



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE FUERZA, ALUMBRADO, TIERRAS
Y PARARRAYOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL NUEVO
QUEMADOR ELEVADO Y DE FOSA EN EL COMPLEJO
PROCESADOR DE GAS POZA RICA.**

Informe de actividades profesionales para obtener el título de Ing. Eléctrico –
Electrónico que propone Moisés Careaga Gutiérrez.

Aval del informe: Ing. Amando Pérez Medrano.

CONTENIDO

1	OBJETIVO	4
2	ANTECEDENTES DEL PROYECTO	4
3	CONTEXTO DE LA PARTICIPACIÓN PROFESIONAL.....	5
4	DESARROLLO	8
4.1	SISTEMA DE FUERZA	8
4.1.1	DIMENSIONAMIENTO DEL TRANSFORMADOR TR-Q1.	10
4.1.2	MEMORIA DE CÁLCULO DE LOS CONDUCTORES PARA LOS SISTEMAS DE FUERZA.	11
4.1.2.1	CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE SELECCIÓN DEL CONDUCTOR... ..	14
4.1.2.2	SELECCIÓN DEL CALIBRE DEL CONDUCTOR	21
4.1.3	SELECCIÓN DE LA TUBERÍA CONDUIT	30
4.1.4	SELECCIÓN DE LOS INTERRUPTORES PARA LA PROTECCIÓN CONTRA SOBRECORRIENTE DE LOS CIRCUITOS DE FUERZA.	35
4.1.5	DIMENSIONAMIENTO DE SOPORTERÍA AÉREA Y BANCO DE DUCTOS	37
4.1.5.1	SOPORTERÍA AÉREA.	37
4.1.5.2	BANCO DE DUCTOS.	39
4.1.6	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL CENTRO DE CONTROL PARA MOTORES (CCM-Q1).....	40
4.2	SISTEMA DE ALUMBRADO	41
4.2.1	DISEÑO DEL ALUMBRADO PÚBLICO.....	41
4.2.2	DISEÑO DEL ALUMBRADO EN EL RACK NUEVO.....	44
4.2.3	DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE CIRCUITOS DE ALUMBRADO, SELECCIÓN DEL CALIBRE DE LOS CONDUCTORES Y DE LA TUBERÍA CONDUIT.....	45
4.2.4	CUADRO DE CARGAS	54

4.3	SISTEMAS DE TIERRAS Y PARARRAYOS.	55
4.3.1	SISTEMA DE PARARRAYOS.....	55
4.3.2	SISTEMA DE TIERRAS.....	56
4.4	VOLUMEN DE OBRA	58
5	PARTICIPACIÓN PROFESIONAL.....	65
6	RESULTADOS Y APORTACIONES.....	67
7	CONCLUSIONES.....	67
8	ANEXO PLANOS ELÉCTRICOS	68
8.1	PLANO L-001 DIAGRAMA UNIFILAR.....	69
8.2	L-200 CÉDULA DE CABLE Y CONDUIT.....	70
8.3	PLANO L-300 DISTRIBUCIÓN DE FUERZA (GENERAL)	71
8.4	PLANO L-301 DISTRIBUCIÓN DE FUERZA (COBERTIZO)	72
8.5	PLANO L-302 DISTRIBUCIÓN DE FUERZA Y TIERRAS (CUARTO ELÉCTRICO)	73
8.6	PLANO L-201 DISTRIBUCIÓN DE ALUMBRADO	74
8.7	PLANO L-100 SISTEMA DE TIERRAS.....	75
9	BIBLIOGRAFÍA.....	76

1 OBJETIVO:

Se diseñarán los sistemas de fuerza, alumbrado, tierras y pararrayos requeridos para la construcción del nuevo quemador elevado y de fosa en el Complejo Procesador de Gas Poza Rica.

2 ANTECEDENTES DEL PROYECTO:

Con base a la solicitud realizada el 14 Enero de 2008 con el oficio del Ing. Miguel Ángel Rincón Velásquez Administrador del Complejo Procesador de Gas (CPG) Poza Rica, la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México (FQ-UNAM), fue invitada a presentar su propuesta técnico-económica para la realización del proyecto No. 588 "Elaboración de Paquete de Licitación para la Construcción del Nuevo Quemador Elevado y de Fosa en el Complejo Procesador de Gas Poza Rica"

Cabe indicar que la UNAM y la Industria Petrolera Estatal integrada por Petróleos Mexicanos, PEMEX-Exploración y Producción, PEMEX-Refinación, PEMEX Gas y Petroquímica Básica, y PEMEX-Petroquímica, tienen un Convenio de Colaboración Académica, Científica y Tecnológica celebrado el 30 de abril de 2007, vigente por 5 años, lo cual permite la realización del presente trabajo, mediante la firma de un Convenio Específico que cubra el alcance de la presente propuesta.

Se solicitó elaborar la ingeniería, especificaciones y el paquete de licitación referentes a la construcción de los Nuevos Quemadores Elevado con capacidad de 15 mmpcd (miles de miles de pies cúbicos por día) y de Fosa con capacidad de 400 mmpcd, en el Complejo Procesador de Gas Poza Rica. El motivo de la construcción de estos nuevos quemadores es que el área ocupada por los actuales será utilizada para la construcción de tres plantas criogénicas.

Para la elaboración de este proyecto se reunieron diferentes áreas en el 5º piso al sur de la Torre de Ingeniería como son: proceso, instrumentación y control, tuberías, civil, eléctrica, topografía y análisis de precios unitarios, cada una con la tarea de llevar a cabo las actividades correspondientes y así cumplir de manera óptima el objetivo del proyecto.

Se solicitó al Complejo Procesador de Gas (CPG) Poza Rica la información de los planos, análisis de las corrientes y documentos existentes de los quemadores elevado EM-1 y de fosa EM-2. La información fue recopilada por un grupo de

trabajo, que cuenta con la suficiente experiencia para identificar necesidades adicionales de información. Terminado este trabajo se procedió a realizar el levantamiento en campo para completar toda la información técnica necesaria.

Después de que el área de proceso comprobó la factibilidad de enviar las corrientes de desfuegos existentes de los quemadores elevado EM-1 y de fosa EM-2 y basados en un programa previamente propuesto y aprobado, se iniciaron las actividades de ingeniería básica y de detalle para todas las áreas.

Al final se generará el paquete de licitación para la construcción de la obra, mismo que contempla los siguientes incisos:

- 1.- Consideraciones Generales y Particulares
- 2.- Alcances Generales y Particulares
- 3.- Propuesta Técnica
- 4.- Criterios que se aplicarán para evaluar las propuestas técnicas
- 5.- Facultades y obligaciones del Contratista
- 6.- Facultades y obligaciones del representante de PEMEX
- 7.- Límites en los apoyos por parte de PEMEX.
- 8.- Calidad de los servicios y trabajos ejecutados
- 9.- Mecánica de la ejecución de los trabajos relacionados
- 10.- Criterios para aceptación de los trabajos ejecutados
- 11.- Supervisión interna
- 12.- Otorgamiento de garantías
- 13.- Compilación y entrega de los estudios, esquemas, diagramas y planos
- 14.- Pago de los trabajos
- 15.- Terminación de los trabajos

3 CONTEXTO DE LA PARTICIPACIÓN PROFESIONAL

A continuación se describirá cual es la participación del área eléctrica dentro del proyecto:

Se elaborará el diagrama unifilar de todas las adecuaciones necesarias para la construcción de los nuevos quemadores por lo que se realizará una actualización al plano eléctrico proporcionado por Centro Procesador de Gas Poza Rica, en el cual se indican los circuitos de fuerza y la capacidad de los interruptores.

Dentro de las necesidades de fuerza se diseñarán los circuitos que alimentarán dos motores solicitados por el departamento de proceso con las siguientes características:

- El primero con una capacidad de 25 HP deberá contar con un variador de velocidad y alimentará el soplador BS-102 que tiene la función de introducir aire de ayuda para la quema del gas desfogado.
- El segundo con una capacidad de 10 HP el cual deberá tener una estación de botones para poder pararlo o arrancarlo manualmente y alimentará la bomba BA-102, que tiene como función transferir los líquidos recolectados.

Con la información de proceso, el departamento de instrumentación y control determinó la cantidad de señales e instrumentos que se ocuparán por lo que solicitó la alimentación de una UPS con capacidad de 5 kVA a una tensión de 220 V para asegurar la continuidad del servicio de los instrumentos y señales en caso de falla eléctrica.

Se construirá un cuarto de control donde estará el Centro de Control de Motores (CCM), además del PLC, la UPS y otros instrumentos, por lo que se tendrá que diseñar la red de tierras y pararrayos del cuarto para protección de los equipos.

Para la alimentación del CCM, la UPS y los motores se realizarán los cálculos de conductores y los planos de fuerza donde se indicarán las trayectorias de los cables así como la dimensión de los bancos de ductos para instalaciones subterráneas, de la soportería para instalaciones aéreas y los detalles necesarios. Finalmente se presentará toda la información de los circuitos de fuerza en una cédula de cable y conduit.

Además, se diseñará el sistema de tierras para los motores que estarán en campo y para la estructura del quemador elevado EM-101. Para los sistemas de tierras se realizará el plano correspondiente indicando las mallas y la forma de conexión de los equipos.

Se dimensionará el transformador TR-Q1, el cual tendrá una relación de transformación de 480-220/127 para que sea capaz de alimentar la carga del cuarto nuevo de control y del alumbrado exterior.

Debido a que los quemadores nuevos serán construidos en un área sin urbanizar, después de que los departamentos de topografía y civil determinaron las vialidades de acceso al área de quemadores, el departamento eléctrico diseñará el alumbrado público.

Para la parte de alumbrado público se realizará un plano que indica las características y detalles de las luminarias así como su distribución, la forma en que estarán cableadas, el calibre de dichos cables y el diámetro de la tubería donde estarán contenidos. Se realizará el cuadro de cargas del alumbrado para verificar que el sistema este bien balanceado.

Finalmente se realizará el volumen de obra en el cual indicamos todos los materiales necesarios así como las cantidades requeridas para llevar a cabo la construcción de lo correspondiente al área eléctrica, dicho volumen es proporcionado al departamento de precios unitarios para que realice el análisis correspondiente.

4 DESARROLLO

Todas las actividades están basadas en la norma NRF-048-PEMEX-2007 y en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005 de Instalaciones Eléctricas.

Las tensiones que se manejarán serán iguales o menores a 480 Volts, por lo que se considera un proyecto en baja tensión.

A continuación se llevará acabo todo el desarrollo técnico donde se demuestra el uso de conocimientos obtenidos en mi formación de ingeniero para obtener la solución más conveniente al proyecto antes mencionado.

Dicho desarrollo será dividido en tres partes principales para su mejor explicación las cuales son las siguientes:

- Sistema de fuerza.
- Sistema de alumbrado.
- Sistema de tierras.

4.1 SISTEMA DE FUERZA

Como se puede ver en la Tabla 1, obtenida de la norma NRF-048-PEMEX-2007 los motores BSME-102 y BAME-102 cuyas capacidades son 25 HP y 10 HP respectivamente, serán alimentados a una tensión de 480 V, en tres fases a una frecuencia de 60 Hz.

Potencia del motor		Tensión de sistema (volts)	Tensión de diseño (volts)	Fases	Frecuencia (hertz)
kW	HP				
Menor de 0,75	Menor de 1	120/220	115/ 220	1/3 *	60
De 0,75 a 149,2	1 a 200	480	460	3	60
Mayores de 149,5 a 1 492	201 a 2 000	4 160	4 000	3	60
Mayores de 1 492	Mayores de 2000	13 600	13 200	3	60

Tabla 1

Como ya se mencionó anteriormente la UPS de 5 kVA será alimentada a una tensión de 220 Volts de un sistema trifásico.

Una vez conocida esta información se visitó la subestación más cercana al área de quemadores, la cual es la Subestación Eléctrica # 6 ubicada dentro del Complejo Procesador de Gas Poza Rica, para ver si existían las condiciones que nos permitieran alimentar al CCM y a la UPS; como se observa en las fotografías 1 y 2 existe un tablero square D con una tensión de 480 Volts con gabinetes disponibles en el cual se considerará una silleta para alimentar el CCM, además se cuenta con un tablero de distribución SQUARE D con una tensión de 220 V de donde alimentaremos la UPS.



Foto 1



Foto 2

El cuarto de control nuevo se localizó en la zona más conveniente de acuerdo con las necesidades eléctricas, civiles, topográficas e instrumentación y cerca del nuevo rack propuesto por el área de tuberías debido a que la distribución de fuerza se llevará a cabo de manera aérea a través de dicho rack como se puede observar en el Plano L-300 del Anexo.

Conociendo la ubicación del cuarto nuevo de control y de los motores se pudieron determinar las distancias que existen hasta la Subestación Eléctrica # 6 y así calcular las corrientes de cada circuito de fuerza y los calibres de los conductores.

4.1.1 DIMENSIONAMIENTO DEL TRANSFORMADOR TR-Q1.

Antes de proceder a obtener las corrientes de cada uno de los circuitos, es necesario dimensionar el transformador TR-Q1, para que posteriormente se pueda determinar la corriente del circuito CF-01.

El transformador TR-Q1 tendrá una conexión delta-estrella con neutro solidamente aterrizado, como lo indica la Tabla 2 obtenida de la NRF-048-PEMEX-2007 debido a que su relación de transformación es 480-220/127 Volts.

Relación de tensión	Conexión
13.8-4.16 kV	Delta-estrella con neutro aterrizado a través de resistencia. (de 4 a 8 ohms);
4.16-0.48 kV	Delta-estrella con neutro sólidamente aterrizado.
4.16-0.220/0.127 kV	Delta-estrella con neutro sólidamente aterrizado
4.16-0.48 kV	Delta-delta (para refinerías y donde se solicite en bases de diseño).
480-220/127 V	Delta-estrella con neutro sólidamente aterrizado

Tabla 2

El tamaño requerido por los transformadores para alimentar una carga conectada en estrella en su secundario se puede determinar sumando todas las cargas monofásicas y trifásicas juntas, además se debe considerar un 20% de reserva para futuras ampliaciones, como lo indica el artículo 8.8.1 inciso g de la NRF-048-PEMEX-2007.

Los VA calculados corresponden a la capacidad del transformador.

$$\text{Capacidad de TR-Q1} = 1.2 (\text{carga del cuarto nuevo de control} + \text{carga de alumbrado exterior} + \text{carga del respaldo de la UPS})$$

$$\text{Capacidad de TR-Q1} = 1.2 (6.674 \text{ kVA} + 7.777 \text{ kVA} + 5 \text{ kVA}) = 23.34 \text{ kVA}$$

Por lo tanto el transformador TR-Q1 será trifásico, tipo seco en barniz impregnado con una capacidad de 30 kVA y será colocado dentro del CCM-Q1. La elección del transformador esta basada en el artículo 8.8.6 de la NRF-048-PEMEX-2007.

4.1.2 MEMORIA DE CÁLCULO DE LOS CONDUCTORES PARA LOS SISTEMAS DE FUERZA.

En esta memoria se presentará la metodología con la cual se calcularon las corrientes y los calibres de los conductores de los circuitos de fuerza.

El cálculo de los alimentadores esta basado en las recomendaciones establecidas por la norma oficial mexicana (NOM-001-SEDE-2005, "Instalaciones Eléctricas"), leyes y reglamentos (La Ley del Servicio Publico de Energía Eléctrica), y en las normas internacionales ANSI, ASTM, IEEE, NEC (American National Standart Institute, American Society for Testing Materials, Institute of Electrical and Electronic Engineers, National Electrical Code), y en los datos de los distintos fabricantes de cables en México y normas técnicas para instalaciones eléctricas.

Datos de diseño

El número de circuitos de fuerza así como los datos que se tienen de ellos se presentan en la Tabla 3:

CIRCUITO	POTENCIA		TENSIÓN (V)	LONGITUD (m)
	kVA	HP		
CF-01			480	600
CF-02	7.777		220	5
CF-03	6.674		220	5
CF-04	5		220	8
CF-05		10	480	380
CF-06		25	480	450
CF-07	5		220	600

Tabla 3

La información técnica del conductor se obtuvo del catálogo de conductores Viakon.

Tipo de cable: THHW-LS (Solicitado por el CPG Poza Rica).

Descripción: Conductor de cobre suave sólido, su aislamiento es un compuesto termoplástico a base de policloruro de vinilo (PVC).

Tensión Máxima de Operación: 600 Volts de corriente alterna.

Temperatura máxima del conductor:

- En aceite: 60 °C
- En ambiente húmedo: 75 °C
- En ambiente seco: 90 °C
- En sobrecarga: 105 °C
- En corto circuito: 150 °C

La temperatura máxima de operación del conductor que se consideró es de 75 °C, como se observa en la Tabla 4, obtenida del artículo 310-13 de la NOM-001-SEDE-2005.

Nombre genérico	Tipo	Temp. máxima de operación °C	Usos permitidos	Tipo de aislamiento	Tamaño nominal		Espesor nominal de aislamiento mm	Cubierta exterior
					mm ²	AWG-kcmil		
Termoplástico resistente a la humedad, al calor y a la propagación de incendios, y de emisión reducida de humos y gas	THHW -LS	75	Lugares mojados.	Termoplástico resistente a la humedad, al calor y a la propagación de incendios, y de emisión reducida de humos y gas ácido	2,082 -5,260	(14 -10)	0,76	Ninguna
		90	Lugares secos		8,367	(8)	1,14	
					13,30 -33,62	(6 -2)	1,52	
					42,41 -107,2	(1 - 4/0)	2,03	
				126,7 -253,4	(250 -500)	2,41		

Tabla 4

La temperatura ambiente en el Complejo Procesador de Gas Poza Rica esta en el rango de 36 a 40 °C.

Factores a considerar en el cálculo de la corriente nominal y en la selección del conductor.

Cuando la temperatura ambiente sea diferente a 30 °C como es nuestro caso se deberá aplicar un factor de corrección por temperatura (Fct) a la corriente nominal de cada circuito; este factor de corrección por temperatura se obtiene de la Tabla 5 la cual fue obtenida del artículo 310-15 de la NOM-001-SEDE-2005.

FACTORES DE CORRECCIÓN (Fct)							
Temperatura ambiente en °C	Para temperaturas ambientes distintas de 30 °C, multiplicar la anterior capacidad de conducción de corriente por el correspondiente factor de los siguientes						Temperatura ambiente en °C
	60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C	
21-25	1,08	1,05	1,04	1,08	1,05	1,04	21-25
26-30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	26-30
31-35	0,91	0,94	0,96	0,91	0,94	0,96	31-35
36-40	0,82	0,88	0,91	0,82	0,88	0,91	36-40
41-45	0,71	0,82	0,87	0,71	0,82	0,87	41-45
46-50	0,58	0,75	0,82	0,58	0,75	0,82	46-50
51-55	0,41	0,67	0,76	0,41	0,67	0,76	51-55
56-60	....	0,58	0,71	....	0,58	0,71	56-60
61-70	....	0,33	0,58	....	0,33	0,58	61-70
71-80	....	....	0,41	....	....	0,41	71-80

Tabla 5

Dentro del mismo artículo 310-15 de la NOM-001-SEDE-2005 se establece que cuando el número de conductores activos en un cable o canalización sea mayor a tres, la capacidad de conducción de corriente se debe reducir como se indica en la Tabla 6.

Número de conductores activos	Por ciento de valor de las tablas ajustado para la temperatura ambiente si fuera necesario
De 4 a 6	80
De 7 a 9	70
De 10 a 20	50
De 21 a 30	45
De 31 a 40	40
41 y más	35

Tabla 6

De acuerdo con el artículo 110-14 de la NOM-001-SEDE-2005, para elegir el conductor adecuado se deben tener las siguientes consideraciones:

1.- Las terminales de equipos para circuitos de 100 A nominales o menos para conductores de tamaño nominal 2,082 a 42,41 mm² (14 a 1 AWG), deben utilizarse para conductores con temperatura de operación del aislamiento máxima de 60 °C.

Se permite utilizar conductores de mayor temperatura nominal, siempre que la capacidad de conducción de corriente de los conductores se determine basándose en su capacidad a 60 °C, según el tamaño nominal de los conductores usados.

2.- Las terminales de equipo para circuitos de más 100 A nominales para conductores mayores de 42,41 mm² (1 AWG), deben utilizarse solamente para

conductores con temperatura nominal de operación del aislamiento máxima de 75 °C.

Se permite utilizar conductores de mayor temperatura nominal, siempre que la capacidad de conducción de corriente de los conductores se determine basándose en su capacidad a 75 °C, según el tamaño nominal de los conductores empleados.

El artículo 8.4.5.1 de la NRF-048-PEMEX-2007 nos indica que el tamaño (calibre) mínimo de conductores a utilizar en tuberías es la siguiente:

- a) Fuerza 600 V y menor 10 AWG
- b) Alumbrado 12 AWG
- c) Contactos 10 AWG
- d) Media tensión 2/0 AWG

El factor de potencia que se considera para el diseño es de $f.p = 0.9$

4.1.2.1 CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE SELECCIÓN DEL CONDUCTOR

A continuación se presenta el cálculo de las corrientes de los siete circuitos de fuerza, la corriente del circuito CF-01 será la última en ser calculada debido a que para determinarla se necesita conocer las corrientes de los circuitos CF-05, CF-06 y del transformador TR-Q1.

Circuito de fuerza CF-02.

El circuito CF-02 es el que alimentará el tablero del alumbrado exterior, el cual será de 3 fases 4 hilos, 220/127 Vca.

Como se trata de un circuito trifásico y conocemos la carga total del alumbrado, la corriente nominal del circuito CF-02 se calcula con la Fórmula 1.

$$I_n = \frac{W}{\sqrt{3}V_{NOMINAL} \cdot f \cdot p} = \frac{VA}{\sqrt{3}V_{NOMINAL}} \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

- W = Potencia de equipo en Watts.
- V_{nominal} = Tensión nominal en Volts.
- I_n = Corriente nominal en Amperes.

VA = Potencia aparente en VA
 f.p = factor de potencia = 0.9

$$I_{CF-02} = \frac{VA}{\sqrt{3}V_{NOMINAL}} = \frac{7777}{(\sqrt{3})(220)} = 20.40A$$

Para obtener la corriente de selección del conductor debemos aplicar el factor de corrección por temperatura para un conductor THHW-LS (con clasificación térmica de 75 °C), operando a una temperatura en el conductor: Tc = 60 °C e instalado en un medio ambiente entre 36 y 40 °C.

El factor que corresponde de acuerdo con la Tabla 5 es Fct = 0.82

$$I_{CF-02(selección)} = \frac{I_{CF-02}}{0.82} = \frac{20.40}{0.82} = 24.88A$$

Circuito de fuerza CF-03.

El circuito CF-03 es el que alimentará centro de carga del cuarto nuevo de control, el cual será de 1 fase 2 hilos, 127 Vca.

Como se trata de un circuito monofásico y conocemos la carga del cuarto nuevo de control, la corriente nominal del circuito CF-03 se calcula con la Fórmula 2.

$$I_n = \frac{W}{V_{NOMINAL} \cdot f \cdot p} = \frac{VA}{V_{NOMINAL}} \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

W = Potencia de equipo en Watts.
 V_{nominal} = Tensión nominal en Volts.
 I_n = Corriente nominal en Amperes.
 VA = Potencia aparente en VA
 f.p = Factor de potencia.

$$I_{CF-03} = \frac{VA}{V_{NOMINAL}} = \frac{6674}{127} = 52.55A$$

Al igual que en el circuito CF-02, para obtener la corriente de selección del conductor debemos aplicar el factor de corrección por temperatura para un conductor THHW-LS (con clasificación térmica de 75 °C), operando a una temperatura en el conductor: $T_c = 60$ °C e instalado en un medio ambiente entre 36 y 40 °C.

El factor que corresponde de acuerdo con la Tabla 5 es $F_{ct} = 0.82$

$$I_{CF-03(\text{selección})} = \frac{I_{CF-03}}{0.82} = \frac{52.55}{0.82} = 64.08A$$

Circuito de fuerza CF-04.

El circuito CF-04 es el que alimentará el respaldo de la UPS trifásica de 5 kVA.

Como se trata de un circuito trifásico y conocemos la carga total de la UPS, la corriente nominal del circuito CF-04 se calcula con la Fórmula 1, y posteriormente se le aplica el factor de corrección por temperatura para obtener la corriente de selección del conductor.

$$I_{CF-04} = \frac{VA}{\sqrt{3}V_{NOMINAL}} = \frac{5000}{(\sqrt{3})(220)} = 13.12A$$

El factor que corresponde de acuerdo con la Tabla 5 es $F_{ct} = 0.82$

$$I_{CF-04(\text{selección})} = \frac{I_{CF-04}}{0.82} = \frac{13.12}{0.82} = 16A$$

Circuito de fuerza CF-05.

El circuito CF-05 alimentará al motor trifásico BAME-102, cuya capacidad es de 10 HP. La corriente nominal para este circuito se obtiene de la Tabla 7, la cual fue obtenida de la tabla 430-150 de la NOM-001-SEDE-2005.

Para obtener la corriente de selección del conductor, se debe multiplicar la corriente nominal por 1.25, según lo estipulado en el artículo 430-22 de la NOM-001-SEDE-2005 que indica que el conductor que suministra energía eléctrica a un motor, debe tener capacidad de conducción de corriente no-menor a 125% de la corriente eléctrica nominal (de plena carga). Finalmente se aplicará el factor de corrección por temperatura.

kW	HP	Motor de inducción Jaula de ardilla y rotor devanado (A)						Motor sincrónico, con factor de potencia unitario (A)				
		V										
		115	200	208	230	460	575	2300	230	460	575	2300
0,373	1/2	4,4	2,5	2,4	2,2	1,1	0,9					
0,560	3/4	6,4	3,7	3,5	3,2	1,6	1,3					
0,746	1	8,4	4,8	4,6	4,2	2,1	1,7					
1,119	1-1/2	12,0	6,9	6,6	6,0	3,0	2,4					
1,49	2	13,6	7,8	7,5	6,8	3,4	2,7					
2,23	3		11,0	10,6	9,6	4,8	3,9					
3,73	5		17,5	16,7	15,2	7,6	6,1					
5,6	7-1/2		25,3	24,2	22	11	9					
6,46	10		32,2	30,8	28	14	11					
11,19	15		48,3	46,2	42	21	17					
14,92	20		62,1	59,4	54	27	22	53	26	21		
18,65	25		78,2	74,8	68	34	27					
22,38	30		92	88	80	40	32	63	32	26		
29,84	40		120	114	104	52	41	83	41	33		
37,3	50		150	143	130	65	52	104	52	42		
kW	CP	Motor de inducción Jaula de ardilla y rotor devanado (A)						Motor sincrónico, con factor de potencia unitario (A)				
		V										
		115	200	208	230	460	575	2300	230	460	575	2300
44,76	60		177	169	154	77	62	16	123	61	49	12
55,95	75		221	211	192	96	77	20	155	78	62	15
74,60	100		285	273	248	124	99	26	202	101	81	20

Tabla 7

Corriente nominal obtenida de la Tabla 7

$$I_{BAME-102} = 14 \text{ A.}$$

$$I_{BAME-102(\text{sobrecarga})} = 1.25 \times I_{\text{nominal}} = 1.25 \times 14 = 17.5 \text{ A}$$

El factor de corrección por temperatura que corresponde de acuerdo con la Tabla 5 es $F_{ct} = 0.82$

$$I_{CF-05(\text{selección})} = \frac{I_{BAME-102(\text{sobrecarga})}}{0.82} = \frac{17.5}{0.82} = 21.34 \text{ A}$$

Circuito de fuerza CF-06.

El circuito CF-06 alimentará al motor trifásico BSME-102, cuya capacidad es de 25 HP.

La metodología para determinar la corriente nominal y de selección del conductor para este circuito es la misma a la del circuito CF-05.

Corriente nominal obtenida de la Tabla 7

$$I_{BSME-102} = 34 \text{ A.}$$

$$I_{BSME-102(\text{sobrecarga})} = 1.25 \times I_{\text{nominal}} = 1.25 \times 34 = 42.5 \text{ A}$$

El factor de corrección por temperatura que corresponde de acuerdo con la Tabla 5 es $F_{ct} = 0.82$

$$I_{CF-06(\text{selección})} = \frac{I_{BSME-102(\text{sobrecarga})}}{0.82} = \frac{42.5}{0.82} = 51.82 \text{ A}$$

Circuito de fuerza CF-07.

El circuito CF-07 es el que alimentará la UPS que solicitó el departamento de instrumentación con una capacidad de 5 kVA.

Como se trata de un circuito trifásico y conocemos la capacidad de la UPS, la corriente nominal del circuito CF-07 se calcula con la Fórmula 1 y posteriormente se le aplica el factor de corrección por temperatura para obtener la corriente de selección del conductor.

$$I_{CF-07} = \frac{VA}{\sqrt{3}V_{NOMINAL}} = \frac{5000}{(\sqrt{3})(220)} = 13.12 \text{ A}$$

El factor que corresponde de acuerdo con la Tabla 5 es $F_{ct} = 0.82$

$$I_{CF-07(\text{selección})} = \frac{I_{CF-07}}{0.82} = \frac{13.12}{0.82} = 16 \text{ A}$$

Circuito de fuerza CF-01.

El circuito CF-01 es el que alimenta el CCM-Q1 ubicado en el cuarto nuevo de control y su corriente nominal se obtiene de la siguiente manera:

$$I_{CF-01} = I_{TR-Q1} + I_{BAME-102} + I_{BSME-102} + I_R$$

Donde:

I_{CF-01} = Corriente nominal en el circuito CF-01.

I_{TR-Q1} = Corriente nominal del transformador TR-Q1.

$I_{BAME-102}$ = Corriente nominal del motor BAME-102.

$I_{BSME-102}$ = Corriente nominal del motor BSME-102.

I_R = Corriente de reserva.

Se calcula la corriente nominal del transformador utilizando la Fórmula 1:

$$I_{TR-Q1} = \frac{VA}{\sqrt{3}V_{NOMINAL}} = \frac{30000}{(\sqrt{3})(480)} = 36.08A$$

Las corrientes nominales de los motores BAME-102 y BSME-102 son las obtenidas anteriormente de la Tabla 7.

$$I_{BAME-102} = 14 A.$$

$$I_{BSME-102} = 34 A.$$

La corriente de reserva es el 20% de la suma de las corrientes nominales del transformador y de los motores.

$$I_R = 0.2 (I_{TR-Q1} + I_{BSME-102} + I_{BAME-102}) = 0.2 (36.08 + 34 + 14) = 16.81 A.$$

Por lo tanto la corriente nominal en el circuito CF-01 es igual a:

$$I_{CF-01} = I_{TR-Q1} + I_{BAME-102} + I_{BSME-102} + I_R = 36.08 + 14 + 34 + 16.81 = 100.89 A.$$

El cálculo de la corriente de selección del conductor se baso en el artículo 430-24 de la NOM-001-SEDE 2005 que indica lo siguiente:

Los conductores que suministren energía eléctrica a varios motores o a motores y otras cargas, deben tener una capacidad de conducción de corriente, cuando menos de la suma de las corrientes a plena carga nominales de todos los motores, más un 25% de la corriente nominal del motor mayor del grupo, más la corriente nominal de las otras cargas determinadas.

$$I_{CF-01(sobrecarga)} = I_{TR-Q1} + I_{BAME-102} + I_{BSME-102} + I_R + 0.25 (I_{BSME-102})$$

$$I_{CF-01(sobrecarga)} = 36.08 + 14 + 34 + 16.81 + 0.25 (34) = 109.39 \text{ A.}$$

Finalmente para obtener la corriente de selección del conductor debemos aplicar el factor de corrección por temperatura para un conductor THHW-LS (con clasificación térmica de 75 °C), operando a una temperatura en el conductor: Tc = 75 °C e instalado en un medio ambiente entre 36 y 40 °C.

El factor que corresponde de acuerdo con la Tabla 5 es Fct = 0.88

$$I_{CF-01(selección)} = \frac{I_{CF-01(sobrecarga)}}{0.88} = \frac{109.39}{0.88} = 124.3 \text{ A}$$

Finalmente en la Tabla 8 se muestran las corrientes nominales y de selección del conductor obtenidas para cada uno de los circuitos de fuerza.

CIRCUITO	CORRIENTE NOMINAL (A)	CORRIENTE DE SELECCIÓN DEL CONDUCTOR (A)
CF-01	100.89	124.3
CF-02	20.40	24.88
CF-03	52.55	64.08
CF-04	13.12	16
CF-05	14	17.5
CF-06	34	51.82
CF-07	13.12	16

Tabla 8

4.1.2.2 SELECCIÓN DEL CALIBRE DEL CONDUCTOR

Para seleccionar el conductor con el calibre adecuado de los circuitos de fuerza, los cuales son en baja tensión, se tienen los siguientes métodos:

- a) Por ampacidad. Este método consiste en seleccionar el calibre del conductor basado en su capacidad de conducción de corriente, la cual se especifica en la Tabla 9 obtenida de la tabla 310-16 de la NOM-001-SEDE-2005. Este método fue utilizado para los circuitos con longitudes cortas, debido a que la caída de tensión que se presenta es muy pequeña.
- b) Por caída de tensión. Este método fue utilizado en los circuitos cuyas longitudes son grandes, por lo que podrían presentar una caída de tensión mayor a lo permitido por la NOM-001-SEDE-2005, la cual es del 3%. Al igual que el método por ampacidad, el calibre del conductor se selecciona de la Tabla 9 basado en su capacidad de conducción de corriente, después se debe comprobar su caída de tensión, en caso de que no cumpla con lo establecido por la norma se deberá elegir un conductor de calibre mayor y realizar la comprobación nuevamente, este procedimiento se hará hasta encontrar el conductor adecuado.

Nota: El calibre mínimo para cables de fuerza debe de ser del 10 AWG, en base a lo estipulado en la norma NRF-048-PEMEX-2007, para la selección de calibre apropiado del conductor de fuerza.

Tamaño o Designación		Temperatura nominal del conductor (véase Tabla 310-13)					
mm ²	AWG o kcmil	60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C
		TIPOS TW* CCE TWD-UV	TIPOS RHW*, THHW*, THW*, THW-LS, THWN*, XHHW*, TT, USE	TIPOS MI, RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*, THHW- LS, THW-2*, XHHW*, XHHW-2, USE-2 FEP*, FEPB*	TIPOS UF*	TIPOS RHW*, XHHW*	TIPOS RHW-2, XHHW*, XHHW-2, DRS
		Cobre			Aluminio		
0,824	18	---	---	14	---	---	---
1,31	16	---	---	18	---	---	---
2,08	14	20*	20*	25*	---	---	---
3,31	12	25*	25*	30*	---	---	---
5,26	10	30	35*	40*	---	---	---
8,37	8	40	50	55	---	---	---
13,3	6	55	65	75	40	50	60
21,2	4	70	85	95	55	65	75
26,7	3	95	100	110	65	75	85
33,5	2	95	115	130	75	90	100
42,4	1	110	130	150	85	100	115
53,5	1/0	125	150	170	100	120	135
67,4	2/0	145	175	195	115	135	150
85,0	3/0	165	200	225	130	155	175
107	4/0	195	230	260	150	180	205
127	250	215	255	290	170	205	230
152	300	240	285	320	190	230	255
177	350	260	310	350	210	250	280
203	400	280	335	380	225	270	305
253	500	320	380	430	260	310	350
304	600	355	420	475	285	340	385
356	700	385	460	520	310	375	420
380	750	400	475	535	320	385	435
406	800	410	490	555	330	395	450
458	900	435	520	585	355	425	480
507	1 000	455	545	615	375	445	500
633	1250	495	590	665	405	485	545
760	1500	520	625	705	435	520	585
887	1750	545	650	735	455	545	615
1010	2000	560	665	750	470	560	630

Tabla 9

A continuación se muestra la Tabla 10 obtenida del NEC, la cual contiene el valor de las resistencias y las reactancias inductivas de cada uno de los diferentes calibres, con las cuales obtendremos sus impedancias. La impedancia del conductor será utilizada en el método de caída de tensión como se mostrará mas adelante.

Size (AWG or kcmil)	Ohms to Neutral per Kilometer Ohms to Neutral per 1000 Feet															Size (AWG or kcmil)
	X_L (Reactance) for All Wires		Alternating-Current Resistance for Uncoated Copper Wires			Alternating-Current Resistance for Aluminum Wires			Effective Z at 0.85 PF for Uncoated Copper Wires			Effective Z at 0.85 PF for Aluminum Wires				
	PVC, Aluminum Conduits	Steel Conduit	PVC Conduit	Aluminum Conduit	Steel Conduit	PVC Conduit	Aluminum Conduit	Steel Conduit	PVC Conduit	Aluminum Conduit	Steel Conduit	PVC Conduit	Aluminum Conduit	Steel Conduit		
14	0.190 0.058	0.240 0.073	10.2 3.1	10.2 3.1	10.2 3.1	—	—	—	8.9 2.7	8.9 2.7	8.9 2.7	—	—	—	14	
12	0.177 0.054	0.223 0.068	6.6 2.0	6.6 2.0	6.6 2.0	10.5 3.2	10.5 3.2	10.5 3.2	5.6 1.7	5.6 1.7	5.6 1.7	9.2 2.8	9.2 2.8	9.2 2.8	12	
10	0.164 0.050	0.207 0.063	3.9 1.2	3.9 1.2	3.9 1.2	6.6 2.0	6.6 2.0	6.6 2.0	3.6 1.1	3.6 1.1	3.6 1.1	5.9 1.8	5.9 1.8	5.9 1.8	10	
8	0.171 0.052	0.213 0.065	2.56 0.78	2.56 0.78	2.56 0.78	4.3 1.3	4.3 1.3	4.3 1.3	2.26 0.69	2.26 0.69	2.30 0.70	3.6 1.1	3.6 1.1	3.6 1.1	8	
6	0.167 0.051	0.210 0.064	1.61 0.49	1.61 0.49	1.61 0.49	2.66 0.81	2.66 0.81	2.66 0.81	1.44 0.44	1.48 0.45	1.48 0.45	2.33 0.71	2.36 0.72	2.36 0.72	6	
4	0.157 0.048	0.197 0.060	1.02 0.31	1.02 0.31	1.02 0.31	1.67 0.51	1.67 0.51	1.67 0.51	0.95 0.29	0.95 0.29	0.98 0.30	1.51 0.46	1.51 0.46	1.51 0.46	4	
3	0.154 0.047	0.194 0.059	0.82 0.25	0.82 0.25	0.82 0.25	1.31 0.40	1.35 0.41	1.31 0.40	0.75 0.23	0.79 0.24	0.79 0.24	1.21 0.37	1.21 0.37	1.21 0.37	3	
2	0.148 0.045	0.187 0.057	0.62 0.19	0.66 0.20	0.66 0.20	1.05 0.32	1.05 0.32	1.05 0.32	0.62 0.19	0.62 0.19	0.66 0.20	0.98 0.30	0.98 0.30	0.98 0.30	2	
1	0.151 0.046	0.187 0.057	0.49 0.15	0.52 0.16	0.52 0.16	0.82 0.25	0.85 0.26	0.82 0.25	0.52 0.16	0.52 0.16	0.52 0.16	0.79 0.24	0.79 0.24	0.82 0.25	1	
1/0	0.144 0.044	0.180 0.055	0.39 0.12	0.43 0.13	0.39 0.12	0.66 0.20	0.69 0.21	0.66 0.20	0.43 0.13	0.43 0.13	0.43 0.13	0.62 0.19	0.66 0.20	0.66 0.20	1/0	
2/0	0.141 0.043	0.177 0.054	0.33 0.10	0.33 0.10	0.33 0.10	0.52 0.16	0.52 0.16	0.52 0.16	0.36 0.11	0.36 0.11	0.36 0.11	0.52 0.16	0.52 0.16	0.52 0.16	2/0	
3/0	0.138 0.042	0.171 0.052	0.253 0.077	0.269 0.082	0.259 0.079	0.43 0.13	0.43 0.13	0.43 0.13	0.289 0.088	0.302 0.092	0.308 0.094	0.43 0.13	0.43 0.13	0.46 0.14	3/0	
4/0	0.135 0.041	0.167 0.051	0.203 0.062	0.220 0.067	0.207 0.063	0.33 0.10	0.36 0.11	0.33 0.10	0.243 0.074	0.256 0.078	0.262 0.080	0.36 0.11	0.36 0.11	0.36 0.11	4/0	
250	0.135 0.041	0.171 0.052	0.171 0.052	0.187 0.057	0.177 0.054	0.279 0.085	0.295 0.090	0.282 0.086	0.217 0.066	0.230 0.070	0.240 0.073	0.308 0.094	0.322 0.098	0.33 0.10	250	
300	0.135 0.041	0.167 0.051	0.144 0.044	0.161 0.049	0.148 0.045	0.233 0.071	0.249 0.076	0.236 0.072	0.194 0.059	0.207 0.063	0.213 0.065	0.269 0.082	0.282 0.086	0.289 0.088	300	
350	0.131 0.040	0.164 0.050	0.125 0.038	0.141 0.043	0.128 0.039	0.200 0.061	0.217 0.066	0.207 0.063	0.174 0.053	0.190 0.058	0.197 0.060	0.240 0.073	0.253 0.077	0.262 0.080	350	
400	0.131 0.040	0.161 0.049	0.108 0.033	0.125 0.038	0.115 0.035	0.177 0.054	0.194 0.059	0.180 0.055	0.161 0.049	0.174 0.053	0.184 0.056	0.217 0.066	0.233 0.071	0.240 0.073	400	
500	0.128 0.039	0.157 0.048	0.089 0.027	0.105 0.032	0.095 0.029	0.141 0.043	0.157 0.048	0.148 0.045	0.141 0.043	0.157 0.048	0.164 0.050	0.187 0.057	0.200 0.061	0.210 0.064	500	
600	0.128 0.039	0.157 0.048	0.075 0.023	0.092 0.028	0.082 0.025	0.118 0.036	0.135 0.041	0.125 0.038	0.131 0.040	0.144 0.044	0.154 0.047	0.167 0.051	0.180 0.055	0.190 0.058	600	
750	0.125 0.038	0.157 0.048	0.062 0.019	0.079 0.024	0.069 0.021	0.095 0.029	0.112 0.034	0.102 0.031	0.118 0.036	0.131 0.040	0.141 0.043	0.148 0.045	0.161 0.049	0.171 0.052	750	
1000	0.121 0.037	0.151 0.046	0.049 0.015	0.062 0.019	0.059 0.018	0.075 0.023	0.089 0.027	0.082 0.025	0.105 0.032	0.118 0.036	0.131 0.040	0.128 0.039	0.138 0.042	0.151 0.046	1000	

Tabla 10

A continuación se presentará como se seleccionó el calibre del conductor para cada uno de los circuitos de fuerza:

Circuito de fuerza CF-01.

Corriente de selección del conductor	Capacidad de conducción del conductor. Tabla 9	Calibre del conductor requerido. Tabla 9.
124.3 A	130 A	1 AWG.

Como el circuito CF-01 tiene una longitud de 600 m, se calculó su caída de tensión, para comprobar que cumpla con lo establecido por la norma.

Para este circuito tenemos los siguientes datos:

$$\bar{I}_n = 100.89 \angle -25.84^\circ A$$

$$\bar{V}_{G_f-f} = 480 \angle 0^\circ V \quad (\text{Tensión entre fases})$$

$$L = 600 \text{ m.}$$

Calculo de la impedancia del conductor.

$$\bar{Z} = R + jX \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

- Z = Impedancia del conductor en Ω/Km.
- R = Resistencia a CA del conductor en Ω/Km.
- X = Reactancia Inductiva del conductor en Ω/Km.

Los valores de R y X se obtienen de la Tabla 10 de la columna de *Steel conduit*, porque de acuerdo con la norma NRF-048-PEMEX-2007 la tubería conduit que se utiliza tanto para instalación aérea como subterránea debe ser de acero galvanizado por inmersión en caliente, pared gruesa tipo pesado, fabricado de acuerdo a la norma NMX-J-534-ANCE.

La impedancia para el calibre 1 AWG es:

$$\bar{Z} = 0.52 + j0.187 \Omega / km.$$

$$\bar{Z} = 0.552 \angle 19.77^\circ \Omega / km.$$

Calculo para determinar el por ciento de la caída de tensión.

$$\bar{V}_{R_{f-n}} = \bar{V}_{G_{f-n}} - \bar{I}_n \bar{Z}L \dots\dots\dots(4)$$

Donde:

$V_{G_{f-n}}$ = Tensión de fase a neutro en el extremo generador en Volts.

$V_{R_{f-n}}$ = Tensión de fase a neutro en la carga en Volts.

L = longitud total del conductor en Km.

Z = Impedancia del conductor en Ω/Km .

I_n = Corriente nominal en Amperes.

$$\bar{V}_{R_{f-n}} = 277.12\angle 0^\circ - (100.89\angle -25.84^\circ)(0.522\angle 19.77^\circ)(0.6)$$

$$\bar{V}_{R_{f-n}} = 277.12\angle 0^\circ - 33.41\angle -6.07^\circ = 243.93\angle 0.82^\circ V$$

$$\bar{V}_{R_{f-f}} = \sqrt{3}\bar{V}_{R_{f-n}} = 422.5\angle 0.82^\circ V$$

Finalmente tenemos que:

$$\% \text{ Reg } = \frac{|\bar{V}_G| - |\bar{V}_R|}{|\bar{V}_R|} \times 100 = \frac{480 - 422.5}{422.5} \times 100 = 13.6\%$$

Como el %Reg. está por encima de lo permitido por la norma se deberá probar con calibres mayores.

Probaremos con un calibre 750 kCM que tiene una impedancia de $\bar{Z} = 0.171\angle 66.27^\circ \Omega / km$.

$$\bar{V}_{R_{f-n}} = 277.12\angle 0^\circ - (100.89\angle -25.84^\circ)(0.171\angle 66.27^\circ)(0.6)$$

$$\bar{V}_{R_{f-n}} = 277.12\angle 0^\circ - 10.381\angle 40.43^\circ = 269.3\angle -1.43^\circ V$$

$$\bar{V}_{R_{f-f}} = \sqrt{3}\bar{V}_{R_{f-n}} = 466.44\angle -1.43^\circ V$$

$$\% \text{ Re } g = \frac{|\bar{V}_G| - |\bar{V}_R|}{|\bar{V}_R|} \times 100 = \frac{480 - 466.44}{466.44} \times 100 = 2.9\%$$

Por lo tanto, para el circuito CF-01 utilizaremos un calibre 750 kCM.

Para los circuitos CF-02, CF-03, CF-04 bastará con elegir el calibre del conductor de la Tabla 9 con ayuda de la corriente de selección, para estos circuitos no es necesario comprobar la caída de tensión. La caída de tensión es mínima en circuitos cuyas longitudes son pequeñas.

Circuito de fuerza CF-02.

Corriente de selección del conductor	Capacidad de conducción del conductor. Tabla 9	Calibre del conductor requerido. Tabla 9.
24.88 A	25 A	12 AWG.

El calibre 12 AWG tiene la capacidad de conducción que requiere el circuito CF-02, pero utilizaremos un calibre 10 AWG que es el calibre mínimo para circuitos de fuerza en baja tensión como lo indica la NRF-048-PEMEX-2007.

Circuito de fuerza CF-03.

Corriente de selección del conductor	Capacidad de conducción del conductor. Tabla 9	Calibre del conductor requerido. Tabla 9.
64.08 A	65 A	6 AWG.

Circuito de fuerza CF-04.

Corriente de selección del conductor	Capacidad de conducción del conductor. Tabla 9	Calibre del conductor requerido. Tabla 9.
16 A	20 A	14 AWG.

Aunque el calibre 14 AWG tiene la capacidad de conducción que requiere el circuito CF-04, utilizaremos un calibre 10 AWG que es el calibre mínimo para circuitos de fuerza en baja tensión como lo indica la NRF-048-PEMEX-2007.

Circuito de fuerza CF-05.

Corriente de selección del conductor	Capacidad de conducción del conductor. Tabla 9	Calibre del conductor requerido. Tabla 9.
17.5 A	20 A	14 AWG.

Por norma utilizaremos un calibre 10 AWG.

Como este circuito tiene una longitud de 380 metros, se deberá realizar el cálculo de caída de tensión para comprobar que el %Reg sea no mayor al 3% como lo indica la norma.

Datos.

$$\bar{I}_n = 14 \angle -25.84^\circ A$$

$$\bar{Z} = 3.905 \angle 3.03^\circ \Omega / km. \text{ (Tensión entre fases)}$$

$$\bar{V}_{G_{f-f}} = 480 \angle 0^\circ V \text{ (Impedancia para el calibre 10 AWG)}$$

$$L = 380 \text{ m.}$$

Usando Fórmula 4 tenemos que:

$$\bar{V}_{R_{f-n}} = 277.12 \angle 0^\circ - (14 \angle -25.84^\circ)(3.905 \angle 3.03^\circ)(0.38)$$

$$\bar{V}_{R_{f-n}} = 277.12 \angle 0^\circ - 20.77 \angle -22.81^\circ = 258.09 \angle 1.78^\circ V$$

$$\bar{V}_{R_{f-f}} = \sqrt{3} \bar{V}_{R_{f-n}} = 447.03 \angle 1.78^\circ V$$

Finalmente tenemos que:

$$\% \text{ Reg} = \frac{|\bar{V}_G| - |\bar{V}_R|}{|\bar{V}_R|} \times 100 = \frac{480 - 447.03}{447.03} \times 100 = 7.37\%$$

Como el %Reg. está por encima de lo permitido por norma se deberá probar con calibres mayores.

Probaremos con un calibre 4 AWG que tiene una impedancia de $\bar{Z} = 1.038 \angle 10.93^\circ \Omega / km$

$$\bar{V}_{R_{f-n}} = 277.12 \angle 0^\circ - (14 \angle -25.84^\circ)(1.038 \angle 10.43^\circ)(0.38)$$

$$\bar{V}_{R_{f-n}} = 277.12 \angle 0^\circ - 5.52 \angle -14.91^\circ = 271.78 \angle 0.29^\circ V$$

$$\bar{V}_{R_{f-f}} = \sqrt{3} \bar{V}_{R_{f-n}} = 470.74 \angle 0.29^\circ V$$

$$\% \text{ Reg} = \frac{|\bar{V}_G| - |\bar{V}_R|}{|\bar{V}_R|} \times 100 = \frac{480 - 470.74}{470.74} \times 100 = 1.96\%$$

Por lo tanto, para el circuito CF-05 utilizaremos un calibre 4 AWG.

Circuito de fuerza CF-06.

Corriente de selección del conductor	Capacidad de conducción del conductor. Tabla 9	Calibre del conductor requerido. Tabla 9.
51.82 A	65 A	6 AWG.

Para este circuito el conductor con calibre 6 AWG tiene una caída de tensión mayor al 3%, debido a que la longitud del circuito es de 450 metros, por lo que se probó un calibre de 1/0 AWG.

Datos.

$$\bar{I}_n = 34 \angle -25.84^\circ A$$

$$\bar{V}_{G_{f-f}} = 480 \angle 0^\circ V \text{ (Tensión entre fases)}$$

$$\bar{Z} = 0.429 \angle 24.77^\circ \Omega / km. \text{ (Impedancia para el calibre 1/0 AWG)}$$

$$L = 450 \text{ m.}$$

Usando Fórmula 4 tenemos que:

$$\bar{V}_{R_{f-n}} = 277.12 \angle 0^\circ - (34 \angle -25.84^\circ)(0.429 \angle 24.77^\circ)(0.45)$$

$$\bar{V}_{R_{f-n}} = 277.12 \angle 0^\circ - 6.563 \angle -1.07^\circ = 270.55 \angle 0.025^\circ V$$

$$\bar{V}_{R_{f-f}} = \sqrt{3} \bar{V}_{R_{f-n}} = 468.61 \angle 0.025^\circ V$$

Finalmente tenemos que:

$$\% \text{ Reg} = \frac{|\bar{V}_G| - |\bar{V}_R|}{|\bar{V}_R|} \times 100 = \frac{480 - 468.61}{468.61} \times 100 = 2.43\%$$

Por lo tanto para el circuito CF-06 utilizaremos un calibre 1/0 AWG.

Circuito de fuerza CF-07.

Corriente de selección del conductor	Capacidad de conducción del conductor. Tabla 9	Calibre del conductor requerido. Tabla 9.
16 A	20 A	14 AWG.

Por norma para este circuito se comprobó la caída de tensión para un calibre 10 AWG, pero debido a la longitud del circuito que es de 600 metros se tuvo una caída mayor al 3%, por lo que utilizamos un calibre mayor.

Probaremos con un calibre 1/0 AWG.

Datos.

$$\bar{I}_n = 13.12 \angle -25.84^\circ A$$

$$\bar{V}_{G_{f-f}} = 220 \angle 0^\circ V \text{ (Tensión entre fases)}$$

$$\bar{Z} = 0.429 \angle 24.77^\circ \Omega / km. \text{ (Impedancia para el calibre 1/0 AWG)}$$

$$L = 600 \text{ m.}$$

Usando Fórmula 4 tenemos que:

$$\bar{V}_{R_{f-n}} = 127 \angle 0^\circ - (13.12 \angle -25.84^\circ)(0.429 \angle 24.77^\circ)(0.6)$$

$$\bar{V}_{R_{f-n}} = 127 \angle 0^\circ - 3.37 \angle -1.07^\circ = 123.62 \angle 0.029^\circ V$$

$$\bar{V}_{R_{f-f}} = \sqrt{3} \bar{V}_{R_{f-n}} = 214.12 \angle 0.029^\circ V$$

Finalmente tenemos que:

$$\% \text{ Re } g = \frac{|\bar{V}_G| - |\bar{V}_R|}{|\bar{V}_R|} \times 100 = \frac{220 - 214.12}{214.12} \times 100 = 2.74\%$$

Por lo tanto para el circuito CF-07 utilizaremos un calibre 1/0 AWG.

Finalmente en la Tabla 11 se muestran los calibres obtenidos de los conductores para todos los circuitos.

CIRCUITO	Calibre del conductor
CF-01	750 kCM
CF-02	10 AWG
CF-03	6 AWG
CF-04	10 AWG
CF-05	4 AWG
CF-06	1/0 AWG
CF-07	1/0 AWG

Tabla 11

4.1.3 SELECCIÓN DE LA TUBERÍA CONDUIT

La selección de la tubería conduit se realizó de forma analítica como lo mostraremos a continuación.

La Tabla 12 nos muestra de acuerdo a la cantidad de cables contenidos en un tubo, el porcentaje de llenado de tubo que le corresponde.

Número de cables dentro del ducto	1	2	3 o más
Porcentaje máximo de llenado (%)	53	31	40

Tabla 12

Utilizando la Tabla 12 y la Fórmula 5 obtenidas del manual de instalaciones de cables de Condumex, se pudo calcular el diámetro requerido de la tubería conduit para cada circuito.

$$P = \frac{N \frac{\pi}{4} d^2}{\frac{\pi}{4} D^2} 100 \dots\dots\dots (5)$$

Donde:

- P = porcentaje del llenado del ducto en %.
- N = número de cables dentro del ducto.
- d = diámetro exterior del conductor, en mm.
- D = diámetro interno del ducto, en mm.

El diámetro exterior en milímetros del conductor lo obtenemos de la Tabla 13, obtenida del manual de conductores Vacon.

CONDUCTOR DESNUDO					Espesor nominal del aislamiento mm	Diámetro exterior Nominal mm	Peso aproximado Kg/100m
Calibre AWG o KCM	Numero de hilos	Diámetro de cada hilos	Diámetro total mm	Área mm ²			
20	19	0.187	0.94	0.52	0.76	2.46	1.1
18	19	0.235	1.18	0.82	0.76	2.70	1.3
16	19	0.296	1.48	1.31	0.76	3.00	1.8
14	19	0.374	1.87	2.08	0.76	3.39	2.8
12	19	0.471	2.36	3.3	0.76	3.88	4.2
10	19	0.594	2.97	5.26	0.76	4.49	6.1
8	19	0.749	3.75	8.37	1.14	6.03	10.2
6	19	0.944	4.72	13.3	1.52	7.76	116.5
4	19	1.191	5.38	21.1	1.52	8.43	24.5
2	19	1.501	7.42	33.8	1.52	10.46	36.6
1/0	19	1.89	9.45	53.4	2.03	13.51	58.5
2/0	19	2.12	10.64	67.4	2.03	14.7	72.0
3/0	19	2.39	11.94	85.1	2.03	16.00	89.5
4/0	19	2.68	13.41	107	2.03	17.47	115.5
250	37	2.09	14.60	127	2.41	19.42	132.5
300	37	2.29	16.00	152	2.41	20.82	157.5
350	37	2.47	17.30	177	2.41	22.12	181.5
400	37	2.64	18.49	203	2.41	23.31	205.5
500	37	2.95	20.65	253	2.41	25.47	254.0
750	61	2.81	25.30	380	2.79	30.88	386.5
1000	61	3.25	29.30	506	2.79	34.88	520

Tabla 13

A continuación determinaremos el diámetro de la tubería conduit para cada uno de los circuitos de fuerza.

Circuito de fuerza CF-01.

El circuito CF-01 tiene 3 conductores de 750 kCM, este conductor de acuerdo con la Tabla 13 tiene un diámetro exterior nominal 30.88 mm.

De la Fórmula 4 despejamos D, y tenemos que:

$$D = \sqrt{\frac{N \frac{\pi}{4} d^2}{\frac{\pi}{4} P} 100} = \sqrt{\frac{3 \frac{\pi}{4} (30.88)^2}{\frac{\pi}{4} 40} 100} = 84.56 \text{ mm.}$$

Tomamos el valor comercial correspondiente, por lo tanto para el circuito de fuerza CF-01 la tubería conduit que se utilizó tendrá un diámetro interno de 101 mm. (4 pulg.).

Circuitos de fuerza CF-02 y CF-04.

Los circuitos CF-02 y CF-04 tiene 3 conductores de 10 AWG cada uno, este conductor de acuerdo con la Tabla 13 tiene un diámetro exterior nominal 4.49 mm.

$$D = \sqrt{\frac{N \frac{\pi}{4} d^2}{\frac{\pi}{4} P} 100} = \sqrt{\frac{3 \frac{\pi}{4} (4.49)^2}{\frac{\pi}{4} 40} 100} = 12.29 \text{ mm.}$$

Para estos dos circuitos el valor comercial del diámetro interno de la tubería conduit que le correspondería sería de 13 mm. (½ pulg.), pero la NRF-048-PEMEX-2007 indica que el diámetro mínimo para tuberías aéreas visibles debe ser de 19 mm (¾ pulg.).

Circuito de fuerza CF-03.

El circuito CF-03 tiene 2 conductores de 6 AWG, este conductor de acuerdo con la Tabla 13 tiene un diámetro exterior nominal 7.76 mm. y la tabla 12 nos indica que se debe considerar un porcentaje de llenado del 31%.

$$D = \sqrt{\frac{N \frac{\pi}{4} d^2}{\frac{\pi}{4} P}} 100 = \sqrt{\frac{2 \frac{\pi}{4} (7.76)^2}{\frac{\pi}{4} 31}} 100 = 19.71 \text{ mm.}$$

Tomamos el valor comercial correspondiente, por lo tanto para el circuito de fuerza CF-03 la tubería conduit que se utilizó tendrá un diámetro interno de 19 mm. ($\frac{3}{4}$ pulg.).

Circuito de fuerza CF-05.

El circuito CF-01 tiene 3 conductores de 4 AWG, este conductor de acuerdo con la Tabla 13 tiene un diámetro exterior nominal 8.43 mm.

$$D = \sqrt{\frac{N \frac{\pi}{4} d^2}{\frac{\pi}{4} P}} 100 = \sqrt{\frac{3 \frac{\pi}{4} (8.43)^2}{\frac{\pi}{4} 40}} 100 = 23.08 \text{ mm.}$$

Tomamos el valor comercial correspondiente, por lo tanto para el circuito de fuerza CF-05 se utilizará una tubería conduit con un diámetro interno de 25 mm. (1 pulg.).

Circuitos de fuerza CF-06 y CF-07.

Los circuitos CF-06 y CF-07 tiene 3 conductores de 1/0 AWG cada uno, este conductor de acuerdo con la Tabla 13 tiene un diámetro exterior nominal 13.51 mm.

$$D = \sqrt{\frac{N \frac{\pi}{4} d^2}{\frac{\pi}{4} P}} 100 = \sqrt{\frac{3 \frac{\pi}{4} (13.51)^2}{\frac{\pi}{4} 40}} 100 = 36.99 \text{ mm.}$$

Para estos dos circuitos el valor comercial del diámetro interno de la tubería conduit que les corresponde es de 38 mm. (1 ½ pulg.).

Un método mas sencillo para determinar los diámetros de las tuberías es obtener el valor de tablas ya establecidas por los mismos fabricantes de cables, las cuales ya consideran los porcentajes de llenado mencionados anteriormente. A continuación se muestra la Tabla 14 que nos indica cuantos cables de un determinado calibre se pueden llevar en los diferentes tamaños de tuberías.

Con la Tabla 14 se pudo demostrar la veracidad de los cálculos anteriores.

Tipo de Conductor	Calibre del conductor AWG ó KCM	Diámetro nominal del tubo mm (pulg)									
		13 (1/2")	19 (3/4")	25 (1")	32 (1 1/4")	38 (1 1/2")	51 (2")	63 (2 1/2")	76 (3")	101 (4")	
TW, THW, THW-LS.	14*	9	16	25	45	61					
	14	8	14	22	39	54					
	12*	7	12	20	35	48	78				
	12	6	11	17	30	41	68				
	10*	5	10	15	27	37	61				
THHW-LS y XHHW	10	4	8	13	23	32	52				
	8	2	4	7	13	17	28	40			
	14*	6	10	16	29	40	65				
	14	5	9	15	26	36	59				
RHW Y RHH (Sin cubierta exterior)	12*	4	8	13	24	33	54				
	12	4	7	12	21	29	47				
	10*	4	7	11	19	26	43	61			
	10	3	6	9	17	23	38	53			
	8	1	3	5	10	13	22	32	49		
	6	1	2	4	7	10	16	23	36	47	
TW, THW, THW-LS.	4	1	1	3	5	7	12	17	27	47	
	2	1	1	2	4	5	9	13	20	34	
	1/0		1	1	2	3	5	8	12	21	
	2/0		1	1	1	3	5	7	10	18	
	3/0		1	1	1	2	4	6	9	15	
	4/0			1	1	1	3	5	7	13	
	THHW-LS y XHHW Sin cubierta exterior	250			1	1	1	2	4	6	10
		300			1	1	1	2	3	5	9
		350				1	1	1	3	4	8
		400				1	1	1	2	4	7
500					1	1	1	1	3	6	

Tabla 14

Una vez que calculamos todos los calibres de los conductores y todos los diámetros de las tuberías se realizo la cédula de cable y conduit, que es un documento que contiene toda la información de cada circuito de fuerza la cual se puede ver en el Anexo.

Nota: Aunque los diámetros de tubería que se calcularon son internos, usaremos en la cédula, en los planos y en el volumen de obra los valores de los diámetros externos.

4.1.4 SELECCIÓN DE LOS INTERRUPTORES PARA LA PROTECCIÓN CONTRA SOBRECORRIENTE DE LOS CIRCUITOS DE FUERZA.

La selección de los interruptores se hizo en base a la corriente nominal de cada circuito y se seleccionaron del Catálogo compendiado No. 30 SQUARE D Productos de distribución y control de Schneider Electric.

Para el caso de los circuitos de los motores determinamos su protección basándonos en lo estipulado en la NOM-001-SEDE-2005 en su artículo 430-32 inciso a, que indica que para un dispositivo separado de sobrecarga que sea sensible a la corriente eléctrica del motor, su corriente eléctrica nominal o de disparo de este dispositivo no debe ser mayor al 125% de la corriente a plena carga del motor, esto para motores con un factor de servicio indicado no-menor a 1,15.

De acuerdo con el artículo 430-55 de la NOM-001-SEDE-2005 la protección contra cortocircuitos y fallas a tierra de un circuito derivado de motor y la protección contra sobrecarga del motor pueden combinarse en un solo dispositivo de protección, cuando la capacidad o ajuste del dispositivo proporcione la protección contra sobrecarga especificada en el artículo 430-32.

De acuerdo con lo anterior para elegir la protección de los circuitos derivados de los motores se multiplico la corriente nominal a plena carga por el factor de 1.25.

$$I_{BSME-102} = 1.25 \times I_{nominal} = 1.25 \times 34 = 42.5 \text{ A.}$$

$$I_{BAME-102} = 1.25 \times I_{nominal} = 1.25 \times 14 = 17.5 \text{ A.}$$

Del catálogo obtenemos que los interruptores más adecuados para los circuitos de los motores sean:

Para el BSME - 102 un interruptor termomagnético de 3 polos y 50 Amperes.

Para el BAME - 102 un interruptor termomagnético de 3 polos y 20 Amperes.

La protección del circuito CF-01 se realizó de acuerdo con lo estipulado en la NOM-001-SEDE-2005 en su artículo 430-62 donde se indica que un circuito alimentador que suministra energía a una carga fija y específica de motores, debe estar provisto de un dispositivo de protección de valor nominal o ajuste no-mayor a la capacidad o ajuste del mayor de los dispositivos de protección de circuitos derivados contra cortocircuito y falla a tierra de cualquiera de los motores del grupo, más la suma de las corrientes a plena carga de los otros motores del grupo.

Además por solicitud de PEMEX esta protección debe considerar un 30% más de carga en caso de futuras ampliaciones a la planta.

Se determinó la corriente de selección del interruptor principal de la siguiente manera:

$$I = 1.3 (\text{protección del BSME} + I_{\text{BAME-102(nominal)}} + I_{\text{TR-Q1 (nominal)}})$$

$$I = 1.3 (50 \text{ A} + 14 \text{ A} + 36.08 \text{ A}) = 130.104 \text{ A.}$$

Del catálogo obtenemos que el interruptor más adecuado para el circuito CF-01 es un interruptor termomagnético de 3 polos y 150 amperes.

Para el caso del circuito del transformador TR-Q1 se debe cumplir con lo estipulado en la NOM-001-SEDE-2005 en su artículo 450-3 inciso b que indica que cada transformador con tensión eléctrica nominal de 600 V o menos, debe protegerse en el primario con un dispositivo de sobrecorriente individual con capacidad o ajustado a no más de 125% de la corriente primaria nominal del transformador.

Cuando la corriente primaria nominal de un transformador es de 9 A o mayor y 125% de esta corriente no corresponde a la capacidad nominal de un fusible o de un interruptor automático no-ajustable, se permite el valor nominal próximo superior.

$$I_{\text{TR-Q1}} = 1.25 \times I_{\text{nominal}} = 1.25 \times 36.08 = 45.1 \text{ A.}$$

Del catálogo obtenemos que el interruptor más adecuado para el circuito que alimenta el transformador sea un interruptor termomagnético de 3 polos y 50 Amperes.

Finalmente para determinar el interruptor de la UPS se considero que dicho dispositivo de sobrecorriente tenga la capacidad ajustado a no más de la corriente nominal.

$$I_{\text{UPS}} = I_{\text{nominal}} = 13.12 \text{ A}$$

Por lo tanto para el circuito CF-07 se eligió un interruptor termomagnético de 3 polos 15 amperes.

Dentro del CCM consideramos otros dos interruptores termomagnéticos de 25 y 40 amperes disponibles para futuras ampliaciones.

Una vez determinados los interruptores se hizo la actualización del diagrama unifilar proporcionado por PEMEX el cual debe coincidir con la información contenida en la cédula. Ambos documentos están contenidos en el Anexo de este reporte.

4.1.5 DIMENSIONAMIENTO DE SOPORTERÍA AÉREA Y BANCO DE DUCTOS.

Para dimensionar la soportería aérea y los bancos de ductos nos basamos en las Tablas 15 y 16 respectivamente que fueron tomadas de los anexos A y B de la norma NRF-048-PEMEX-2007 y las cuales nos proporcionan el espaciamiento entre tuberías conduit según sea su diámetro.

4.1.5.1 SOPORTERÍA AÉREA.

(Diámetro) de tubo conduit en mm									
φ	13	19	25	32	38	51	64	76	102
13	40	62	65	72	77	82	95	104	116
19	62	65	68	75	80	84	98	106	118
25	65	68	70	78	82	90	100	108	122
32	72	75	78	825	86	94	104	112	126
38	77	80	82	86	90	98	110	116	130
51	82	84	90	94	98	102	115	122	135
64	95	98	100	104	110	115	128	134	148
76	104	106	108	112	116	122	134	142	156
102	116	118	122	126	130	135	148	156	180

Tabla 15 Espaciamiento entre tuberías conduit aéreas

En la Figura 1 se muestra un ejemplo de cómo se hizo el dimensionamiento de la soportería aérea basado en las distancias de la Tabla 15, las cuales se pueden ver en los planos L-300 y L-301 del Anexo.

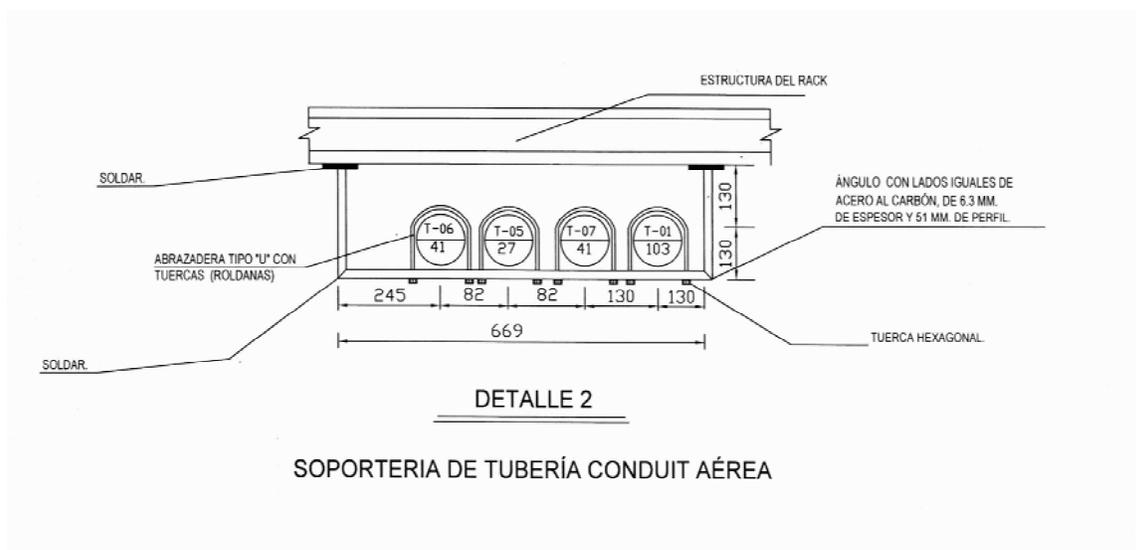


Figura 1

A continuación se describirán las consideraciones que se tomaron en el diseño de la soportería aérea de acuerdo con la norma NRF-048-PEMEX-2007:

- La soportería se colocará sobre el rack y tendrán una distancia de separación de 2.5 metros una de otra.
- En soportes de tuberías (racks) aéreas se debe dejar un 20 por ciento de espacio disponible para aplicaciones futuras, del tamaño nominal (diámetro) mayor de las tuberías ocupadas.
- Las tuberías conduit visibles tendrán una sujeción con abrazaderas tipo "uña", de aluminio fundido, 2 por tramo como mínimo, con perno roscado de baja velocidad o con abrazaderas tipo "U" tipo pesado de acero galvanizado con tuercas hexagonales.
- El tamaño nominal (diámetro) de las tuberías conduit en distribución eléctrica aérea visible debe ser de 21 mm (3/4 pulg) como mínimo.
- Las trayectorias de conduit entre cajas de paso o conexión no tendrán curvas por más de 180° en total y no más de 2 curvas de 90°.
- Se instalarán cajas de paso en trayectorias rectas a cada 40 m.

Todo lo anterior se puede visualizar en los planos L-300 y L-301 del Anexo.

4.1.5.2 BANCO DE DUCTOS.

CONDUIT (DIAM.) mm	Distancia entre centro de los 2 tubos conduits de (diámetros) mayores adyacentes en hileras o columnas (CENTRO A CENTRO EN mm)						Distancia entre el centro del tubo conduit de (diámetro) mayor y el borde del banco de ductos.
	25	38	51	76	102	152	
25	100	100	100	120	120	160	100
38	100	100	100	120	150	160	100
51	100	100	120	120	150	160	100
76	120	120	120	150	160	200	120
102	120	150	150	160	160	200	150
152	160	160	160	200	200	250	150

Tabla 16 Espaciamiento entre tuberías conduit subterráneas en bancos de ductos.

En la Figura 2 se muestra un ejemplo de cómo se hizo el dimensionamiento de los bancos de ductos basado en las distancias de la Tabla 16 y las cuales se pueden ver en los planos L-300, L-301 y L-302 del Anexo.

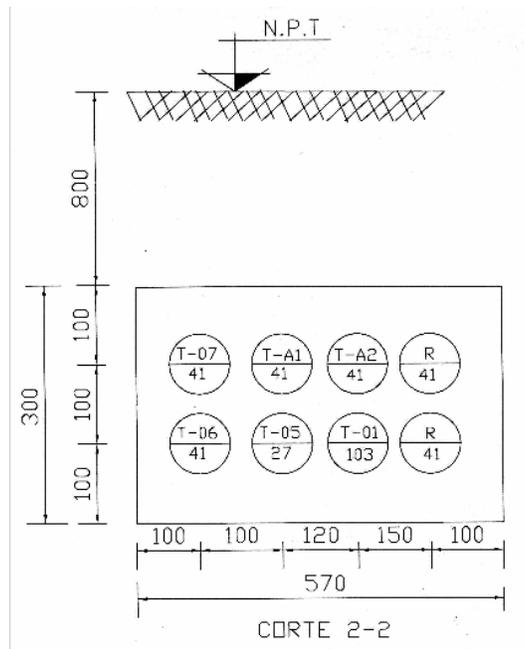


Figura 2

A continuación se describirán las consideraciones que se tomaron en el diseño de los bancos de ductos de acuerdo con la norma NFR-048-PEMEX-2007:

- a) El tamaño nominal (diámetro) mínimo de la tubería conduit a emplear en banco de ductos subterráneos en baja tensión debe ser de 27 mm (1 pulg),
- b) El número de curvas entre registro y registro eléctrico subterráneo, no debe acumular más de 180° en total, incluyendo curvas a 90°, deflexiones horizontales y verticales, así como el disparo hacia la parte visible.
- c) La profundidad de los bancos de ductos son mínimo de 50 cm. al nivel de piso terminado.
- d) Se dejaron un 30% de tuberías disponibles en los bancos de ductos para futuras ampliaciones.
- e) Los alimentadores para motores de calibre 4 AWG o menores deberán ir en la misma tubería con los conductores de control de 127 Vca. Esto lo aplicamos para el motor BAME-102 en el circuito CF-05.
- f) Se alojaron en un banco de ductos circuitos de control de motores, alumbrado, y fuerza esto es posible en tensiones de 120 a 600 Vca siempre que el aislamiento de todos ellos sea de 600 Vca.

Todo lo anterior se visualiza en los planos L-300, L-301 y L-302 del Anexo.

4.1.6 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL CENTRO DE CONTROL PARA MOTORES (CCM-Q1).

Finalmente con toda la información calculada y basándonos en la norma NFR-048-PEMEX-2007 el Centro de Control para Motores (CCM) tiene las siguientes características:

Centro de Control para Motores (CCM-Q1) en baja tensión, para operar a una tensión nominal de 480 Vca. Tensión máxima de diseño de 600 Vca. 3 fases, 3 hilos, 60 Hz. Servicio interior, un solo frente auto soportado, NEMA 1, acabado verde tierno para PEMEX con barras principales de 600 A y una barra de 200 A para tierras, con una capacidad de 25 kA de corto circuito conteniendo lo siguiente:

- a) Un interruptor principal de 3 polos 150 A de disparo.
- b) Una combinación de arrancador con interruptor termomagnético para operar a una tensión nominal de 480 Vca, 3 polos, 60 Hz. de 20 A de disparo para motor de 10 HP, tamaño NEMA-1 tensión de control de 120 V con dos fusibles en el primario y uno en el secundario, estación de botones y luces indicadores verde roja.

- c) Una combinación de arrancador con interruptor termomagnético para operar a una tensión nominal de 480 Vca. de 3 polos 50 A de disparo para motor de 25 HP.
- d) Un interruptor termomagnético de 3 polos 50 A de disparo para transformador de distribución de 30 kVA de capacidad.
- e) Un interruptor termomagnético de 3 polos 15 A de disparo para respaldo de UPS de 5 kVA de capacidad.
- f) Un transformador tipo seco de 30 kVA de capacidad, trifásico para una tensión en el primario de 480 Vca conexión delta y una tensión en el secundario de 220/127 conexión estrella.
- g) Dos interruptores termomagnéticos de reserva de 3 polos 40 A y 25 A respectivamente.
- h) Un contactor termomagnético para alumbrado exterior con selector manual fuera automático.

4.2 SISTEMA DE ALUMBRADO

En la Tabla 17 obtenida de la norma NRF-048-PEMEX-2007 se muestran las iluminancias medias requeridas por PEMEX para cada una de las áreas de sus plantas industriales.

4.2.1 DISEÑO DEL ALUMBRADO PÚBLICO

De acuerdo con la NRF-048-PEMEX-2007 en su sección 8.12.4 para el alumbrado de calles en sus plantas industriales se debe utilizar luminarias de vapor de sodio de alta presión de 250 a 400 Watts alimentadas a una tensión de 220 Volts.

Datos de diseño.

Ancho de la calzada (A) = 7 m.

Altura de la luminaria (H) = 9 m.

Distancia de la vertical del centro óptico de la luminaria al borde de la acera: 1 m.

Iluminancia media requerida por PEMEX en calles de uso frecuente: 20 luxes.

AREA O ACTIVIDAD	ILUMINACION MANTENIDA	HORIZONTAL	ELEVACION	
	LUX	CANDELAS-PIE	LOCALIZACION	MILIMETROS
AREAS DE NO PROCESO				
Casas de bombas, carga, descarga y agua de enfriamiento.				
Casa de Bombas (interior)	200	20	A nivel de piso	
Area de bombas. (exterior)	50	5	En tierra.	
Area general de control.	150	15	A nivel de piso	
Panel de control.	200 ^a	20 ^a		1100
Calderas y Compresores de aire de plantas.				
Equipo interior.	200	20	A nivel de piso	
Equipo exterior.	50	5	En tierra.	
Area de tanques.				
Escaleras.	20	2	A nivel de piso.	
Area de medición.	50	5	En tierra.	
Area de arreglos de tubería.	20	2	A nivel de piso.	
Racks de carga.				
Area general.	50	5	En tierra.	
Carros-tanque.	100	10	En un punto.	
Autos-tanque, punto de carga.	100	10	En un punto.	
Subestaciones eléctricas y patios de desconectores.				
Patio exterior de desconectores.	20	2	En tierra.	
Subestación general (exterior)	20	2	En tierra.	
Pasillos de operación, Subestación.	150	15	A nivel de piso.	
Racks de desconectores.	50 ^a	5 ^a		1200
Calles de plantas.				
Uso frecuente.	20	2	En tierra.	
Uso infrecuente.	10	1	En tierra.	

Tabla 17

Características de la luminaria.

Tipo: Vapor de sodio de alta presión.

Potencia = 250 Watts.

Flujo luminoso = 28500 lumenes.

Tensión de alimentación = 220 Volts.

Tipo de disposición de las luminarias.

La disposición de luminarias se determinó con la relación que hay entre la anchura de la calle (A) y la altura de la luminaria (H).

$$A/H = 7/9 = 0.7777$$

De acuerdo con la Tabla 18 la disposición más conveniente es la unilateral debido a que $A/H > 1$.

Disposición	Relación anchura/altura
Unilateral	≤ 1
Tresbolillo	$1 < A/H \leq 1.5$
Pareada	> 1.5

Tabla 18

Finalmente necesitamos conocer la separación que debe haber entre luminarias. Esta distancia la determinamos a partir de la Fórmula 6 de la iluminancia media.

$$E_m = \frac{\eta \cdot f_m \cdot \Phi_L}{A \cdot d} \dots\dots\dots (6)$$

Donde:

- Em = iluminancia media sobre la calzada.
- η = factor de utilización de la instalación.
- f_m = factor de mantenimiento.
- Φ_L = flujo luminoso de la lámpara.
- A = la anchura a iluminar de la calzada.

Despejando d tenemos:

$$d = \frac{(\eta)(f_m)(\Phi_L)}{(A)(E_m)} \dots\dots\dots (7)$$

El factor de mantenimiento (f_m) que consideramos es el valor habitual de 0.7. Para determinar el factor de utilización, usamos la curva de la luminaria suministrada por el fabricante que se muestra en la Figura 3.

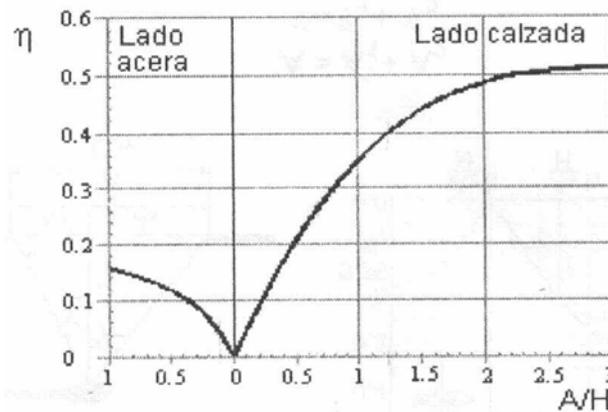


Figura 3

Determinamos el factor de utilización que hay de la acera donde se encuentra la luminaria a la vertical del centro óptico de la luminaria y el que hay de la vertical del centro óptico a la acera opuesta. Sumamos ambos factores para obtener el factor total.

$$A_1/H = 6/9 = 0.666$$

$$A_2/H = 1/9 = 0.111$$

De la curva de la Figura 3 obtenemos que:

$$\eta_1 = 0.23$$

$$\eta_2 = 0.04$$

$$\eta = \eta_1 + \eta_2 = 0.23 + 0.04 = 0.27$$

Ya que tenemos todos los datos necesarios determinamos la distancia entre luminarias:

$$d = \frac{(\eta)(f_m)(\Phi_L)}{(A)(E_m)} = \frac{(0.27)(0.7)(28500)}{(7)(20)} = 38.475m.$$

La distancia que consideraremos entre las luminarias para montaje en poste es de 40 m.

4.2.2 DISEÑO DEL ALUMBRADO EN EL RACK NUEVO.

Para el alumbrado en racks PEMEX pide una luminancia media de 50 luxes, como se puede ver en la Tabla 17.

Para iluminar el rack se utilizó una luminaria de vapor de sodio de alta presión sobrepuesta de 150 Watts, 220 Volts, 2F, 60 Hz. marca C.H DOMEX clase 1 división 2 y las distancias a las que se colocaran serán cada dos columnas del rack que es aproximadamente cada 14 m. de la misma manera que esta iluminado el rack existente.

Para comprobar que el rack esta bien iluminado bajo estas condiciones utilizamos un programa llamado LUXICON de C.H. DOMEX con el cual realizamos la simulación mostrada en la Figuras 4, 5 y 6 (vista aérea) de una sección del rack.

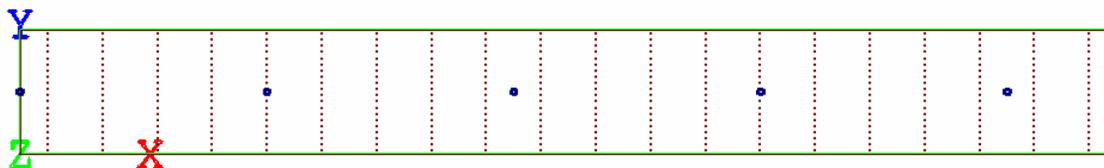


Figura 4 Luminarias colocadas cada 14 m.

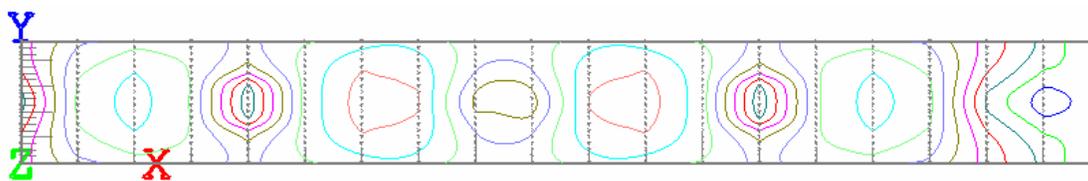


Figura 5 Comportamiento de las luminarias.



Figura 6 Rack sin penumbras.

En la Figura 6 se muestra que no hay espacios en penumbras por lo que aseguramos que el rack quedó perfectamente iluminado.

En el área de motores solo será necesario colocar dos luminarias de vapor de sodio alta presión tipo montaje en conduit a prueba de explosión clase 1 división 2 de 150 Watts, 220 Volts, 2F, 60 Hz.

4.2.3 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE CIRCUITOS DE ALUMBRADO, SELECCIÓN DEL CALIBRE DE LOS CONDUCTORES Y DE LA TUBERÍA CONDUIT.

- Número de circuitos.

Para este proyecto tenemos en total 16 luminarias de 250 watts y 20 luminarias de 150 Watts, por lo tanto las distribuimos en seis circuitos como se indica en la Tabla 19.

Número de circuito	Número de luminarias
C1	6 de 250 watts.
C2	6 de 250 watts
C3	4 de 250 watts 2 de 150 watts.
C4	6 de 150 watts.
C5	6 de 150 watts.
C6	6 de 150 watts.

Tabla 19

La ubicación de las luminarias de cada circuito se puede ver en el plano L-201 del Anexo.

El cálculo de la corriente de selección del calibre así como la elección de la tubería conduit para los circuitos de alumbrado se realizó de manera similar que en los circuitos de fuerza.

- Selección del calibre de los conductores.

Como el tablero de alumbrado será trifásico la corriente nominal de los conductores se determinará con la Fórmula 1.

Circuito de alumbrado C1.

Datos

Carga instalada = 1500 W.

Distancia del tablero a la luminaria más alejada = 246 m.

Tensión de alimentación: 220 Volts.

Factor de potencia: 0.9

Corriente nominal

$$I_{C1} = \frac{W}{\sqrt{3}V_{NOMINAL}fp} = \frac{1500}{(\sqrt{3})(220)(0.9)} = 4.37 A$$

Corriente de selección.

Para encontrar la corriente de selección del conductor tenemos que aplicar un factor de corrección por temperatura el cual será de 0.82.

Se llevarán tres circuitos de alumbrado en una misma tubería, por lo que tendremos que reducir la capacidad de conducción de corriente como indica la Tabla 6. Para nuestro caso se debe reducir un 70% debido a que se tendrán 9 conductores por tubería.

$$I_{C1(\text{selección})} = \frac{I_{C1}}{(0.82)(0.7)} = \frac{4.37}{0.574} = 7.613A$$

De acuerdo con la Tabla 9 el calibre mínimo que tiene la capacidad de conducción de corriente de este circuito es el 14 AWG, pero el calibre mínimo permitido para circuitos de alumbrado por la NRF-048-PEMEX-2007 es 12 AWG.

Debido a la longitud del circuito, se comprobó que la caída de tensión que presenta un conductor de 12 AWG para este circuito es mayor al 3%, por lo que se probó con un calibre mayor.

Utilizando un calibre 8 AWG tenemos:

$$\bar{V}_{R_{f-n}} = \bar{V}_{G_{f-n}} - \bar{I}_n \bar{Z}L$$

$$\bar{V}_{R_{f-n}} = 127 \angle 0^\circ - (4.37 \angle -25.84^\circ)(2.568 \angle 4.75^\circ)(0.246)$$

$$\bar{V}_{R_{f-n}} = 127 \angle 0^\circ - 2.76 \angle -21.09^\circ = 124.42 \angle 0.45^\circ V$$

$$\bar{V}_{R_{f-f}} = \sqrt{3} \bar{V}_{R_{f-n}} = 215.51 \angle 0.45^\circ V.$$

Finalmente tenemos que:

$$\% \text{Re } g = \frac{|\bar{V}_G| - |\bar{V}_R|}{|\bar{V}_R|} \times 100 = \frac{220 - 215.51}{215.51} \times 100 = 2.08\%$$

Por lo tanto para el circuito de alumbrado C1 se utilizará conductores de calibre 8 AWG.

Los calibres de los demás circuitos de alumbrado se determinarán por el método de caída de tensión por lo que se probaran con calibres mayores al obtenido por el método de ampacidad.

Circuito de alumbrado C2.

Datos

Carga instalada = 1500 W.

Distancia del tablero a la luminaria más alejada = 422 m.

Tensión de alimentación: 220 Volts.

Factor de potencia: 0.9

Corriente nominal

$$I_{C2} = \frac{W}{\sqrt{3}V_{NOMINAL}fp} = \frac{1500}{(\sqrt{3})(220)(0.9)} = 4.37 A$$

Corriente de selección.

$$I_{C2(selección)} = \frac{I_{C2}}{(0.82)(0.7)} = \frac{4.37}{0.574} = 7.613 A$$

Utilizando un calibre 6 AWG tenemos:

$$\bar{V}_{R_{f-n}} = \bar{V}_{G_{f-n}} - \bar{I}_n \bar{Z}L$$

$$\bar{V}_{R_{f-n}} = 127 \angle 0^\circ - (4.37 \angle -25.84^\circ)(1.623 \angle 7.43^\circ)(0.422)$$

$$\bar{V}_{R_{f-n}} = 127 \angle 0^\circ - 2.99 \angle -18.41^\circ = 124.16 \angle 0.43^\circ V$$

$$\bar{V}_{R_{f-f}} = \sqrt{3} \bar{V}_{R_{f-n}} = 215.05 \angle 0.43^\circ V.$$

Finalmente tenemos que:

$$\% \text{ Reg} = \frac{|\bar{V}_G| - |\bar{V}_R|}{|\bar{V}_R|} \times 100 = \frac{220 - 215.05}{215.05} \times 100 = 2.3\%$$

Por lo tanto para el circuito de alumbrado C2 se utilizará conductores de calibre 6 AWG.

Circuito de alumbrado C3.

Datos

Carga instalada = 1300 W.

Distancia del tablero a la luminaria más alejada = 340 m.

Tensión de alimentación: 220 Volts.

Factor de potencia: 0.9

Corriente nominal

$$I_{C3} = \frac{W}{\sqrt{3}V_{NOMINAL}fp} = \frac{1300}{(\sqrt{3})(220)(0.9)} = 3.79A$$

Corriente de selección.

$$I_{C3(selección)} = \frac{I_{C3}}{(0.82)(0.7)} = \frac{3.79}{0.574} = 6.6A$$

Utilizando un calibre 8 AWG tenemos:

$$\bar{V}_{R_{f-n}} = \bar{V}_{G_{f-n}} - \bar{I}_n \bar{Z}L$$

$$\bar{V}_{R_{f-n}} = 127 \angle 0^\circ - (3.79 \angle -25.84^\circ)(2.568 \angle 4.75^\circ)(0.34)$$

$$\bar{V}_{R_{f-n}} = 127 \angle 0^\circ - 3.309 \angle -21.09^\circ = 123.91 \angle 0.55^\circ V$$

$$\bar{V}_{R_{f-f}} = \sqrt{3} \bar{V}_{R_{f-n}} = 214.61 \angle 0.55^\circ V.$$

Finalmente tenemos que:

$$\% \text{ Reg} = \frac{|\bar{V}_G| - |\bar{V}_R|}{|\bar{V}_R|} \times 100 = \frac{220 - 214.61}{214.61} \times 100 = 2.5\%$$

Por lo tanto para el circuito de alumbrado C3 se utilizará conductores de calibre 8 AWG.

Circuito de alumbrado C4.

Datos

Carga instalada = 900 W.

Distancia del tablero a la luminaria más alejada = 336 m.

Tensión de alimentación: 220 Volts.

Factor de potencia: 0.9

Corriente nominal

$$I_{C4} = \frac{W}{\sqrt{3}V_{NOMINAL}fp} = \frac{900}{(\sqrt{3})(220)(0.9)} = 2.624A$$

Corriente de selección.

$$I_{C4(\text{selección})} = \frac{I_{C4}}{(0.82)(0.7)} = \frac{2.624}{0.574} = 4.571A$$

Utilizando un calibre 10 AWG tenemos:

$$\bar{V}_{R_{f-n}} = \bar{V}_{G_{f-n}} - \bar{I}_n \bar{Z}L$$

$$\bar{V}_{R_{f-n}} = 127 \angle 0^\circ - (2.624 \angle -25.84^\circ)(3.905 \angle 3.03^\circ)(0.336)$$

$$\bar{V}_{R_{f-n}} = 127 \angle 0^\circ - 3.44 \angle -22.81^\circ = 123.83 \angle 0.617^\circ V$$

$$\bar{V}_{R_{f-f}} = \sqrt{3} \bar{V}_{R_{f-n}} = 214.48 \angle 0.617^\circ V.$$

Finalmente tenemos que:

$$\% \text{Re } g = \frac{|\bar{V}_G| - |\bar{V}_R|}{|\bar{V}_R|} \times 100 = \frac{220 - 214.48}{214.48} \times 100 = 2.57\%$$

Por lo tanto para el circuito de alumbrado C4 se utilizará conductores de calibre 10 AWG.

Circuito de alumbrado C5.

Datos

Carga instalada = 900 W.

Distancia del tablero a la luminaria más alejada = 336 m.

Tensión de alimentación: 220 Volts.

Factor de potencia: 0.9

Corriente nominal

$$I_{C5} = \frac{W}{\sqrt{3}V_{NOMINAL}fp} = \frac{900}{(\sqrt{3})(220)(0.9)} = 2.624A$$

Corriente de selección.

$$I_{C5(\text{selección})} = \frac{I_{C5}}{(0.82)(0.7)} = \frac{2.624}{0.574} = 4.571A$$

Utilizando un calibre 10 AWG tenemos:

$$\bar{V}_{R_{f-n}} = \bar{V}_{G_{f-n}} - \bar{I}_n \bar{Z}L$$

$$\bar{V}_{R_{f-n}} = 127 \angle 0^\circ - (2.624 \angle -25.84^\circ)(3.905 \angle 3.03^\circ)(0.257)$$

$$\bar{V}_{R_{f-n}} = 127 \angle 0^\circ - 2.633 \angle -22.81^\circ = 124.57 \angle 0.46^\circ V$$

$$\bar{V}_{R_{f-f}} = \sqrt{3} \bar{V}_{R_{f-n}} = 215.77 \angle 0.46^\circ V.$$

Finalmente tenemos que:

$$\% \text{ Re } g = \frac{|\bar{V}_G| - |\bar{V}_R|}{|\bar{V}_R|} \times 100 = \frac{220 - 215.77}{215.77} \times 100 = 1.96\%$$

Por lo tanto para el circuito de alumbrado C5 se utilizará conductores de calibre 10 AWG.

Circuito de alumbrado C6.

Datos

Carga instalada = 900 W.

Distancia del tablero a la luminaria más alejada = 173 m.

Tensión de alimentación: 220 Volts.

Factor de potencia: 0.9

Corriente nominal

$$I_{C6} = \frac{W}{\sqrt{3}V_{NOMINAL}fp} = \frac{900}{(\sqrt{3})(220)(0.9)} = 2.624A$$

Corriente de selección.

$$I_{C6(\text{selección})} = \frac{I_{C6}}{(0.82)(0.7)} = \frac{2.624}{0.574} = 4.571A$$

Utilizando un calibre 12 AWG tenemos:

$$\bar{V}_{R_{f-n}} = \bar{V}_{G_{f-n}} - \bar{I}_n \bar{Z}L$$

$$\bar{V}_{R_{f-n}} = 127 \angle 0^\circ - (2.624 \angle -25.84^\circ)(6.603 \angle 1.935^\circ)(0.173)$$

$$\bar{V}_{R_{f-n}} = 127 \angle 0^\circ - 2.997 \angle -23.905^\circ = 124.26 \angle 0.56^\circ V$$

$$\bar{V}_{R_{f-f}} = \sqrt{3} \bar{V}_{R_{f-n}} = 215.23 \angle 0.56^\circ V.$$

Finalmente tenemos que:

$$\% \text{Re } g = \frac{|\bar{V}_G| - |\bar{V}_R|}{|\bar{V}_R|} \times 100 = \frac{220 - 215.23}{215.23} \times 100 = 1.88\%$$

Por lo tanto para el circuito de alumbrado C6 se utilizará conductores de calibre 12 AWG.

En la Tabla 20 se muestran las corrientes nominales y el calibre del conductor correspondiente a cada circuito.

Número de circuito	Corriente nominal (A)	Calibre del conductor
C1	4.37	8 AWG
C2	4.37	6 AWG
C3	3.79	8 AWG
C4	2.62	10 AWG
C5	2.62	10 AWG
C6	2.62	12 AWG

Tabla 20

- Selección de la tubería conduit.

Como se puede ver en el plano L-201 del Anexo se tendrán dos rutas de las tuberías, donde cada tubo llevará el número de cables que se indican en dicho plano de acuerdo al cableado que se diseñó. A continuación se muestra como se calculó el diámetro de las tuberías T-A1 y T-A2.

La tubería T-A1 lleva 6 conductores de 10 AWG, 3 conductores de 12 AWG, por lo tanto el diámetro de esa tubería se obtiene de la siguiente manera:

Con los diámetros de los conductores obtenidos de la Tabla 13 podemos determinar el área que ocupan los conductores.

- 6 conductores de 10 AWG tiene un área con aislamiento de 95 mm²
- 3 conductores de 12 AWG tiene un área con aislamiento de 35.47 mm²

El total de área ocupada por los conductores es igual 130.47 mm². De acuerdo con la Tabla 12 el porcentaje de llenado que utilizamos es del 40%. Por lo tanto tenemos que el área de la tubería es:

$$A_{\text{tubería}} = (130.47 \text{ mm}^2) (100)/40 = 326.14 \text{ mm}^2$$

Teniendo el área, obtenemos el radio de la tubería y por consiguiente el diámetro:

$$r = (A/\pi)^{1/2}$$

$$r = (326.14 \text{ mm}^2/\pi)^{1/2} = 10.18 \text{ mm.}$$

$$d = 2r = 2(10.18) = 20.37 \text{ mm.}$$

Tomamos el valor comercial correspondiente, por lo tanto para la tubería T-A1 que se utilizará tendrá un diámetro de 21 mm ($\frac{3}{4}$ pulg.)

Como T-A1 va en un banco de ductos su diámetro deberá ser de 25 mm. (1 pulg.) porque es el diámetro mínimo indicado por la NRF-048-PEMEX-2007.

La tubería T-A2 lleva 3 conductores de 6 AWG, 6 conductores de 8 AWG, por lo tanto el diámetro de esa tubería se obtiene de la siguiente manera:

Con los diámetros de los conductores obtenidos de la Tabla 13 podemos determinar el área que ocupan los conductores.

- 3 conductores de 6 AWG tiene un área con aislamiento de 141.88 mm^2
- 6 conductores de 8 AWG tiene un área con aislamiento de 171.34 mm^2

El total de área ocupada por los conductores es igual 313.22 mm^2 . De acuerdo con la Tabla 12 el porcentaje de llenado que utilizamos es del 40%. Por lo tanto tenemos que el área de la tubería es:

$$A_{\text{tubería}} = (313.22 \text{ mm}^2) (100)/40 = 783.05 \text{ mm}^2$$

Teniendo el área, obtenemos el radio de la tubería y por consiguiente el diámetro:

$$r = (A/\pi)^{1/2}$$

$$r = (783.05 \text{ mm}^2/\pi)^{1/2} = 15.78 \text{ mm.}$$

$$d = 2r = 2(15.78) = 31.57 \text{ mm.}$$

Tomamos el valor comercial correspondiente, por lo tanto para la tubería T-A2 que se utilizará tendrá un diámetro de 38 mm o $1 \frac{1}{2}$ pulg.

4.2.4 CUADRO DE CARGAS

Finalmente una vez que se tiene toda la información y la distribución del alumbrado se realizó un cuadro de cargas el cual se muestra en la Figura 7 y con él se determinó el porcentaje de desbalanceo del sistema el cual debe ser menor al 5% para considerar que las cargas están bien repartidas entre las tres fases.

$$\% \text{Desbalanceo} = \frac{\text{Carga mayor} - \text{Carga menor}}{\text{Carga mayor}} \times 100 = \frac{2350W - 2300W}{2350W} \times 100$$

$$\% \text{Desbalanceo} = 2.12\%$$

TABLERO TA-Q1				LOCALIZADO: CUARTO NUEVO DE CONTROL																							
TABLERO DE DISTRIBUCIÓN DE ALUMBRADO EXTERIOR										3 FASES 4 HILOS, 220/127V.C.A.																	
LOCALIZACION	WATTS TOTALES POR FASE			WATTS	TIPO			No. SAL.	No. POLOS	A	No. CTD.	Diagrama	No. CTO.	A	No. POLOS	No. SAL.	TIPO			WATTS	LOCALIZACION						
	A	B	C		+R 150 W	+G 150 W	250 W										+R 150W	+G 150W	250W								
ALUMBRADO DE LA CALLE	1000			500				6	6	3	15	1	Diagrama	2	15	3	6				500	ALUMBRADO DE LA CALLE					
		1000		500				6	6	3	15	1														500	
			1000	500				6	6	3	15	1															500
ALUMBRADO DE LA CALLE Y ZONA DE TANQUES Y BOMBAS	750			450									Diagrama	4	15	3	6				300	ALUMBRADO RACK NUEVO					
		700		400	2	4	6	3	15	3																300	
			750	450				6	6	3	15	3														300	
ALUMBRADO RACK NUEVO	600			300									Diagrama	6	15	3	6				300	ALUMBRADO RACK NUEVO					
		600		300	6			6	3	15	5															300	
			600	300				6	3	15	5															300	

Figura 7 Cuadro de cargas del alumbrado.

4.3 SISTEMAS DE TIERRAS Y PARARRAYOS.

Se diseñó un sistema de tierras y pararrayos para proteger el equipo en el cuarto nuevo de control, en la zona de los motores y en el quemador elevado. Estos sistemas fueron diseñados de acuerdo con lo establecido en la NRF-048-PEMEX-2007 en su artículo 8.11 y en la NOM-001-SEDE-2005 de instalaciones eléctricas en sus artículos 250 y 280. Los sistemas de tierras y pararrayos se pueden ver en los planos L-100 y L-302 del Anexo.

4.3.1 SISTEMA DE PARARRAYOS

El sistema de pararrayos del cuarto nuevo como se puede ver en el plano L-302 del Anexo cumple con lo estipulado en la NRF-048-PEMEX-2007 por lo que tiene las siguientes características:

- a) Las terminales de aire o puntas pararrayos están distribuidas adecuadamente a las orillas del techo. Utilizamos puntas de 60 cm, por lo que estarán separadas no más de 7.5 metros.
- b) Para cada punta se tiene una terminal de tierra para asegurar una conexión a tierra adecuada.

- c) El sistema de protección contra descargas atmosféricas es independiente de la red general de tierras, sin embargo las dos redes de tierras deben interconectarse entre ellas en un punto de la red con cable aislado de un tamaño (calibre) menor al de la red, no menor a 6 AWG, para evitar diferencias de potenciales entre ellas.
- d) Los conectores que se utilizan en el sistema de protección contra descargas atmosféricas son mecánicos para conexiones visibles, y para conexiones enterradas de compresión de soldadura exotérmica.
- e) La conexión de las puntas a las terminales a tierra se hará con un cable de cobre, de fabricación especial para sistema de pararrayos, con área transversal equivalente al menos de tamaño (calibre) 2/0 AWG y 558 g/m., por lo que usaremos un cable de cobre desnudo trenzado de 122 kCM.

4.3.2 SISTEMA DE TIERRAS

Para este proyecto el valor de resistencia del sistema general de tierras debe ser de 5 Ohms debido a que se trata de una planta de proceso como se observa en la Tabla 21.

Sitio o Lugar	Valores de Resistencia (Ω)
Edificios, plantas de proceso y subestaciones	5
Terrenos con resistividad de 1 000 a 3 000 Ω /m	Hasta 25
Terrenos con resistividad mayor a 3 000 Ω /m	Hasta 50

Tabla 21 Valores de resistencia del sistema general de tierras.

Para el sistema de tierras del quemador elevado y del área de motores ocupamos un sistema de malla, el cual consiste como su nombre lo indica en instalar una retícula de cobre desnudo, conectada a través de electrodos de varilla copperweld a partes más profundas para buscar zonas de menor resistividad.

De acuerdo a la NRF-048-PEMEX-2007 tenemos que:

- La malla principal en edificios y/o plantas de proceso, debe formarse con cable de cobre desnudo temple semiduro con calibre no menor de 67,43 mm² (2/0 AWG.).
- Todo equipo o dispositivo eléctrico, debe ser conectado al sistema general de puesta a tierra con cable de cobre desnudo semiduro, el calibre mínimo aceptado es de 2 AWG.

A continuación se calcula la resistencia de la red de tierras del área de los motores y del quemador mostrada en el plano L-100 para comprobar que sea menor o igual a 5 ohms como lo indica la NRF-048-PEMEX-2007.

Para calcular la resistencia de la red de tierras utilizamos la Fórmula 8 conocida como la Fórmula de Dwight.

$$R_T = \frac{\rho}{4\pi L} \left[\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 \right] \dots\dots\dots (8)$$

Donde:

- ρ = resistividad del terreno en Ohms-m.
- R_T = resistencia de la red de tierras en Ohms.
- a = diámetro del conductor en metros.
- L = longitud total de la red de tierra en m. (L/2)
- s = profundidad de la malla en metros. (sx2)

De acuerdo con el diseño propuesto en el plano L-100 tenemos los siguientes datos:

- ρ = 100 Ohms-m.
- a = 0.01064 m.
- L = 190 m.
- s = 0.6 m.

Aplicando la Fórmula 8 tenemos que la resistencia del terreno es:

$$R_T = \frac{100}{4\pi(95)} \left[\ln \frac{4(95)}{0.01064} + \ln \frac{4(95)}{1.2} - 2 \right] = 1.181\Omega$$

Como R_T = 1.181 Ohms podemos decir que la red de tierras de la zona del quemador y de los motores cumple con las condiciones establecidas en la Tabla 21.

Para el cuarto nuevo de control se diseñaron dos redes de tierra independientes una para los sistemas eléctricos y otra para los sistemas electrónicos. Como indica la NRF-048-PEMEX-2007 la resistencia para los sistemas eléctricos deberá ser menor o igual a 5 ohms, mientras que para los sistemas electrónicos deberá ser de no mayor a 1 ohm, sin embargo las dos redes de tierras deben interconectarse entre ellas en un punto de la red con cable aislado de un tamaño (calibre) menor al de la red, tamaño (calibre) 6 AWG como mínimo, para evitar diferencias de potenciales entre ellas.

De acuerdo con el diseño propuesto para la red de los sistemas eléctricos que se muestra en el plano L-302 tenemos los siguientes datos:

$$\rho = 100 \text{ Ohms-m.}$$

$$a = 0.02065 \text{ m.}$$

$$L = 39 \text{ m.}$$

$$s = 0.6 \text{ m.}$$

Aplicando la Fórmula 8 tenemos que la resistencia del terreno es:

$$R_T = \frac{100}{4\pi(19.5)} \left[\ln \frac{4(19.5)}{0.02065} + \ln \frac{4(19.5)}{1.2} - 2 \right] = 4.24\Omega$$

Por lo tanto la red de tierras para los sistemas eléctricos del cuarto nuevo de control tiene la resistencia indicada por la norma.

De acuerdo con el diseño propuesto para la red de los sistemas electrónicos que se muestra en el plano L-302 tenemos los siguientes datos:

$$\rho = 100 \text{ Ohms-m.}$$

$$a = 0.01064 \text{ m.}$$

$$L = 235 \text{ m.}$$

$$s = 0.6 \text{ m.}$$

Aplicando la Fórmula 8 tenemos que la resistencia del terreno es:

$$R_T = \frac{100}{4\pi(117.5)} \left[\ln \frac{4(117.5)}{0.01064} + \ln \frac{4(117.5)}{1.2} - 2 \right] = 0.98\Omega$$

Por lo tanto la red de tierras para los sistemas electrónicos del cuarto nuevo de control tiene la resistencia indicada por la norma.

Finalmente los soportes de tuberías (racks) se aterrizaron a intervalos no mayores de 50 m.

4.4 VOLUMEN DE OBRA

El volumen de obra es un documento en donde se especifica todo el equipo y material que se requerirá para llevar a cabo la construcción de los nuevos quemadores y en el se especifican las cantidades y posteriormente el departamento de precios unitarios hace la cotización correspondiente.

A continuación en la Tabla 22 se muestra el volumen de obra.

ELÉCTRICO			
FUERZA			
No.	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
1	SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE CABLE MONOCONDUCTOR CONSTITUIDO POR CONDUCTOR DE COBRE CON AISLAMIENTO A BASE DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) COLOR NEGRO, TIPO THHW-LS 90 °C/75 °C 600 V. EN RACK DE 7 MTS. DE ALTURA. Calibre 750 Kcm	M	2000
2	SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE CABLE MONOCONDUCTOR CONSTITUIDO POR CONDUCTOR DE COBRE CON AISLAMIENTO A BASE DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) COLOR NEGRO, TIPO THHW-LS 90 °C/75 °C 600 V. EN RACK DE 7 MTS. DE ALTURA. Calibre 1/0 AWG	M	3700
3	SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE CABLE MONOCONDUCTOR CONSTITUIDO POR CONDUCTOR DE COBRE CON AISLAMIENTO A BASE DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) COLOR NEGRO, TIPO THHW-LS 90 °C/75 °C 600 V. EN RACK DE 7 MTS. DE ALTURA. Calibre 4 AWG	M	435
4	SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE CABLE MONOCONDUCTOR CONSTITUIDO POR CONDUCTOR DE COBRE CON AISLAMIENTO A BASE DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) COLOR ROJO, TIPO THHW-LS 90 °C/75 °C 600 V. EN RACK DE 7 MTS. DE ALTURA. Calibre 4 AWG	M	435
5	SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE CABLE MONOCONDUCTOR CONSTITUIDO POR CONDUCTOR DE COBRE CON AISLAMIENTO A BASE DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) COLOR AZUL, TIPO THHW-LS 90 °C/75 °C 600 V. EN RACK DE 7 MTS. DE ALTURA. Calibre 4 AWG	M	435
6	SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE CABLE MONOCONDUCTOR CONSTITUIDO POR CONDUCTOR DE COBRE CON AISLAMIENTO A BASE DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) COLOR NEGRO, TIPO THHW-LS 90 °C/75 °C 600 V. EN DUCTO. Calibre 6 AWG	M	35
7	SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE CABLE MONOCONDUCTOR CONSTITUIDO POR CONDUCTOR DE COBRE CON AISLAMIENTO A BASE DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) COLOR ROJO, TIPO THHW-LS 90 °C/75 °C 600 V. EN DUCTO. Calibre 6 AWG	M	35
8	SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE CABLE MONOCONDUCTOR CONSTITUIDO POR CONDUCTOR DE COBRE CON AISLAMIENTO A BASE DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) COLOR NEGRO, TIPO THHW-LS 90 °C/75 °C 600 V. EN DUCTO. Calibre 12 AWG	M	20
9	SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE CABLE MONOCONDUCTOR CONSTITUIDO POR CONDUCTOR DE COBRE CON AISLAMIENTO A BASE DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) COLOR ROJO, TIPO THHW-LS 90 °C/75 °C 600 V. EN DUCTO. Calibre 12 AWG	M	20
10	SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE CABLE MONOCONDUCTOR CONSTITUIDO POR CONDUCTOR DE COBRE CON AISLAMIENTO A BASE DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) COLOR NEGRO, TIPO THHW-LS 90 °C/75 °C 600 V. EN DUCTO. Calibre 10 AWG	M	35

11	SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE CABLE MONOCONDUCTOR CONSTITUIDO POR CONDUCTOR DE COBRE CON AISLAMIENTO A BASE DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) COLOR ROJO, TIPO THHW-LS 90 °C/75 °C 600 V. EN DUCTO. Calibre 10 AWG	M	35
12	SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE CABLE MONOCONDUCTOR CONSTITUIDO POR CONDUCTOR DE COBRE CON AISLAMIENTO A BASE DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) COLOR AZUL, TIPO THHW-LS 90 °C/75 °C 600 V. EN DUCTO. Calibre 10 AWG	M	35
13	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CABLE MULTICONDUCTOR DE COBRE SUAVE, CON AISLAMIENTO TIPO THW COLOR AMARILLO, PARA 75°C DE OPERACIÓN CALIBRE 1MC-3X12 AWG, 600 VOLTS, MARCA CONDUCTORES MONTERREY O EQUIVALENTE (A ESTACIÓN DE BOTONES).	M	450
14	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBO CONDUIT DE ACERO GALVANIZADO PARED GRUESA POR INMERSION EN CALIENTE TIPO PESADO DE ACUERDO A LA NORMA NMX-J-534-ANCE DE 103 MM DE DIÁM. MCA. JÚPITER EN RACK DE 7 MTS. DE ALTURA (1TMO=3 M).	TMO	225
15	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBO CONDUIT DE ACERO GALVANIZADO PARED GRUESA POR INMERSION EN CALIENTE TIPO PESADO DE ACUERDO A LA NORMA NMX-J-534-ANCE DE 41 MM DE DIÁM. MCA. JÚPITER EN RACK DE 7 MTS. DE ALTURA (1TMO=3 M).	TMO	390
16	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBO CONDUIT DE ACERO GALVANIZADO PARED GRUESA POR INMERSION EN CALIENTE TIPO PESADO DE ACUERDO A LA NORMA NMX-J-534-ANCE DE 27 MM DE DIÁM. MCA. JÚPITER EN RACK DE 7 MTS. DE ALTURA (1TMO=3 M).	TMO	145
17	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBO CONDUIT DE ACERO GALVANIZADO PARED GRUESA POR INMERSION EN CALIENTE TIPO PESADO DE ACUERDO A LA NORMA NMX-J-534-ANCE DE 21 MM DE DIÁM. MCA. JÚPITER EN DUCTO. (1TMO=3 M).	TMO	7
18	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE COPLE FLEXIBLE DE BRONCE "ECLK" DE 41 MM. DE DIÁM., CAT. ECLK-536.	PZA.	1
19	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE COPLE FLEXIBLE DE BRONCE "ECLK" DE 27 MM. DE DIÁM., CAT. ECLK-336.	PZA.	1
20	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE ABRAZADERA TIPO U DE 103 MM DE DIÁM., CAT. U130400, CON TUERCAS (RONDADAS), MCA. ANCLO O SIMILAR.	PZA.	210
21	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE ABRAZADERA TIPO U DE 41 MM DE DIÁM., CAT. U130112, CON TUERCAS (RONDADAS), MCA. ANCLO O SIMILAR.	PZA.	130
22	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE ABRAZADERA TIPO U DE 27 MM DE DIÁM., CAT. U130100, CON TUERCAS (RONDADAS), MCA. ANCLO O SIMILAR.	PZA	10
23	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CONDULET SERIE GUA. CAT. GUAC-49 MCA. C.H DOMEX PARA DIAM. DE 41 MM.	PZA	4
24	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CONDULET SERIE GUA. CAT. GUAC-36 MCA. C.H DOMEX PARA DIAM. DE 41 MM.	PZA.	4
25	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CONDULET SERIE LBH CAT. LBH-100 MCA. C.H DOMEX PARA DIAM. DE 103 MM.	PZA.	4
26	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CONDULET SERIE LBH CAT. LBH-30 MCA. C.H DOMEX PARA DIAM. DE 27 MM.	PZA.	8
27	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CONDULET SERIE LBH CAT. LBH-50 MCA. C.H DOMEX PARA DIAM. DE 41 MM.	PZA.	7
28	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CAJA DE CONEXIONES A PRUEBA DE EXPLOSIÓN CLASE 1 DIVISIÓN 2 SERIE EJB CAT. EJB-464 MARCA C.H. DOMEX O SIMILAR.	PZA.	11
29	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE SELLOS TIPO EYS-21 PARA CLASE 1 DIVISIÓN 2 DIAM. 21 MM.	PZA.	1
30	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE SELLOS TIPO EYS-5 PARA CLASE 1 DIVISIÓN 2 DIAM. 41 MM.	PZA.	4

31	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE SELLOS TIPO EYS-31 PARA CLASE 1 DIVISIÓN 2 DIAM. 27 MM.	PZA.	2
32	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE SELLOS TIPO EYS-10 PARA CLASE 1 DIVISIÓN 2 DIAM. 103 MM.	PZA.	2
TIERRAS Y PARARRAYOS			
33	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE VARILLA COPPERWELD, 16 MM DE DIÁM. X 3.05 M DE LONGITUD. MCA. FRAMATOME O SIMILAR.	PZA.	45
34	SUMINISTRO Y TENDIDO DE CABLE DE COBRE DESNUDO 2 AWG, PARA 75°C DE OPERACIÓN, MCA. CONDUCTORES MONTERREY O EQUIVALENTE. (A TIERRAS)	M	200
35	CABLE DE COBRE DESNUDO SEMIDURO CLASE "A", CALIBRE 2/0 AWG, PARA 75°C DE OPERACIÓN, MCA. CONDUCTORES MONTERREY O EQUIVALENTE.	M	500
36	CABLE DE COBRE DESNUDO SEMIDURO CLASE "A", CALIBRE 500 kCM, PARA 75°C DE OPERACIÓN, MCA. CONDUCTORES MONTERREY O EQUIVALENTE.	M	100
37	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE REGISTRO DE CONCRETO O TUBO DE ALBAÑAL CON CAMPANA DE 267 MM. DE DIAM. Y 600 MM. DE LONGITUD, CON TAPA.	PZA.	6
38	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CONEXION SOLDABLE TIPO "TA" PARA CONEXIÓN DE CABLE CAL. 2/0 AWG A CABLE CAL. 2 AWG, CAT. TAC-2Q1V, CARTUCHO No. 90.	PZA.	1
39	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CONECTOR MECANICO PARA CONEXIÓN DE CABLE CAL. 2/0 AWG A VARILLA DE 5/8" DE DIAM. CAT. GK-6429.	PZA	6
40	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CONEXION SOLDABLE TIPO "TA" PARA CONEXIÓN DE CABLE CAL. 500 kCM A CABLE CAL. 2 AWG,	PZA.	1
41	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CONECTOR MECANICO PARA CONEXIÓN DE CABLE CAL. 500 kCM A VARILLA DE 5/8" DE DIAM.	PZA	6
42	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CONECTOR MECÁNICO TIPO "QA" ZAPATA PARA CAL. 2 AWG, CAT. QA1C-B.	PZA	4
43	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE MONITOR DE FIERRO FUNDIDO GALVANIZADO DE 19 MM. (3/4")	PZA	40
44	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CONEXION SOLDABLE TIPO "GY" PARA CONEXIÓN DE CABLE CAL. 2/0 AWG A VARILLA CAT. GYE-162Q. Y CARTUCHO No. 50.	PZA	2
45	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CONECTOR MECÁNICO DE COBRE PARA PUESTA A TIERRA DE TUBERÍA CON CONDUCTOR DE COBRE DESNUDO CAT. QPX2C2C-Y MARCA BURNDY O SIMILAR.	PZA	20
ALUMBRADO			
46	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBO CONDUIT DE ACERO GALVANIZADO PARED GRUESA POR INMERSION EN CALIENTE TIPO PESADO DE ACUERDO A LA NORMA NMX-J-534-ANCE DE 27 MM DE DIÁM. MCA. JÚPITER EN RACK DE 7 MTS. DE ALTURA (1TMO=3 M).	TMO	115
47	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBO CONDUIT DE ACERO GALVANIZADO PARED GRUESA POR INMERSION EN CALIENTE TIPO PESADO DE ACUERDO A LA NORMA NMX-J-534-ANCE DE 27 MM DE DIAM. EN DUCTO. (1TMO=3 M).	TMO.	20
48	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBO CONDUIT DE ACERO GALVANIZADO PARED GRUESA POR INMERSION EN CALIENTE TIPO PESADO DE ACUERDO A LA NORMA NMX-J-534-ANCE DE 41 MM DE DIÁM. MCA. JÚPITER EN RACK DE 7 MTS. DE ALTURA (1TMO=3 M).	TMO	8
49	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBO CONDUIT DE ACERO GALVANIZADO PARED GRUESA POR INMERSION EN CALIENTE TIPO PESADO DE ACUERDO A LA NORMA NMX-J-534-ANCE DE 41 MM DE DIÁM. MCA. JÚPITER EN DUCTO (1TMO=3 M).	TMO	150

50	SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE CABLE MONOCONDUCTOR CONSTITUIDO POR CONDUCTOR DE COBRE CON AISLAMIENTO A BASE DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) COLOR NEGRO, TIPO THHW-LS 90 °C/75 °C 600 V. EN RACK DE 7 MTS. DE ALTURA. Calibre 12 AWG	M	300
51	SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE CABLE MONOCONDUCTOR CONSTITUIDO POR CONDUCTOR DE COBRE CON AISLAMIENTO A BASE DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) COLOR ROJO, TIPO THHW-LS 90 °C/75 °C 600 V. EN RACK DE 7 MTS. DE ALTURA. Calibre 12 AWG	M	300
52	SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE CABLE MONOCONDUCTOR CONSTITUIDO POR CONDUCTOR DE COBRE CON AISLAMIENTO A BASE DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) COLOR AZUL, TIPO THHW-LS 90 °C/75 °C 600 V. EN RACK DE 7 MTS. DE ALTURA. Calibre 12 AWG	M	300
53	SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE CABLE MONOCONDUCTOR CONSTITUIDO POR CONDUCTOR DE COBRE CON AISLAMIENTO A BASE DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) COLOR VERDE, TIPO THHW-LS 90 °C/75 °C 600 V. EN RACK DE 7 MTS. DE ALTURA. Calibre 12 AWG	M	1500
54	SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE CABLE MONOCONDUCTOR CONSTITUIDO POR CONDUCTOR DE COBRE CON AISLAMIENTO A BASE DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) COLOR VERDE, TIPO THHW-LS 90 °C/75 °C 600 V. EN DUCTO. Calibre 12 AWG	M	1700
55	SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE CABLE MONOCONDUCTOR CONSTITUIDO POR CONDUCTOR DE COBRE CON AISLAMIENTO A BASE DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) COLOR NEGRO, TIPO THHW-LS 90 °C/75 °C 600 V. EN RACK DE 7 MTS. DE ALTURA. Calibre 10 AWG	M	300
56	SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE CABLE MONOCONDUCTOR CONSTITUIDO POR CONDUCTOR DE COBRE CON AISLAMIENTO A BASE DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) COLOR ROJO, TIPO THHW-LS 90 °C/75 °C 600 V. EN RACK DE 7 MTS. DE ALTURA. Calibre 10 AWG	M	300
57	SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE CABLE MONOCONDUCTOR CONSTITUIDO POR CONDUCTOR DE COBRE CON AISLAMIENTO A BASE DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) COLOR AZUL, TIPO THHW-LS 90 °C/75 °C 600 V. EN RACK DE 7 MTS. DE ALTURA. Calibre 10 AWG	M	300
58	SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE CABLE MONOCONDUCTOR CONSTITUIDO POR CONDUCTOR DE COBRE CON AISLAMIENTO A BASE DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) COLOR NEGRO, TIPO THHW-LS 90 °C/75 °C 600 V. EN DUCTO. Calibre 8 AWG	M	500
59	SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE CABLE MONOCONDUCTOR CONSTITUIDO POR CONDUCTOR DE COBRE CON AISLAMIENTO A BASE DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) COLOR ROJO, TIPO THHW-LS 90 °C/75 °C 600 V. EN DUCTO. Calibre 8 AWG	M	500
60	SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE CABLE MONOCONDUCTOR CONSTITUIDO POR CONDUCTOR DE COBRE CON AISLAMIENTO A BASE DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) COLOR AZUL, TIPO THHW-LS 90 °C/75 °C 600 V. EN DUCTO. Calibre 8 AWG	M	500

61	SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE CABLE MONOCONDUCTOR CONSTITUIDO POR CONDUCTOR DE COBRE CON AISLAMIENTO A BASE DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) COLOR NEGRO, TIPO THHW-LS 90 °C/75 °C 600 V. EN DUCTO. Calibre 6 AWG	M	900
62	SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE CABLE MONOCONDUCTOR CONSTITUIDO POR CONDUCTOR DE COBRE CON AISLAMIENTO A BASE DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) COLOR ROJO, TIPO THHW-LS 90 °C/75 °C 600 V. EN DUCTO. Calibre 6 AWG	M	900
63	SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE CABLE MONOCONDUCTOR CONSTITUIDO POR CONDUCTOR DE COBRE CON AISLAMIENTO A BASE DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) COLOR AZUL, TIPO THHW-LS 90 °C/75 °C 600 V. EN DUCTO. Calibre 6 AWG	M	900
64	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TABLERO DE ALUMBRADO, NEMA 1, DE SOBREPONER, TRES FASES, 4 HILOS, CON INTERRUPTOR PRINCIPAL DE 100 AMP., Y 24 ESPACIOS DE 1 POLO 220/127 VCA DE 10 kA DE CAPACIDAD INTERRUPTIVA.	PZA.	1
65	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CENTRO DE CARGA 220 Volts 1 FASE 3 HILOS 60 Hz. CON 4 INTERRUPTORES DERIVADOS DE 1 POLO 20 AMP.	PZA	1
66	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE LUMINARIA SOBREPUESTA EN RACK DE 150 WATTS, 220 VOLTS, 60 HZ. CATALOGO VMVS2A150GP MARCA CROUSE HINDS DOMEX CLASE 1 DIVISIÓN 2.	PZA	18
67	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE LUMINARIA MONTAJE EN CONDUIT DE 150 WATTS, 220 VOLTS, 60 HZ. CATALOGO VMVSP150GP MARCA CROUSE HINDS DOMEX CLASE 1 DIVISIÓN 2	PZA	2
68	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE LUMINARIA MONTAJE EN POSTE DE BRAZO DE 200 WATTS, 220 VOLTS, 60 HZ. TIPO HP SERIER HR DISTRIBUCIÓN R3 (HPRH-R3-200-220V) MARCA CROUSE HINDS DOMEX	PZA	16
69	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE POSTES METÁLICOS DE LAMINA DE ACERO DE 4,76 MM (3/16") MINIMO DE ESPESOR, GALVANIZADOS POR INMERSIÓN EN CALIENTE, CON UNA CAPA DE MORDENTADOR, UNA CAPA DE PRIMARIO EPÓXICO DE 0.05 MM (2 MILÉSIMAS DE PULGADA) Y ACABADO EPÓXICO COLOR CÓDIGO PANTONE MATCHING SISTEM PM-577 DE 0,20 MM (8 MILÉSIMAS DE PULGADA). COLOR VERDE. DE 9 MTS. DE ALTURA.	PZA.	16
70	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CONDULET SERIE LBH. MCA. C.H DOMEX PARA DIAM. DE 27 MM.	PZA	2
71	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CONDULET SERIE GUA CAT. GUAT-36 MCA. C.H DOMEX PARA DIAM. DE 27 MM.	PZA	1
72	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CONDULET SERIE GUA CAT. GUAT MCA. C.H DOMEX PARA DIAM. 25MM	PZA.	20
73	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE SELLOS TIPO EYS-5 PARA CLASE 1 DIVISIÓN 2 DIAM. 41 MM.	PZA.	1

Tabla 22 Volumen de Obra

Como se puede ver en el volumen de obra se especifican las características del cable, si su instalación será subterránea o aérea y por norma para cables menores o iguales al calibre 2 AWG cada fase va de un color diferente como se indica en la Tabla 23, por lo tanto el mismo cable se puede desglosar en diferentes partidas.

Fases (fuerza y alumbrado)	A negro
	B rojo
	C azul
Puesto a tierra (Neutro)	Blanco o gris claro
Puesta a Tierra (Tierra)	Verde o desnudo (Fuerza y alumbrado).

Tabla 23. Colores para cada fase de conductores de calibres iguales o menores a 2 AWG.

5 PARTICIPACIÓN PROFESIONAL.

Dentro de las actividades descritas anteriormente mi participación profesional fue la siguiente:

1. Sistema de Fuerza

1.1. Calculé conductores, tubería conduit e interruptores de cada circuito de fuerza.

1.2. Dimensioné soportería aérea y bancos de ductos.

1.3. Elaboré la memoria de cálculo de los conductores (Documento MC-L-001) y cédula de cable y conduit (Documento L-200)

1.4. Colaboré en el diseño de los sistemas de Fuerza (General, cobertizo y cuarto eléctrico) y elaboré sus planos correspondientes (L-300, L-301 y L-302).

1.5. Elaboré el diagrama unifilar (Plano L-001).

1.6. Dimensioné el transformador TR-Q1.

2. Sistema de alumbrado

2.1. Diseñé alumbrado público del área de los nuevos quemadores.

2.2. Diseñé el alumbrado del rack con ayuda del programa LUXICON que es un software que me fue proporcionado por C.H. DOMEX.

2.3. Calculé los conductores y la tubería para cada sistema de alumbrado.

2.4. Realicé el diseño del cableado de las luminarias.

2.5. Elaboré el plano donde se muestra la distribución de los circuitos de alumbrado y el cableado de cada uno de ellos (Plano L-201)

2.6. Calculé y elaboré el cuadro de cargas para determinar que el sistema de alumbrado estuviera bien balanceado.

3. Sistema de tierras.

3.1. Calculé la resistencia del terreno para ver que el diseño cumpliera con los requerimientos.

3.2. Elaboré plano L-100 donde se muestra el diseño de la red de tierra.

4. Volumen de obra.

4.1. Participé en la cuantificación de los materiales y elaboré el documento correspondiente.

Todos los planos los elaboré en el programa AUTOCAD con los requerimientos exigidos por la NRF-048-PEMEX-2007.

6 RESULTADOS Y APORTACIONES.

Los resultados obtenidos fueron gratificantes ya que todo el diseño y los documentos elaborados fueron aceptados por los especialistas del Complejo Procesador de Gas Poza Rica y pagados por PEMEX.

La principal aportación fue que todo lo diseñado en este proyecto será construido en los primeros meses del año 2009. Una vez construido se podrá desmantelar los quemadores existentes y con ello se tendrá el espacio necesario para la construcción de tres plantas criogénicas. Todo esto contribuye al crecimiento de una de las empresas más importantes de nuestro país.

7 CONCLUSIONES

Con la elaboración de este proyecto obtuve las siguientes conclusiones:

- Antes de diseñar o hacer cualquier cálculo es necesario tener un buen conocimiento de la normatividad la cual nos dará las bases de diseño que requerimos.
- Es importante interrelacionarse con otras disciplinas, para que trabajando en conjunto se lleve a buen término cualquier proyecto.
- En un proyecto real un mismo problema puede tener diferentes soluciones y uno como ingeniero debe tomar la que satisfaga tanto el aspecto técnico como el económico; ambos tienen un gran peso en las decisiones a tomar.
- Aprender todo lo que sea posible de personas con mayor experiencia para que junto con los conocimientos adquiridos durante la carrera se vaya complementando cada vez más mi formación como ingeniero.

8 ANEXO PLANOS ELÉCTRICOS

8.2 L-200 Cédula de cable y conduit

CIRC. No.	SERVICIO	DESDE	HASTA	H.P.	K.V.A.	VOLTS	AMPS.	CONDUCTOR				TUBO CONDUIT	No. PLANO	OBSERVACIONES	
								CABLE	NO. DE CABLE	SECCION	TIPO				DIAM.	LONGITUD	TIPO	NO. PLANO
01-01	FUERZA	CON ALA NOROCCIDENTAL (EN S.F.F.E)	CDH - 01 (TABLERO) RELEVADO		83.87	480	100.00	30-750	3	THHN-L2	1800	100	800	1-01	
01-02	FUERZA	CDH - 02 (TABLERO) RELEVADO	TABLERO DE ALAMBADO EXTERIOR TA-01		9.732	220		40-10	4	THHN-L2	30	21	5	1-02	
02-01	CONTROL	CDH - 02 (TABLERO) RELEVADO	PETROBRAS			120		30-10	1	THHN-L2	24	21	5		
01-03	FUERZA	CDH - 01 (TABLERO) RELEVADO	CENTRO DE CARGA		6.674	127		30-4	2	THHN-L2	19	27	5	1-03	
01-04	FUERZA	CDH - 01 (TABLERO) RELEVADO	RESERVA PARA UPS		5	220	13.12	30-10	3	THHN-L2	34	21	5	1-04	
01-05	FUERZA	CDH - 01 (TABLERO) RELEVADO	BOMBA BA-102	10		480	14	30-4	3	THHN-L2	1140	27	300	1-05	
02-02	CONTROL	CDH - 01 (TABLERO) RELEVADO	ESTACION DE BOMBAS BA-01 JUNTOS A BOMBA BA-102			120		30-300	1	THHN-L2	300	-	-	1-06	
01-06	FUERZA	CDH - 01 (TABLERO) RELEVADO	SOPALON BA-102	25		24	30-1/0	3	THHN-L2	1200	41	400	1-06		
01-07	FUERZA	IT-01 (EN S.F. # 5)	UPS		5	220	13.12	30-1/0	3	THHN-L2	1800	41	800	1-07	

L-200

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELÉCTRICAS
 DIVISIÓN DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
 LABORATORIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

PROFESOR ENCARGADO: DR. JOSÉ LUIS TORRES
 PROFESOR AYUDANTE: DR. JOSÉ LUIS TORRES
 TÉCNICO ENCARGADO: DR. JOSÉ LUIS TORRES

FECHA DE ELABORACIÓN: 15/05/2018
 FECHA DE REVISIÓN: 15/05/2018

PROYECTO: CÉDULA DE CABLE Y CONDUIT

NO. PLANO: L-200

8 BIBLIOGRAFÍA.

- Raúl Martín José (1992). Diseño de subestaciones eléctricas, McGraw Hill, México, 1ª edición, pp. 504.
- Enríquez Harper Gilberto (2007). Manual de instalaciones eléctricas residenciales e industriales, LIMUSA, México, 2ª edición, pp. 440.
- La norma NRF-048-PEMEX-2007 elaborada por el Comité de normalización de petróleos mexicanos y organismos subsidiarios, pp. 141.
- La norma NOM 001 SEDE 2005 de instalaciones eléctricas.
- Catálogo de conductores Viakon.