and numerical values. The rows represent time intervals, with dates like '13/1...' and numerical values for each parameter. The bottom of the interface shows navigation buttons: 'Anterior', 'Siguiente', 'Ir a', 'Agrupado por', and 'Periodo'.

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a los datos registrados, se observa que el valor máximo del factor de potencia registrado fue de 0,99 y el valor mínimo fue de 0,93. Con lo anterior se concluye que, de acuerdo al Capítulo III, artículo 49 de la NTSD de la CNEE para usuarios con potencias superiores a los 11 kW, el valor mínimo admisible debe ser de 0,9. Con lo anterior se ve que está dentro del rango permisible.

En la figura 26 se muestra el consumo de energía en kilovatios hora para el periodo de análisis, como también la reactiva.

Figura 26. **Valores registrados del consumo de energía (kilovatios hora) y reactiva (Granja Penal de Pavón, Fraijanes)**



Fuente: elaboración propia.

### 2.4.2. Comparación teórica–práctica de tableros

La distribución actual de la carga de los tableros, se realizó de tal forma que tienda a ser uniforme; de no lograrse lo anterior, provoca que exista desbalance en las fases, no cumpliendo con el máximo del 5 % de desbalance permisible. Cabe mencionar que para tal caso, se consideró el total de cargas que están conectadas y además un cálculo de estimación de consumo de potencia por circuito, detallado en la tabla VI.

Tabla VII. **Balaneo de carga por circuito**

| No. Circuito | Tipo de carga  | Total carga (W) | Total por circuito (W) | Fase   |
|--------------|----------------|-----------------|------------------------|--------|
| Circuito 1   | Iluminación    | 2,400           |                        |        |
|              | Carga Especial | 2,400           |                        |        |
|              | Fuerza         | 1,200           |                        |        |
|              | Fuerza         | 1,200           | 7,200                  | FASE A |
| Circuito 2   | Calefactor     | 4,800           |                        |        |
|              | Fuerza         | 1,200           |                        |        |
|              | Fuerza         | 1,200           | 7,200                  | FASE B |
|              | TOTALES        | 14,400          | 14,400                 |        |

Fuente: elaboración propia.

Para el cálculo de desbalance, es de considerar un análisis matemático sencillo, que permite verificar el porcentaje de desbalance. Dato útil que servirá para conclusiones y la búsqueda de soluciones.

La fórmula para el cálculo del desbalance viene dada por:

Ecuación 12

$$\%D = \frac{(CM - Cm)}{CM} * 100$$

Donde:

CM = carga máxima conectada

Cm = carga mínima conectada

De lo anterior se puede observar que el desbalance teórico es 0 %. Cabe mencionar que es menor en 5 %, no obstante debe tomarse en cuenta que las cargas fueron estimadas con base al estudio y diseño de la instalación. Se procedió a realizarlo físicamente, lo que implicó que en el centro de carga se movieran los circuitos (o los interruptores termomagnéticos, los cuales protegen a cada circuito), intercambiándolos de una fase a otra hasta que el balanceo estuviera en el rango permisible.



### **3. FASE DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Análisis de actividades asociadas a la institución y exposición de desastres**

Los tipos de accidentes y emergencias han sido identificados, mediante entrevistas con Directores y personal de mantenimiento dentro de la Institución. Cada uno de ellos tiene una componente de respuesta y control, para el seguimiento del mismo.

Las acciones a seguir serán implementadas en caso se presente alguna contingencia, derivada de algún tipo de fenómeno meteorológico o bien un movimiento sísmico.

Con lo anterior, surge la necesidad de formular de un plan de emergencia que tendrá dos objetivos principales, siendo los siguientes:

- Dar respuesta de forma eficiente ante cualquier emergencia, con un manejo responsable de la situación a través de métodos específicos, identificando zonas de peligros, mediante la evaluación de riesgos potenciales y la minimización de los mismos.
- Capacitación continua al personal mediante cursos, seminarios, simulacros, ante la presencia de imprevistos, ya que es importante el conocimiento de técnicas modernas para prevenir o controlar cualquier tipo de emergencia.

En la institución, en el sector denominado cuadra de seguridad, el área donde se encuentra la instalación eléctrica es de carácter administrativo y de control, la cual se encuentra conformada por un equipo de trabajo ante cualquier contingencia.

Cada una de las personas que conforman el equipo de trabajo ante contingencias, tiene responsabilidades y funciones específicas, para que se coordine de la mejor manera y sea realizada de forma eficiente.

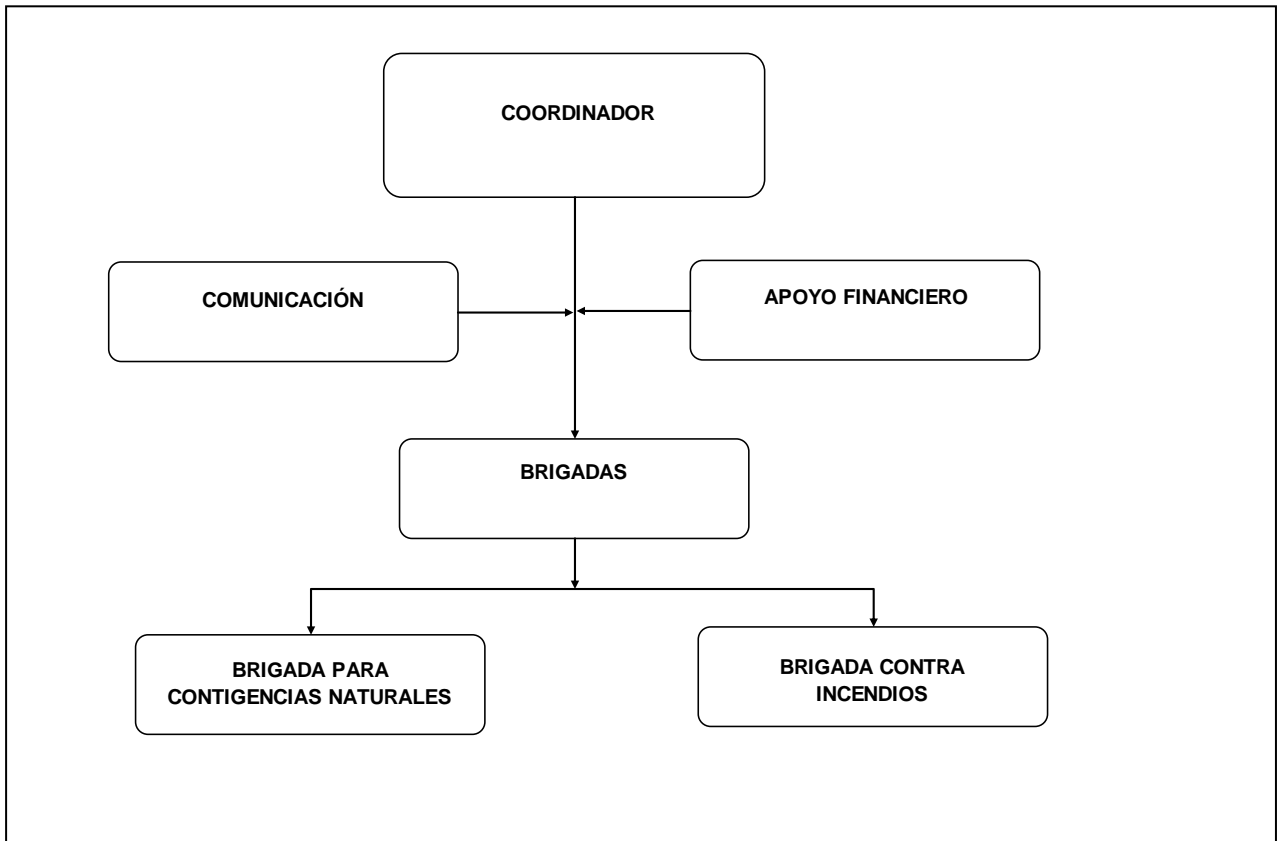
La institución cuenta con los siguientes componentes, que conforman el equipo organizacional ante emergencias:

- Coordinador
- Comunicación
- Apoyo financiero
- Brigadas (siendo de dos tipos: desastres naturales e incendios)

En la figura 27 se muestra el esquema organizacional ante contingencias de la institución (cuadra de seguridad).



Figura 27. **Esquema organizacional contra emergencias**



Fuente: elaboración propia.

Las brigadas tienen el papel fundamental de ejecutar las acciones de respuesta, están integradas por personal encargado de mantenimiento de la institución, sujetas a la dirección del coordinador.

En la tabla VII se dan a conocer cada de las funciones principales de las brigadas.

Tabla VIII. **Funciones principales de las brigadas**

| <b>Brigada contra incendios</b>  | <b>Brigada para contingencias naturales</b>  |
|--|--|
| Velar por el cumplimiento de las medidas de protección contra incendios en el centro, y en específico, en su área de acción.                               | Su función principal es orientar al personal de la cuadra de seguridad, para evacuar y conservar la calma. |
| Garantizar la extinción de los principios de incendio que se produzcan.  | Primeros auxilios y manejo de equipo para tal fin.   |
| Promover las actividades de simulacros en su centro de trabajo.  | Orientar al personal sobre las condiciones del entorno del inmueble.                                       |
| Velar porque se les dé un uso correcto a los medios contra incendios instalados, su mantenimiento y conservación.  | Manejo de cualquier equipo de comunicación para reportar las condiciones del ambiente.                     |
| El jefe de brigada mantendrá informada a la dirección de la empresa sobre las situaciones peligrosas que puedan interferir en la extinción de un incendio. | Orientar al personal que durante la ocurrencia de un sismo, lo primero es proteger y después evacuar.      |

Fuente: elaboración propia.

### **3.2. Diseño del plan de contingencia ante incendios**

Se debe tomar en cuenta aquellas áreas con probabilidad de ocurrencia de incendios, como bodegas de almacenamiento de materiales inflamables, papel, entre otros. Cabe mencionar que en la cuadra de seguridad de la institución no se tiene registro de ningún siniestro durante los últimos 10 años. Únicamente cuentan con la brigada contra incendios, sin embargo, no esta de más contar con un plan actualizado para la protección de la nueva instalación eléctrica.

Adicionalmente se debe considerar lo siguiente:

- Extintores como una herramienta importante, los cuales deben tener un mantenimiento adecuado con verificaciones periódicas, se debe cumplir con cada una de las especificaciones técnicas y recomendaciones del fabricante, deben ser colocados en lugares accesibles.
- Capacitación del personal sobre la colocación de alarmas contra incendios, procedimientos internos del manejo de comunicación.

Como consideraciones generales se deberán colocar en lugares visibles los planos de distribución de los equipos contra incendios, estos deben ser suficientes, estar colocados en lugares accesibles y deberán recibir un mantenimiento correcto para su funcionamiento óptimo.

Se deberá tomar en cuenta la realización de simulacros periódicos, capacitaciones al personal encargado. Como medida complementaria se debe mantener la calma, y darle seguimiento a las direcciones que indique la brigada.

Cuando se dé la ocurrencia de un incendio, se debe evitar la circulación por el área afectada, se deberán analizar las causas que ocasionaron el incendio. Por otro lado, se debe analizar la estrategia utilizada, los daños ocasionados y el desempeño de la brigada. Esto con el objetivo de realizar una evaluación de desempeño del trabajo en equipo y coordinado.

En la figura 28 se muestran los planos que contienen rutas de evacuación propuesta y la ubicación de los equipos de protección contra incendios. Se debe tener en cuenta que la cuadra de seguridad de la institución es de un solo nivel, en la cual se encuentra la distribución de los ambientes.

Figura 28. **Plano de evacuación en caso de sismo, terremoto e incendio  
(Granja Penal de Pavón, Fraijanes (cuadra de seguridad))**



***RUTAS DE EVACUACIÓN NIVEL UNICO***  
**ESCALA 1:100**

Fuente: elaboración propia, en AutoCAD.



## **4. FASE DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE**

### **4.1. Capacitación al personal técnico de mantenimiento**

La capacitación brindada al personal técnico de mantenimiento de la institución, se llevó a cabo bajo las directrices y términos que se detallan en los párrafos siguientes, bajo un enfoque técnico y de consideraciones especiales en cada caso. Conceptos y términos a tomar en cuenta por parte del personal. Siendo estos los que se describen a continuación:

El mantenimiento de las instalaciones eléctricas es necesario para muchos aspectos en la vida diaria de una institución o empresa. Cabe mencionar que ya sea esta pequeña o mediana, se deben sus instalaciones eléctricas, para garantizar el buen funcionamiento de sus equipos en oficinas, áreas de estar, bodegas, entre otros. Esto conlleva a la conclusión de que el mantenimiento eléctrico debe ser continuo.

Asimismo se puede definir como un conjunto de acciones oportunas, continuas y permanentes, dirigidas a prever y asegurar el funcionamiento normal, la eficiencia y la buena apariencia de instalaciones eléctricas en general equipos eléctricos relacionados, y accesorios.

De lo anterior se deben tomar en cuenta los términos siguientes:

- Acciones: son efectos de hacer algo. Las acciones más importantes del mantenimiento en instalaciones eléctricas son: planificación, programación, ejecución, supervisión y control.
- Continuas: que duran o se hacen sin interrupciones.
- Permanentes: de duración firme y constante, perseverantes.

Para poder garantizar la disponibilidad operacional de equipos eléctricos, oficinas y accesorios, el mantenimiento debe ser ejecutado de manera continua y permanente a través de planes que contengan fines, metas y objetivos precisos y claramente definidos. Teniendo en cuenta los siguientes términos:

- Predecir: ver con anticipación; conocer, deducir lo que ha de suceder. Con una buena planificación y programas oportunos de inspecciones rutinarias, el personal encargado de mantenimiento esta en capacidad de detectar los síntomas que nos indican, muchas veces con bastante anticipación, que los elementos de una instalación eléctrica están próximos a fallar y que, en consecuencia, debe abocarse a corregir las desviaciones antes que se conviertan en problemas de mayor trascendencia.
- Asegurar: establecer, fijar solidamente, preservar de daños a las personas o instalaciones.
- Funcionamiento: acción de funcionar.
- Normal: referente a algo que por su naturaleza, forma o magnitud, se ajusta a ciertas normas fijadas de antemano.

Los principales objetivos del mantenimiento en instalaciones eléctricas manejados con criterios económicos y enfocados en ahorro en los costos generales de funcionamiento de una institución son:



- Llevar a cabo una inspección sistemática de todas las instalaciones, con intervalos de control para detectar oportunamente cualquier anomalía, manteniendo los registros adecuados.
- Mantener permanentemente las instalaciones, en su mejor estado para evitar los tiempos de parada que provoquen otro tipo de contratiempos.
- Efectuar las reparaciones de emergencia lo más pronto posible, empleando métodos más fáciles de reparación.
- Prolongar la vida útil de las instalaciones y elementos al máximo.
- Gestionar el mantenimiento para que incluya todos los aspectos relativos dirigidos al departamento de mantenimiento eléctrico.
- Definir políticas de mantenimiento que abarquen los aspectos de calidad, seguridad e interrelaciones con la institución.
- Minimizar los riesgos laborales.
- Establecer políticas de mantenimiento, selección, compras, entre otros, de los materiales que son necesarios para la realización de intervenciones eléctricas.
- Abordar la realización de un plan de mantenimiento eléctrico.
- Clasificar los elementos de una instalación eléctrica en función de su importancia y qué modelo de mantenimiento debe ser aplicable, según sea el caso.
- Determinar las tareas de mantenimiento a aplicar y su frecuencia.

Por otro lado, las funciones del mantenimiento en instalaciones eléctricas son las siguientes:

- Funciones primarias.
- Mantener, reparar y revisar las instalaciones eléctricas.
- Modificar, instalar, remover elemento de protección de una instalación eléctrica.

- Desarrollar programas de mantenimiento preventivo y programado.
- Selección y entrenamiento del personal.

#### Funciones Secundarias:

- Realizar pedidos de repuestos, herramientas y suministros
- Controlar y asegurar un inventario de repuestos y suministros
- Llevar la contabilidad e inventario de repuestos y suministros

La tarea de mantenimiento de instalaciones eléctricas será realizada por el personal que posea las siguientes características:

- Sepa lo que se espera que haga
- Haya sido debidamente capacitado
- Sea competente en la actualidad para emprender dicha tarea

Es necesario tener en cuenta las cualidades o características, tanto personales como profesionales, que se precisan para un puesto. Algunos puestos de mantenimiento requieren un trabajo en equipo, y en tales casos el jefe técnico ha de ser capaz de colaborar con el personal para alcanzar un objetivo común.

En el área de Mantenimiento de Instalaciones Eléctricas existen dos características generales del personal técnico, que lleva a cabo la planificación del mantenimiento, y con una capacitación adecuada y bajo la supervisión del jefe técnico, prepara las actividades a ejecutarse según un cronograma establecido.

Tanto los jefes técnicos como el personal han de ser conscientes de la importancia de su cometido y de la necesidad de informar a su superior de cualquier circunstancia que exceda de sus conocimientos, posibilidades o control con el objetivo de evitar errores incontrolables.

La capacitación será una actividad permanente para todas las categorías del personal y tendrá en cuenta las necesidades a corto y largo plazo. En consecuencia, la capacitación se organizará de modo que alcance los objetivos del departamento encargado de mantenimiento de instalaciones eléctricas, y por este motivo deberá confiarse a un miembro del personal de cierta experiencia. Los objetivos globales de la capacitación consisten en asegurar:

- Que el Departamento de Mantenimiento de Instalaciones Eléctricas disponga de una reserva suficiente de personal calificado para cada una de las actividades técnicas.
- Que los jefes técnicos ejerzan las técnicas investigativas del análisis y perfeccionen su capacidad interpretativa.
- Que cada empleado comprenda la finalidad de las actividades asignadas.
- Que cada empleado comprenda la necesidad de cumplir los requisitos y reglamentos internos de la Institución.
- Que los jefes técnicos produzcan unos datos analíticos de precisión conocida que sean significativos y contribuyan con los objetivos del Departamento de Mantenimiento.

Adicionalmente; como parte de la capacitación, se tocó el tema de los tipos de mantenimiento en instalaciones eléctricas en general, siendo la siguiente clasificación más adecuada de acuerdo a las necesidades de la institución:

- Rutinario
- Correctivo
- Programado
- Preventivo
- Predictivo

El mantenimiento rutinario es el más elemental de los mantenimientos. Como su nombre lo indica, es una actividad diaria y consiste en una serie de tareas elementales, tales como: toma de datos, inspecciones visuales y limpieza. El personal que lo practica no requiere de mucha especialización técnica pero informa novedades de todo tipo.

El mantenimiento rutinario es la base del mantenimiento productivo total, el cual esta orientado a lograr:

- Cero accidentes
- Cero defectos
- Cero fallas

Ventajas:

- Al integrar a toda la organización en los trabajos de mantenimiento se consigue un resultado final más enriquecido y participativo.
- El concepto esta unido con la idea de calidad total y mejora continúa.

Desventajas

- Se requiere un cambio de cultura general, para que tenga éxito este cambio, no puede ser introducido por imposición, requiere el

convencimiento por parte de todos los componentes de la organización ya que es un beneficio para todos.

- La inversión en formación y cambios generales en la organización es costosa.

El proceso de implementación requiere de varios años.

En el mantenimiento correctivo, se puede contemplar dos tipos de enfoques:

- Mantenimiento paliativo o de campo (de arreglo): este se encarga de la reposición del funcionamiento, aunque no quede eliminada la fuente que provocó la falla.
- Mantenimiento curativo (de reparación): este se encarga de la reparación propiamente, pero eliminando las causas que han producido la falla.

Suelen tener en *stock* los repuestos, algunos existen en gran cantidad y de otro quizá de más influencia, no hay piezas, por lo tanto es caro y con un alto riesgo de falla.

Mientras se prioriza la reparación sobre la gestión, no se puede prever, analizar, planificar, controlar, rebajar costos.

Ventajas:

- Si el equipo está preparado, la intervención en el fallo es rápida y la reposición, en la mayoría de los casos será con el mínimo tiempo.

- No se necesita una infraestructura excesiva, un grupo de operarios competentes será suficiente, por lo tanto, el costo de mano de obra será mínimo; será más prioritaria la experiencia y la pericia de los operarios, que la capacidad de análisis o de estudio del tipo de problema que se produzca.
- Es rentable en equipos que no intervienen de manera instantánea en la producción, donde la implantación de otro sistema resultaría poco económico.

#### Desventajas:

- Se producen paradas y daños imprevisibles en la producción que afecta a la planificación de manera incontrolada.
- Suele producirse una baja calidad en las reparaciones debido a la rapidez en la intervención, y a la prioridad de reponer antes que reparar definitivamente, por lo que produce un ámbito a trabajar defectuosamente, sensación de insatisfacción, ya que este tipo de intervenciones a menudo generan otras al cabo del tiempo por mala reparación por lo tanto será muy difícil romper con esta inercia.

El mantenimiento programado, el cual es un procedimiento de cuidados para posibles y probables emergencias que pueden acontecer en equipos destinados a producción continua y exigida, con componentes de los cuales es de esperar la vida útil.

Como su nombre lo indica, el método consiste en tener un programa de acción por falla de fiabilidad ocasional para un equipo determinado y en la oportunidad de detección; realizar el cambio de un componente, como por ejemplo: el reemplazo de un interruptor en un sistema eléctrico.

Ventaja:

- Realizar el máximo de trabajos de mantenimiento que es imposible efectuar con el equipo en marcha por su conflictiva disponibilidad.

Desventaja:

- Tiene las desventajas del mantenimiento correctivo, porque la intervención se decide ante la inevitabilidad de la falla.

El mantenimiento preventivo se practica retirando la máquina, equipo o instalación del servicio operativo para realizar inspecciones y sustituir (o no) componentes de acuerdo a una programación planificada y organizada con antelación. Para esta práctica de mantenimiento es muy importante la información específica que suministran los fabricantes en sus manuales y/o catálogos, principalmente en cuanto a la expectativa de vida útil para componentes críticos.

Los trabajos entonces se programan para el equipo o instalación fuera de servicio y la ocasión es oportuna para realizar el máximo de tareas compatibles con la eficiencia (costos y tiempo).

La circunstancia es apta para el análisis de las partes para resolver su reemplazo o continuidad. La oportunidad se aprovecha también para ensayos y verificaciones.

Este es un mantenimiento que se anticipa a la imprevisión de una falla y con un método de trabajo a seguir. Asimismo tiene el mérito de acortar la

cantidad de horas, normalmente informadas por el fabricante para la disponibilidad del equipo por componentes que han cumplido su vida útil.

El mantenimiento predictivo permite un adecuado seguimiento por la mayor frecuencia de inspecciones, estando el equipo, o la instalación eléctrica en particular, en funcionamiento, siendo esta la forma adecuada de obtener datos concretos con el fin determinado de solucionar fallas. Tiene la desventaja que se requiere una inversión inicial importante ya que las herramientas a utilizar tienen un alto costo.

#### **4.1.1. Capacitación sobre la implementación de programas de mantenimiento y futuras ampliaciones de la red eléctrica**

Como parte de la implementación de un programa de mantenimiento para instalaciones eléctricas se debe tomar en cuenta que es un sistema integrado por el conjunto de tuberías, cables conductores, dispositivos como interruptores y contactos, así como a los equipos instalados (tales como las subestaciones y reguladores de voltaje) para la alimentación y distribución de energía eléctrica, en forma general.

Por otra parte, al presentarse un deterioro en la instalación eléctrica, aumentan los factores de riesgo para los usuarios, los equipos y las instalaciones, ya que se producen accidentes por descargas eléctricas, así como, incendios, situaciones extremas que son vitadas con el uso adecuado y algunas acciones básicas de mantenimiento preventivo.

Cabe mencionar que los componentes de la instalación eléctrica, van desde el sitio de acometida hasta la última salida de los espacios con que



cuenta la Institución, a grandes rasgos se pueden identificar los siguientes: conductores (cables), interruptores, centros de carga, contactos, apagadores, lámparas y canalizaciones.

Se tomó como propuesta de programa de mantenimiento para la institución el mantenimiento preventivo, ya que el uso correcto de las instalaciones eléctricas constituye probablemente la actividad más importante para este mantenimiento para este tipo de instalaciones, para realizarlo es necesario contar con un juego de planos actualizados y definitivos de la instalación, así como de los manuales e instructivos de los equipos, y operarlos de acuerdo con lo indicado en los mismos.

Para el tema de la iluminación se debe tomar en cuenta que las lámparas o tubos de una luminaria fluorescente, normalmente encienden en pares, es decir, que cada dos tubos están conectados a un balastro común, por lo cual, al descomponerse uno de ellos, el otro dejará de encender, por lo que es conveniente verificar su funcionamiento, cambiándolos por uno en buen estado.

Los contactos son uno de los dispositivos de mayor uso dentro de la instalación eléctrica, por lo que, también requiere de mayor atención para su mantenimiento. Es muy importante para un uso adecuado de los contactos conocer su capacidad en amperios a voltaje de operación de 120 v (o 220 v según sea el caso). Para su conservación se deben observar las siguientes recomendaciones:

- Verificar en el manual de usuario la potencia requerida por el equipo a ser conectado, con el fin de no superar la capacidad del contacto.
- Revisar que las conexiones a las terminales del contacto sean firmes, con el fin de evitar fugas de corriente.

- Supervisar que las conexiones tengan colocadas sus tapas exteriores de protección y que se encuentren en buen estado.

Los switches son otro de los dispositivos de uso frecuente y donde se presenta mayor cantidad de deterioros, por lo cual se requieren las siguientes acciones de prevención:

- Verificar que las tapas exteriores de protección estén en buen estado y correctamente colocadas.
- Observar que las conexiones a las terminales sean firmes.
- Supervisar que la capacidad en amperios sea adecuada a la carga conectada al circuito que controla.

Los cables y sus conexiones son uno de los componentes más importantes de la instalación eléctrica, además de que representan la mayor parte de la misma, aunque frecuentemente no se les da mayor importancia ni cuidados, por lo que muchos de los desperfectos de la instalación suelen suceder allí.

Una de las medidas de prevención, para evitar deterioros en este componente, es la revisión del aislamiento de los cables en sus tramos terminales, donde se conecta a los dispositivos y equipos (lámparas, apagadores, contactos, balastos, entre otros).

Generalmente, los materiales aislantes que están deteriorados se endurecen, perdiendo totalmente su capacidad aislante, lo que puede ocasionar descargas y cortos circuitos. Este endurecimiento ocurre, por lo general, ante la presencia de conexiones flojas, por lo que se debe proceder a eliminar el tramo

del conductor con el aislamiento dañado y realizar firmemente la nueva conexión.

Cuando el largo del cable no permite nuevos cortes, se debe proceder a sustituir todo el tramo (recablear) del circuito donde se presenta el deterioro (desde el registro o dispositivo anterior), en ningún caso se debe realizar empalmes o amarres de cable dentro de la tubería, estos deben hacerse siempre en las cajas de registro.

Adicionalmente, en un tablero de distribución se pueden anticipar averías ante la presencia de los siguientes síntomas:

- Ruido o zumbido dentro de la caja del tablero: generalmente indica que existe una conexión floja o en mal estado, que alguno de los interruptores de protección está dañado o, que uno de los circuitos se encuentra sobrecargado.
- Calentamiento en conexiones: sus causas son generalmente las mismas que provocan el zumbido, aunque la más usual es la de las conexiones flojas, la persistencia del calentamiento debe provocar que se accione el interruptor de emergencia respectivo, por lo que, también se deberá verificar la carga del circuito correspondiente.

Tomando en cuenta lo anterior, la propuesta del plan de mantenimiento preventivo es el siguiente:

Tabla IX. **Plan de mantenimiento preventivo**

| ELEMENTO    | ACTIVIDAD  | FRECUENCIA      |
|-------------|--|-----------------|
| Tableros    | Verificar firmeza de conexiones y fijación de tableros.  | Cada tres meses |
|             | Supervisar etiquetas de identificación de los circuitos.   | Cada seis meses |
| Switches    | Observar firmeza de conexiones y deterioro de los aislamientos.  | Cada tres meses |
| Contactos   | Revisar firmeza de conexiones y deterioro de los aislamientos.   | Cada tres meses |
|             | Comprobar el voltaje .   |                 |
| Luminarias  | Comprobar el voltaje de alimentación .   | Cada mes        |
|             | Limpieza de tubos y difusores.   | Cada tres meses |
|             | Revisar firmeza de conexiones y deterioro de los aislamientos .  | Cada tres meses |
| Registros   | Verificar colocación de tapas.   | Cada 15 días    |
| Conductores | Verificación general del estado de los conductores, puntos de conexión, en la instalación interior y en la tierra física . | Cada tres meses |

Fuente: elaboración propia.

Adicionalmente, para futuras ampliaciones de las instalaciones eléctricas actuales, se debe tomar en cuenta que el tablero único y principal instalado, tiene una capacidad de corriente de 500 amperios, con un total de 24 circuitos. La carga total instalada suma cerca de 130 amperios, por lo que el margen de carga adicional suma 143 amperios, considerando un incremento futuro del 10 % de carga.

No obstante, debe tomarse en cuenta que si en un futuro se presenta la necesidad de instalación de otro tablero secundario, se deberá realizar una conexión en paralelo con las líneas de entrada de la acometida principal, con las mismas consideraciones y especificaciones técnicas con las que se instaló el tablero principal (único).

Todo lo anterior fue instruido al personal de mantenimiento de la institución, utilizando la información, consolidada en diapositivas para cumplir con tal objetivo.



## **CONCLUSIONES**

1. El sistema de distribución y protección de energía eléctrica de la Granja Penal de Pavón (Cuadra de Seguridad), se encuentra en condiciones óptimas.
2. Se cuenta con un sistema de protección de circuitos y tierra física confiable.
3. De acuerdo al análisis de calidad de energía, se cuenta con un nivel de armónicos bajos, factor de potencia, frecuencias y nivel de tensión dentro del rango permisible.
4. En la Granja Penal de Pavón Fraijanes, se cuenta con un plan de contingencia ante imprevistos; asimismo se cuenta con un plan de operación y mantenimiento adecuado.





## RECOMENDACIONES

1. Considerar balanceo de cargas eléctricas en la distribución del tablero principal cuando se conecten nuevas cargas.
2. Que los analizadores de calidad de suministro eléctrico se encuentren instalados en el punto de acometida de la compañía distribuidora al cliente.
3. Llevar a cabo el plan de mantenimiento correctivo planteado, estableciendo prioridad a los circuitos dañados.
4. Concientizar al personal de Mantenimiento, que el costo del mantenimiento correctivo es más alto que el costo del preventivo.
5. Realizar las rutinas de verificación periódica en este trabajo, para que sirva de apoyo en los procesos de mantenimiento.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Administrador del Mercado Mayorista de Guatemala. [en línea]. <[www.amm.org.gt](http://www.amm.org.gt)>. [consulta: 24 de agosto de 2014].
2. AVALLONE, Eugene. *Manual de ingeniero eléctrico*. 9a ed. Colombia: McGraw-Hill, 1997. 578 p.
3. Comisión Nacional de Energía Eléctrica de Guatemala. [en línea]. <[www.cnee.org.gt](http://www.cnee.org.gt)>. [consulta: 14 de septiembre de 2014].
4. Empresa Eléctrica de Guatemala. *Normas para acometidas de servicio eléctrico*. Guatemala: EEGSA, 1998. 111 p.
5. ENRÍQUEZ HARPER, Enrique. *Guía práctica para el cálculo de instalaciones eléctricas*. México: Limusa, 1993. 468 p.
6. \_\_\_\_\_. *Fundamentos de instalaciones eléctricas de mediana y alta tensión*. México: Limusa, 2008. 238 p.
7. \_\_\_\_\_. *La calidad de energía en los sistemas eléctricos*. México: Limusa, 2006. 457 p.

