# 5. RESULTADOS

## 5.1. Selección de Plantas a Analizar.

En este trabajo se escogieron dos subestaciones de distribución de energía eléctrica de la Comisión Federal de Electricidad (C.F.E.), las dos subestaciones que analizadas, son la subestación “5 de Mayo”, localizada en Boulevard 5 de Mayo, y la subestación “Puebla 2000”, localizada en el parque industrial Puebla 2000.

La información de estas dos subestaciones fue facilitada por personal de la C.F.E. la visita a los sitios se realizó el día 5 de Octubre de 2007.

La subestación eléctrica 5 de Mayo es una subestación de tipo encapsulada y la Puebla 2000 es de tipo aérea.

## 5.2. Subestación 5 de Mayo.

La subestación 5 de Mayo es del tipo encapsulada, la cual cuenta con diferentes secciones y equipos en cada uno de ellos, los cuales se encuentran en la tabla 5.1.

La subestación se encuentra distribuida como se presenta en el la figura 5.1 correspondiente al plano del terreno con la ubicación de cada una de las secciones principales.

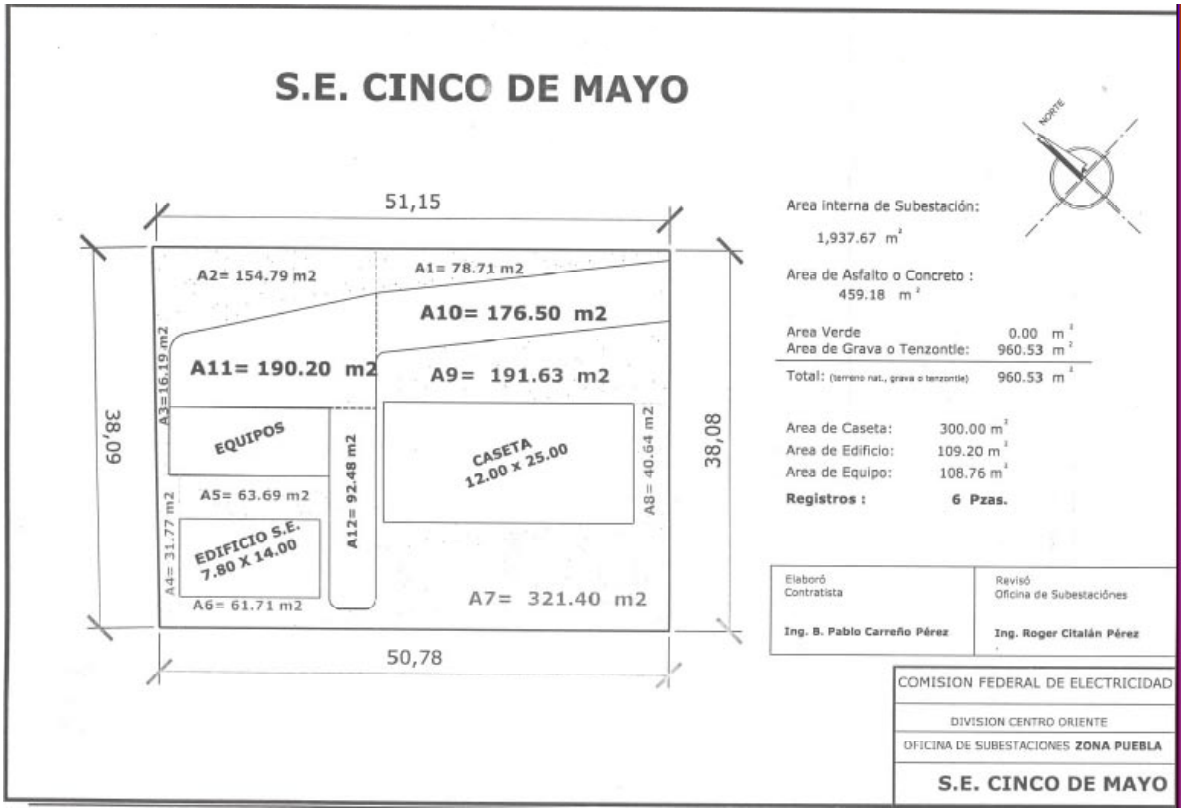



***Figura 5.1 Plano de la Subestación Cinco de Mayo***

Las secciones principales son las señaladas como Edificio S.E., Equipos y el área de Caseta. Estas tres secciones son en las que se llevó acabo el Análisis de Riesgos utilizando la metodología Mond anteriormente desarrollada, a través de una hoja de cálculo en EXCEL, el manual del uso de la hoja de calculo se encuentra en el Anexo "D".

***Tabla 5.1 Equipos en Subestación 5 de Mayo***

| **Sección** | **Equipos y Cantidad** | **Descripción** |
|---|---|---|
| Caseta | Batería Plana LTH EHP-13 (64 unidades) | Forman parte de la sección de casa de baterías que sirve para el funcionamiento de la subestación eléctrica. |
| Equipos | Transformador IEM 26-1288 (2 unidades) | Transformador de alta tensión a media tensión para uso comercial. |
| Edificio S.E. | Equipo de caseta de Hexafloruro de Azufre (1 unidad) | Encargado de la recepción de la energía eléctrica en media tensión. |

Siguiendo el punto 4.3.1 de la metodología descrita anteriormente, se debe seleccionar la planta, en este caso la planta analizada es Subestación Eléctrica 5 de Mayo. La planta se divide en las secciones descritas en la tabla 5.1. Los compuestos químicos encontrados en cada una de las secciones y su cantidad se listan en la tabla 5.2.

Los resultados del análisis de riesgo con la metodología Mond se colocarán como figuras obtenidas del programa desarrollado como objetivo en esta tesis, en cada sección se aclarara la forma en la que se obtuvieron las respuestas a las preguntas requeridas por cada sección.

De las tres secciones en las que se divide la Subestación 5 de Mayo siguiendo el punto 4.3.2 se debe determinar que sección será analizada, la selección no tiene ninguna forma especifica de realizar, por tanto la primera sección será la de Edificio S.E. así mismo deben de especificarse las condiciones de operación de la sección están se encuentran en la tabla 5.3.

*5.2.1.Edificio S.E.*

Debido a las limitaciones de información disponible para el público en general las fotos de las placas de información del equipo encontrado, en la cual se contiene el número de equipo y datos generales de proceso, en la sección de Edificio S.E. no pueden mostrarse. Así que los datos aquí recabados deben tomarse como ciertos, dichos datos son las condiciones de operación y cantidades de productos químicos. Imágenes de esta sección se encuentran en el Anexo "C" las Figuras C.4 y C.5

***Tabla 5.2. Compuestos Químicos en las Secciones***

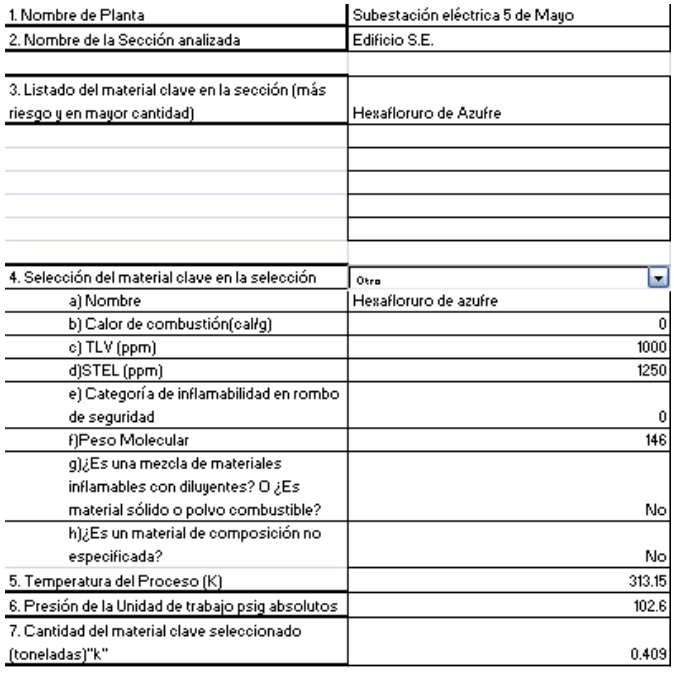
| Sección | Compuestos Químicos | Cantidad (Ton) |
|---|---|---|
| Edificio S.E. | Hexafloruro de Azufre (SF6) | 0.409 |
| Equipos | Aceite Dieléctrico para Transformadores de Media Tensión (Base nafténica) | 43 |
| Caseta | Ácido Sulfúrico | 0.1 |
| | Plomo | 0.1 |

***Tabla 5.3 Condiciones de Operación de Edificio S.E.***

| | |
|---|---|
| Temperatura | 40 °C |
| Presión | 6 bar manométrico |

Con la información anterior se observa que el único compuesto y por lo tanto material clave en la sección de Edificio S.E. es el Hexafloruro de Azufre, es necesario obtener la hoja de seguridad de este compuesto, la cuál se encuentra en el Anexo "B", de esta hoja se obtiene los valores de Peso Molecular, identificación según la National Fire Protection Agency (NFPA).

La figura 5.2 contiene el vaciado de datos en la hoja de cálculo, son algunos de los datos necesarios para comenzar el análisis de riesgos.



| | |
|---|---|
| 1. Nombre de Planta | Subestación eléctrica 5 de Mayo |
| 2. Nombre de la Sección analizada | Edificio S.E. |
| 3. Listado del material clave en la sección (más riesgo y en mayor cantidad) | Hexafloruro de Azufre |
| 4. Selección del material clave en la selección | Otra |
| a) Nombre | Hexafloruro de azufre |
| b) Calor de combustión(cal/g) | 0 |
| c) TLV (ppm) | 1000 |
| d)STEL (ppm) | 1250 |
| e) Categoría de inflamabilidad en rombo de seguridad | 0 |
| f)Peso Molecular | 146 |
| g)¿Es una mezcla de materiales inflamables con diluyentes? O ¿Es material sólido o polvo combustible? | No |
| h)¿Es un material de composición no especificada? | No |
| 5. Temperatura del Proceso (K) | 313.15 |
| 6. Presión de la Unidad de trabajo psig absolutos | 102.6 |
| 7. Cantidad del material clave seleccionado (toneladas)"k" | 0.409 |

***Figura 5.2 Datos Generales de la Sección y material clave para sección Edificio S.E.***

El siguiente paso en la metodología es el 4.3.5, cálculo del Factor Material "B" que se define conociendo las propiedades del material clave, para la determinación si un material es inflamable o no, se decidió que se utilizará el criterio de la NFPA para inflamabilidad, según la tabla 5.4., el cálculo se presenta en la figura 5.3.

***Tabla 5.4 Criterio de Inflamabilidad de NFPA***

| Grado de Riesgo | Características de la sustancia química | Criterio para Índice de Mond |
|---|---|---|
| 0 | Sustancias que no se quemarán, si la temperatura es mayor a 815.5°C | No flamable |
| 1 | Sustancias que se quemaran cuando se expongan a una temperatura de 815.5°C | No flamable |
| 2 | Sustancias que tiene un punto de ignición igual o mayor a 37.8°C y debajo de 93.4°C | Poco flamable |
| 3 | Sustancias que tiene un punto de ignición por debajo de 22.8°C y un punto de ebullición igual o mayor a 37.8°C. | Flamable |
| 4 | Gases Inflamables.<br>Sustancia gaseosa que se presenta en forma líquida bajo presión con un punto de ignición por debajo de 22.8°C y un punto de ebullición por debajo de 37.8°C | Flamable |

| 8. Factor Material "B" | | | |
|---|---|---|---|
| a)Materiales Flamables | ΔHc (calor de combustión) | 0 | cal/g |
| | No | 0 | |
| b)Materiales Poco Flamables | ΔHr (Calor equivalente de combustión) | 0 | Kcal/g |
| | M (Peso Molecular) | 146 | |
| | No | 0 | |
| c)Materiales no combustibles | Si | 0.1 | |
| d) Mezcla de Materiales inflamables con diluyentes | No | 0.1 | |
| e)Sólidos y Polvos Combustibles | No | 0.1 | |
| f)Materiales de composición no especificada | P (presión de explosión máxima en psig) | | psig |
| | T (temperatura inicial en K) | | K |
| | No | 0 | |
| B= | 0.10 | | |

***Figura 5.3 Factor Material "B" para sección Edificio S.E.***

En la figura 5.3 se observa un factor “B” de 0.10, el valor es pequeño debido a que la sustancia es considerada como material no combustible.

El siguiente paso es el 4.3.6, cálculo del Factor Especial de Material “M”, los datos requeridos para este cálculo provienen, de la hoja de especificación del material clave, la figura 5.4, muestra los resultados provenientes del análisis de la hoja de seguridad y la respuesta a las preguntas necesarias.

| 9. Riesgos Especiales del Material "M" | | Si/No | Factor |
|---|---|---|---|
| a) Materiales Oxidantes | | No | 20 |
| b)Materiales que reaccionan con agua para producir gas combustible | | No | 30 |
| c) Características de Mezclado y Dispersión | 1. Gases inflamables de baja densidad | | |
| | 9.c.1.a Hidrogeno | No | -60 |
| | 9.c.1.b Metano y Amoniaco | No | -20 |
| | 2. Gases licuados inflamables | No | 30 |
| | 3. Líquidos criogénicos inflamables | No | 60 |
| | 4. Materiales viscosos | No | -20 |
| | m= | | 0 |
| d) Sujetos a calentamiento espontáneo | 1. Durante almacenamiento | No | 30 |
| | 2. Sólidos pirofóricos | No | 50 |
| | 3. Líquidos pirofóricos | No | 100 |
| e) Polimerización espontánea | | No | 75 |
| f) Descomposición explosiva | | No | 125 |
| g) Sujeto a detonación gaseosa | | No | 150 |
| h)Propiedades explosivas de la fase condensada | | No | 200 |
| M= | 0 | | |

***Figura 5.4 Factor Especial de Material “M” para sección Edificio S.E.***

El factor “M” tiene un valor de 0, esto se debe a que la sustancia no presenta ninguna de las características necesarias para que se le considere que posee riesgos especiales del material, debido a su alta nobleza del material. Dentro de este cálculo también se obtiene el valor del factor “m” correspondientes a las características de mezclado, también posee un valor de 0.

El siguiente paso es el 4.3.7 correspondiente al calculo del factor correspondiente a los Riesgos Generales de Proceso “P”, para el llenado de esta sección es necesario conocer el funcionamiento del equipo para esta sección es un Subestación Eléctrica Encapsulada de SF6, los datos del funcionamiento de dicho equipo se encuentran en la hoja de especificación de la C.F.E. con número CFE VY200-40, “Subestaciones blindadas aisladas con gas SF6 para tensiones de 123 a 420kV”, esta información no se encuentra en los anexos debido a que es información clasificada de la compañía. El llenado de esta sección se encuentra en la figura 5.5.

| 10. Riesgos Generales de Proceso "P" | | | |
|---|---|---|---|
| | | Si/No | Factor |
| a) Manejo y cambio físico | 1. Materiales inflamables con separación de dique | No | 10 |
| | 2. Materiales almacenados calientes | No | 10 |
| | 3. Operaciones de proceso en sistemas cerrados | Si | 10 |
| | 4. Operación de centrifugado | No | 30 |
| b) Reacciones simples continuas | 1. Reacciones endotérmicas y exotérmicas que el solvente absorbe todo el calor | No | 25 |
| | 2. Reacciones exotérmicas | No | 50 |
| | 3. Proceso de materiales sólidos | No | 50 |
| c) Reacciones batch simples | operación <1 hora sumar 60 al inciso b correspondiente | | |
| | operación >1 hora sumar 10 al inciso b correspondiente | | |
| d) Multiplicidad de reacciones o diferentes operaciones | 1. Si existe contaminación por uso de reactor para otro producto | No | 50 |
| | 2. Alteración del tiempo que cause desorden en la reacción | No | 75 |
| e) Transferencia de Materiales | 1. Tubería permanentemente instalada | Si | 0 |
| | 2. Tubería flexible | No | 25 |
| | 3. Operaciones a través de compuertas o tapas | No | 50 |
| | 4. Uso de venteo simultaneo y gas inerte | Si | 50 |
| f) Recipientes transportables | 1. Tambores llenos en piso | No | 25 |
| | 2. Tambores llenos en vehículos | No | 40 |
| | 3. Tambores vacíos | No | 10 |
| | 4. Pipas o tráileres | No | 100 |
| | 5. Carros Tanques | No | 75 |
| P= | 60 | | |

***Figura 5.5 Factor Riesgos Generales de Proceso "P" para sección Edificio S.E.***

El resultado del factor "P" es de un valor de 60, el valor corresponde a que dentro de la unidad se tiene un proceso cerrado, existe tubería permanente instalada en la unidad, y se hace uso de gas inerte en el sistema.

El siguiente paso es el 4.3.8 correspondiente al cálculo del Factor de Riesgos Especiales de Proceso "S", los datos necesarios para llenar y calcular dicho factor se encuentran en la especificación CFE VY200-40 y en las especificaciones del equipo en la unidad analizada. El resultado de dicha información se encuentra en la figura 5.6, 5.7 y 5.8.

En esta sección se encuentra el cálculo de factor debido a alta presión en el sistema para este punto se debe leer de las graficas D.19, D.20, D.21 y D.22, del Anexo de Gráficos de Presión. Así mismo para lograr la automatización de la hoja de Excel, se realizo la regresión de estos datos y se obtuvieron cuatro ecuaciones distintas.

Estas ecuaciones son las siguientes:

Para presiones entre 0 psig y 105.15 psig:

$$y = 6.13725E\text{-}05x^3 - 1.82014E\text{-}03x^2 + 8.76398E\text{-}02x \quad \text{(Ec.5.1)}$$

Para presiones entre 105.15 psig y 423.78 psig:

$$y = 7.55842E\text{-}07x^3 - 7.77924E\text{-}04x^2 + 3.51969E\text{-}01x - 6.60184E+00 \quad \text{(Ec.5.2)}$$

Para presiones entre 423.78 psig y 900 psig:

$$y = 4.97159E+00x^{4.12770E\text{-}01} \quad \text{(Ec.5.3)}$$

Para presiones entre $1*10^3$ psig y $10*10^3$ psig:

$$y = -2.69145E\text{-}03x^6+1.00256E\text{-}01x^5- 1.45643E+00x^4+1.02989E+01x^3- 3.63226E+01x^2+6.79277E+01x+4.36442E+01 \quad \text{(Ec.5.4)}$$

| 11. Riesgos Especiales de Proceso "S" | | SI/No | Factor |
|---|---|---|---|
| a) Baja Presión | 1. Si el aire o contaminantes que entren al sistema provoquen una reacción | No | 50 |
| | 2. Procesos entre 0.5 y .35 psig o un diferencial de 600mmHg | No | 100 |
| | 3. Diferencial superior a 600mmHg | No | 75 |
| b) Alta presión | 1. Presión entre 0 y 900 psig manométricos Usar Figs. 1a, 1b, 1c. del Anexo Gráficas de Presión | Si | 21.70 |
| | 2. Presión entre 1000 y 10000 psig manométricos Usar Fig. 2 del Anexo Gráficas de Presión | No | 50.24 |
| | 3. Presión arriba de 10000psig | No | 200 |
| c) Baja temperatura | 1.Equipos de acero al carbón con temperaturas de operación de 10 a -10°C | No | 15 |
| | 2. Equipos de acero al carbón a temperaturas normales de -10 a -25°C | No | 30 |
| | 3. Equipos de acero al carbón a temperaturas menores a -25°C | No | 100 |
| | 4. Aceros especiales o aleaciones seleccionar según un especialista un factor entre 30 y 100 | No | |
| d) Alta temperatura | 1. Cuando un liquido o sólido inflamable este por arriba de su temperatura de Flash Point de copa cerrada | No | 20 |
| | 2. Cuando un liquido o sólido inflamable este por arriba de su temperatura de Flash Point de copa abierta | No | 25 |
| | 3. Si el material esta a temperatura superior a su punto de ebullición a 760mmHg | No | 25 |
| | 4. Si el material esta a temperatura normal pero en fase líquida | No | 10 |
| | 5. Si el material se maneja a temperatura superior a la de autoignición | No | 35 |
| | 6. Si el material de los equipos utilizados se operan bajo condiciones de esfuerzo longitudinal o progresivo | No | 25 |

***Figura 5.6 Factor Riesgos Especiales de Proceso "S" para sección Edificio S.E.***

| 11. Riesgos Especiales de Proceso "S" | | SI/No | Factor |
|---|---|---|---|
| e) Riesgos de corrosión y erosión | 1. Velocidad de corrosión menor a 0.1 mm/año | No | 0 |
| | 2. Velocidad de corrosión menor a 0.5 mm/año | No | 10 |
| | 3. Velocidad de corrosión cercana a 1 mm/año | No | 20 |
| | 4. Velocidad de corrosión mayor a 1mm/año sin efectos de erosión | No | 50 |
| | 5. Velocidad de corrosión mayor a 1mm/año con efectos de erosión | No | 100 |
| | 6. Alto riesgo de tensión y agrietamiento | No | 150 |
| f) Riesgos de juntas y empaques | 1.Construcción soldada y uniones bridadas diseñada para no causar problemas de sellos | Si | 0 |
| | 2. Uniones bridadas que pueden tener fugas menores | No | 30 |
| | 3. Sellos en bombas | No | 20 |
| | 4. Problemas mayores de sellos en el proceso | Si | 60 |
| g) Riesgos de vibración y de fatiga por carga cíclica y fallas en los cimientos y ganchos de soporte | 1. Riesgo de fatiga general | No | 50 |
| | 2. Operaciones de llenado de pipas, carros tanque | No | 30 |
| | 3. Recipientes sobre celdas de carga | No | 50 |
| h) Procesos o reacciones difíciles de controlar | 1. Reacciones en un rango de 20°C del limite especificado por la seguridad de dicho proceso | No | 100 |
| | 2. Para otros efectos de difícil control debe utilizarse un factor entre 100 a 300 | No | |
| i) Operación cerca del rango flamable | 1. Almacenamiento de líquidos inflamables sin venteo atmosférico | No | 25 |
| | 2. Tambores vacíos que hayan contenido material inflamable y no hayan sido descontaminados correctamente | No | 150 |
| | 3. Cuando se hayan almacenado líquidos inflamables, y el vapor este en condiciones normales, pero pueden entrar en rango inflamable en operaciones de llenado o vaciado | No | 50 |
| | 4. Reacciones que se lleven a cabo cerca del rango inflamable y se confié en la instrumentación para permanecer fuera de los límites de inflamabilidad | No | 100 |
| | 5. Operaciones dentro del rango inflamable | No | 150 |

***Figura 5.7 Factor Riesgos Especiales de Proceso "S" para sección Edificio S.E. (continuación)***

| 11. Riesgos Especiales de Proceso "S" | | SI/No | Factor |
|---|---|---|---|
| j) Riesgo de explosión mayor que el promedio | 1. Líquidos o gases inflamables a temperaturas y presiones tales que una descarga resulte en rápida vaporización y formación probable de concentración inflamable | No | 40 |
| | 2. Procesos con riesgo de explosión de vapor | No | 60 |
| | 3. Procesos susceptibles de acumular contaminantes que pueden causar explosión | No | 100 |
| | 4. Sospecha de que la escalación pueda afectar reactividad | No | 60 |
| | 5. Donde productos corrosivos puedan acumularse u afectar la estabilidad de los materiales | No | 60 |
| | 6. Almacenamiento de gases licuados inflamables usando refrigeración | No | 80 |
| k) Riesgo de Explosión por polvo o neblina | 1. Riesgo por explosión por polvo o neblina debido a la ruptura o mal funcionamiento de un equipo | Si | 30 |
| | 2. Operación de líquidos que sea susceptible de ignición y formación de neblina dentro del equipo | No | 50 |
| | 3. Procesos en los que la formación de polvo o neblina casi siempre esta presente seleccionar entre 50 a 70 | No | |
| l) Procesos que usan oxidantes muy fuertes | 1. Uso de oxígeno como oxidante | No | 300 |
| | 2. Uso de aire enriquecido por oxígeno | No | 0 |
| | Porcentaje de aire enriquecido | 21 % | |
| | 3. Cloro sin dilución | No | 125 |
| | 4. Cloro diluido | No | 0 |
| | Porcentaje de Cloro en base libre de combustible | 39 % | |
| | 5. Uso de $N_2O$ o $NO_2$ | No | 300 |
| | 6. Dilución de $N_2O$ o $NO_2$ | No | 0 |
| | Porcentaje de $N_2O$ o $NO_2$ en base libre de combustible | 21 % | |
| | 7. Óxido nítrico sin dilución como oxidant | No | 230 |
| | 8. Óxido nítrico diluido | No | 0 |
| | Porcentaje de óxido nítrico en base libre de combustible | 26 % | |
| m) Sensibilidad a la ignición del proceso | 1. Si $O_2$ concentrado, $N_2O$ o NO como oxidante | No | 50 |
| | 2. $Cl_2$ o $NO_2$ como oxidante | No | 75 |
| | 3. Si el proceso produce materiales pirofóricos | No | 25 |
| n) Riesgos electrostáticos | 1. SI existe riesgo de descarga electrostática escoger un factor entre 25 y 75 | SI | 75 |
| S= | 186.70 | | |

***Figura 5.8 Factor Riesgos Especiales de Proceso "S" para sección Edificio S.E. (continuación)***

El resultado del Factor “S” es de 186.70 resultante de los riesgos existentes en el proceso, ya que es un proceso a presión alta, debido a la presión y características del material en caso de ruptura puede existir una explosión violenta, y al ser un equipo que funciona en un ambiente de alto voltaje y alta tensión el riesgo por descarga electrostática es el más alto.

El siguiente paso es 4.3.9 correspondiente al cálculo del Factor Cantidad de Material en el Proceso, este valor se obtiene con las Figs. D.23, D.24, D.25, D.26 del Anexo “D” y la cantidad de material clave presente en la unidad que representa el factor “k”. El resultado de paso 4.3.9 se encuentra en la figura 5.9.

Para la automatización de los cálculos los datos de las Figs. D.23, D.24, D.25, D.26 se regresionaron y se obtuvieron 4 ecuaciones para las diferentes cantidades de material presentes en la unidad las ecuaciones son:

Para cantidades de materiales entre 0.1 Ton a 10 Ton:

$$y = 6.652241E\text{-}03x^3 - 4.515048E\text{-}01x^2 + 7.832800E+00x + 4.994757E\text{-}01 \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(Ec. 5.5)}$$

Para cantidades de materiales entre 10Ton a 1000 Ton:

$$y = 2.296946E+01x^{2.739538E\text{-}01} \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(Ec.5.6)}$$

Para cantidades de materiales entre 100 Ton a 8000 Ton:

$$y = 3.219697E\text{-}10x^3 - 5.909091E\text{-}06x^2 + 5.323323E\text{-}02x + 1.055357E+02 \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(Ec.5.8)}$$

Para cantidades de material entre 8000 Ton a 100000 Ton:

$$y = 1.12627315E\text{-}13x^3 - 4.95119622E\text{-}08x^2 + 1.15256935E\text{-}02x + 2.30457014E+02 \ldots \text{(Ec.5.9)}$$

| 10. Riesgos por Cantidad de Material Total "Q" | | | |
|---|---|---|---|
| a) Cantidad de material (Toneladas) "k" | Si la cantidad del Material es >=0.1 Ton hasta 10 Ton | Si | 3.63 |
| | Si la cantidad del Material es >=10 Ton hasta 1000 Ton | No | 0.00 |
| | Si la cantidad del Material es >=1000 Ton hasta 100000 Ton | No | 0.00 |
| Q= | 3.63 | | |

***Figura 5.9 Factor Riesgos Cantidad de Material “Q” para sección Edificio S.E.***

El resultado del factor corresponde a un valor de 3.63 según la lectura de la gráfica correspondiente o la ecuación correspondiente a la cantidad de material.

El siguiente punto es el 4.3.10 correspondiente al Factor de Riesgo por Distribución de la Unidad "L", los datos necesarios para esta información se obtienen de la figura 5.1 y de la hoja de especificación de la subestación blindad aislada de Gas SF6 instalada en el sitio.

Los datos necesarios son la altura de la subestación 5m y corresponde al factor "H" y el área de trabajo que corresponde a un área de 109.2m$^2$, que corresponde al factor "N", también es necesaria información de la especificación CFE VY200-40, acerca de la existencia de áreas subterráneas en la unidad, los cambios de aire. El resultado del cálculo del factor "L" se encuentra en la figura 5.10.

| 12. Riesgos por Distribución de la Unidad "L" | | | |
|---|---|---|---|
| a) Altura (H) | | 5 | m |
| b) Área de trabajo (N) | | 109.2 | m² |
| | | SI/No | Factor |
| c) Diseño de la estructura | 1. Estructuras abiertas con mas de 5 Ton de material inflamable con elevación superior a 7 metros | No | 50 |
| | 2. Estructuras abiertas de proceso con mas de 7 metros de altura y material inflamable entre 1 y 5 Ton a 7 metros de altura | No | 30 |
| | altura de más de 7 metros que contengan 1 Ton o más de material inflamable | No | 15 |
| | altura y contenido de más de 5 Ton de material inflamable con una elevación de 3 metros | No | 25 |
| | 5. Plantas dentro de edificios con una ventilación menor a 6 cambios de aire por hora y contenido de más de 5Tons de material inflamable | No | 100 |
| | 6. Plantas dentro de edificios con una ventilación de 25 cambios de aire por hora y contenido de más de 5 Ton de material inflamable | No | 20 |
| | 7. Casas de compresores | No | 200 |
| d) Efecto Domino | 1. Altura entre 20 y 30 metros | No | 20 |
| | 2. Altura entre 30 y 40 metros | No | 40 |
| | 3. Altura entre 40 y 60 metros | No | 150 |
| | 4. Si la altura es entre 3 y 5 veces la dimensión (largo o ancho) del área de trabajo | No | 25 |
| | 5. Si la altura es entre 5 y 8 veces la dimensión (largo o ancho) del área de trabajo | No | 50 |
| | 6. Si la altura es entre 8 y 12 la dimensión (largo o ancho) del área de trabajo | No | 100 |
| | 7. Si la altura es más de 12 veces la dimensión (largo o ancho) del área de trabajo | No | 0.4579 |
| e) Área subterránea | 1. Si la estructura posee áreas subterráneas | Si | 150 |
| | 2. Tanques enterrados (0-50) | No | |
| f) Drenaje Superficial | 1. Si el drenaje permite un charco de 50mm de profundidad | No | 100 |
| g) Otros aspectos | 1. Si la unidad de proceso excede 400m² | No | 75 |
| L= | 150 | | |

***Figura 5.10 Factor Distribución de la Unidad "L" para sección Edificio S.E.***

El valor correspondiente al factor “L” es de 150, y es totalmente proporcionado debido a la existencia de un área subterránea en la unidad, por la cual se transportan los cables necesarios para el funcionamiento del equipo.

El siguiente punto en la metodología es el 4.3.11 que corresponde al cálculo del Factor por Toxicidad “T”, para este punto se necesitan los valores STEL y TLV del material clave, los cuales se encuentran en la hoja de especificación del material, ubicada en el Anexo “B”, también se necesitan las características físicas del compuesto como color y aroma en su forma tóxica. El resultado del factor “T” se encuentra en la figura 5.11

| 13. Riesgo por Toxicidad "T" | | | Factor |
|---|---|---|---|
| a) Identificar el Material más peligroso en la sección o unidad | 1. TLV ppm | 1000 | 30 |
| | | SI/No | Factor |
| | TLV de 0.001 ppm o menos | No | 300 |
| | TLV> 0.001 ppm hasta 0.01 ppm | No | 200 |
| | TLV> 0.01 ppm hasta 0.1 ppm | No | 150 |
| | TLV> 0.1 ppm hasta 1 ppm | No | 100 |
| | TLV> 1 ppm hasta 10 ppm | No | 75 |
| | TLV> 10 ppm hasta 100 ppm | No | 50 |
| | TLV> 100 ppm hasta 1000 ppm | Si | 30 |
| | TLV> 1000 ppm hasta 1% | No | 10 |
| | TLV> 1% | No | 0 |
| b) Forma del Material | 1. Sí durante el proceso en condiciones normales se presenta como un líquido o gas | Si | 50 |
| | 2. Sí el material se almacena bajo condiciones criogénicas | No | 75 |
| | 3. Si el material se presenta en el proceso como partículas sólidas | No | 200 |
| | 4. Sí el material se almacena bajo condiciones gaseosas con una densidad relativa de 1.3 con relación al aire. | Si | 25 |
| | 5. Si el material no tiene olor y no se puede ver en su nivel tóxico | Si | 200 |
| c) Riesgo por Exposición Corta | 1. STEL ppm | 1250 | |
| | Factor de excursión | 1.25 | |
| | Factor de excursión 1.25 | Si | 150 |
| | Factor de excursión > 1.25 y hasta 2 | No | 100 |
| | Factor de excursión > 2 y hasta 5 | No | 50 |
| | Factor de excursión > 5 y hasta 15 | No | 20 |
| | Factor de excursión > 15 y hasta 100 | No | 0 |
| | Factor de excursión > 100 | No | -100 |
| d) Absorción por la piel | 1. Si el material se puede absorber por la piel | No | 70 |
| e) Factores físicos | 1. Si en el lugar de trabajo la temperatura es superior a 32°C | No | 20 |
| | 2. Si existen partículas molestas | No | 10 |
| T= | 455 | | |

***Figura 5.11 Factor Toxicidad “T” para sección Edificio S.E.***

El resultado del cálculo del factor “T” tiene un valor de 455, que corresponde a que el $SF_6$ en el proceso se encuentra como un gas, no tiene olor y no es posible verlo en su nivel tóxico, además en el proceso el gas se almacena como gas con una densidad relativa superior a 1.3 con el aire, así mismo por los valores de TLV y STEL que posee el $SF_6$.

El siguiente paso en la metodología corresponde al cálculo de los distintos índices del análisis de riesgo.

El primero de ellos es el que corresponde al punto 4.3.12 correspondiente al Índice General de Riesgo “D”, se calcula con la ecuación 4.9.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 0.55 que de acuerdo a la tabla 3.43 corresponde a un riesgo de categoría “Suave”, esto se debe principalmente a que el índice “D”, esta afectado principalmente por el factor material y en el caso del $SF_6$ el valor es muy pequeño debido a que es un material no flamable, la categoría de “Suave” es la más baja en las categorías del índice, indicando un daño muy suave en la unidad.

Así mismo el segundo factor más representativo es el de riesgo especial del material “M” y el $SF_6$ no presenta ningún riesgo especial por sus características naturales.

Otros factores que afectan dicho índice son el de Riesgos Especiales del Proceso, Cantidad de Material, y Distribución de la unidad, tampoco aportan un valor significativo al índice. Finalmente el índice de Toxicidad que aporta el mayor valor a dicho índice no es tan significativo en el mismo.

El segundo índice corresponde al punto 4.3.13 y es el Índice de Carga de Combustible “F”, se calcula como indica la ecuación 4.10.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 7.67 que de acuerdo la tabla 3.44, corresponde a una categoría “Ligero”, en el que en caso de un incendio se puede esperar un fuego con duración de un cuarto de hora a hora y media, siendo la categoría “Ligero” la categoría más baja del índice.

El valor de este índice resulta bajo debido a que tanto el factor material “B” y la cantidad de material “k” son muy pequeños en comparación del área de trabajo “N”.

El tercer índice corresponde al punto 4.3.14 y es el Índice Unitario de Toxicidad “U”, se calcula como indica la ecuación 4.11.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 7.01 que de acuerdo a la tabla 3.47 corresponde a una categoría de riesgo “Alto”, esto es principalmente a las características tóxicas del gas SF6, y las condiciones en las que se encuentra en la unidad no permiten su detección

haciendo la unidad tóxica en caso de un accidente, siendo la categoría “Alto” la segunda más grave del índice.

El cuarto índice corresponde al punto 4.3.15 y es el Índice de Máximo Incidente Tóxico “C”, se calcula como indica la ecuación 4.12.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 25.45 que de acuerdo a la tabla 3.48 corresponde a una categoría de riesgo “Bajo”, esto se debe a que el índice es resultado del índice unitario de toxicidad “U” y el factor de cantidad de material “Q”, siendo el valor de Q pequeño, el máximo incidente tóxico que puede esperarse en caso de un percance se denomina como “Bajo” siendo este la segunda menor categoría en el índice.

El quinto índice corresponde al punto 4.3.16 y es el Índice de Explosión Interna de Unidad “E”, se calcula como indica la ecuación 4.13.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 3.45 que de acuerdo a la tabla 3.45 corresponde a una categoría de riesgo “Moderado”, esto se debe principalmente a que los factores de riesgo especial de Proceso “S” y riesgos generales de Proceso “P”, por las características del proceso que se lleva acabo en la unidad, la categoría de “Moderado” se encuentra al mitad del índice lo que significa que el proceso es moderadamente peligroso en caso de una explosión interna en la unidad.

El sexto índice corresponde al punto 4.3.17 y es el Índice de Explosión Aérea “A”, se calcula como indica la ecuación 4.14.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 0.4 que de acuerdo a la tabla 3.46 corresponde a una categoría de riesgo “Ligero”, esto es principalmente a que factores por los cuales se compone dicho índice son los de menor valor en el análisis de riesgos. La categoría de “Ligero” es la más baja del índice lo que indica que ante una explosión no se liberaría mucho material de forma aérea.

El séptimo índice corresponde al punto 4.3.18 y es el Índice de Riesgo General Mond “R”, se calcula como indica la ecuación 4.15.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 0.70 que de acuerdo a la tabla 3.49 corresponde a una categoría de riesgo “Suave”, siendo esta la categoría más baja del índice, lo que indica que en general la unidad representa un riesgo mínimo en caso de un accidente.

Después del calculo de los índices es necesario determinar las disminuciones en los mismos dependiendo de las diversas características que existen para la diminución de riesgos. Como indican los puntos 4.3.19, 4.3.20, 4.3.21,4.3.22, 4.3.23, 4.3.24.

El primer factor de contención que corresponde al punto 4.3.19, correspondiente a la Prevención de Riesgos en Almacenamiento "$K_1$", la información necesaria para el cálculo de dicho factor se encuentra en la especificación CFE VY200-40. El resultado de este factor se encuentra en la figura 5.12.

| 14. Factores de Contención K1 | | |
|---|---|---|
| | Si/No | Factor |
| a) Recipientes a presión; que cumplen con normas nacionales o internacionales | Si | 0.9 |
| b)Tanques de almacenamiento atmosférico verticales que cumplen normas nacionales o internacionales | No | 1 |
| c) Tuberías diseñadas bajo estándares ANSI | Si | 0.9 |
| d) Tuberías sobreespecificadas para el proceso utilizado | Si | 0.8 |
| e)Sí las tuberías se encuentran más de dos veces sobreespecificadas que las del proceso original | SI | 0.7 |
| f) Sí las tuberías se encuentran más de tres veces sobreespecificadas que las del proceso original | No | 1 |
| g) Sí las tuberías son soldadas y verificadas 100% con radiografía | No | 1 |
| h) Uso de bridas de cuello soldada en lugar de bridas de traslape | No | 1 |
| i) Sí un recipiente de almacenamiento de líquidos inflamables o tóxicos poseen una segunda pared de contención | No | 1 |
| j) Recipientes a presión con segunda pared de contención | Si | 0.5 |
| k) Recipientes transportables de líquidos inflamables o tóxicos con protección contra impacto equivalente a 12mm de espesor | No | 1 |
| l) Tuberías de transporte provistas de cubierta exterior de 6mm | No | 1 |
| m) Sí el área de almacenamiento esta provista de diques | No | 1 |
| n) Sí la base de los diques son de concreto y se encuentran aplanadas para menor superficie de contacto | No | 1 |
| o) Sí existe sistema de detección de fugas y se requiere una investigación posterior antes de iniciar las actividades de paro | No | 1 |
| p) Sí el sistema de detección de fugas permite rápida identificación del punto a aislar | Si | 0.9 |
| q) Sí la detección de fuga permite un paro de planta rápido desde el cuarto de control | Si | 0.85 |
| r) Sí las válvulas de corte pueden operarse remotamente desde el cuarto de control | Si | 0.9 |
| s) sí los equipos que trabajan con líquidos tiene un sistema que envié el líquido en caso de emergencia a un quemador de campo o fosa alejada a 15 metros | No | 1 |
| t) Sí los equipos que trabajan con líquidos tiene un sistema que envié el líquido en caso de emergencia a un quemador de campo o fosa alejada a 15 metros | No | 1 |
| K1= | 0.6885 | |

***Figura 5.12 Factor Prevención de Riesgo en Almacenamiento "$K_1$" para sección Edificio S.E.***

El valor para este factor de 0.6885 que es principalmente producto de las medidas de seguridad que se tienen en el diseño del equipo y área de trabajo en la unidad seleccionada.

El segundo factor de contención corresponde al punto 4.3.20, correspondiente al control del Proceso "$K_2$", la información necesaria para el cálculo de este factor se encuentra en la especificación CFE VY200-40, el resultado del factor se encuentra en la figura 5.13

| 14. Control de Proceso K2 | Si/No | Factor |
|---|---|---|
| a) Sí existe un sistema de alarmas ante las diversas fallas que pueden ocurrir | Si | 0.95 |
| b) Sí el sistema especifica el tipo de Situación peligrosa | No | 1 |
| c) Sí el proceso cuenta con sistema de suministro de energía de emergencia | Si | 0.9 |
| d) Sí los procesos que utilizan refrigeración pueden mantener la refrigeración por espacio de 10 minutos durante una Situación anormal | No | 1 |
| e) Sí se cuentan con sistemas de gas inerte para purgar secciones afectadas | No | 1 |
| f) Sí los equipos con líquidos inflamables cuentan con colchón permanente de gas inerte | No | 1 |
| g) Cuando en el proceso se utilizan Sistemas de Protección Altamente Integrado | No | 1 |
| h) Sistemas de paro activados por la aparición de una condición anormal | Si | 0.85 |
| i) Sistemas de paro individuales de disparo | No | 1 |
| j) Sí los sistemas de paro funcionan por computadora sin que un operador tenga que accionar el paro de planta | Si | 0.85 |
| k) Sí la planta posee sistemas que evitar el flujo incorrecto de material para evitar reacciones indeseables | No | 1 |
| l) Sí se poseen equipos de supresión de explosión en la unidad de proceso | No | 1 |
| m) Sí existe supervisión de planta, normalmente patrullada todas las horas del día y la noche | No | 1 |
| K2= | 0.6177 | |

***Figura 5.13 Factor por Control de Proceso "$K_2$" para sección Edificio S.E.***

Este factor tiene un valor de 0.6177, que corresponde a la forma en que el proceso opera, en su mayor parte gracias a respuestas remotas e inmediatas en el proceso.

El tercer factor de contención corresponde al punto 4.3.21, correspondiente al factor de Actitud con Respecto a la Seguridad "$K_3$", la información necesaria para el cálculo de este factor se encuentran en la especificación CFE VY200-40, en la política de Calidad de C.F.E., el resultado del factor se encuentra en la figura 5.14.

| 15. Actitud con Respecto a la Seguridad K3 | | Si/No | Factor |
|---|---|---|---|
| a) Sí la actitud de la gerencia en cuanto a la seguridad no tiene compromisos entre la presión económica o de producción | | Si | 0.95 |
| b) Sí el personal tiene un entrenamiento de seguridad | | Si | 0.95 |
| c) Sí se efectúa mantenimiento preventivo programado | | Si | 0.97 |
| d) Sí se realizan inspecciones de seguridad y limpieza en la planta | | Si | 0.97 |
| e) Sí se elaboran reportes completos de accidentes, condiciones anormales de proceso y fallas | | Si | 0.95 |
| f) Sí el proceso maneja sólidos inflamables, combustibles o tóxicos y se poseen equipos fijos de limpieza por medio de vacío | | No | 1 |
| K3= | 0.806704138 | | |

***Figura 5.14 Factor por Actitud con Respecto a la Seguridad "$K_3$" para sección Edificio S.E.***

El factor correspondiente es de 0.80 debido a que la forma de trabajar de la C.F.E. esta enfocada a ser una empresa de calidad mundial, y el aspecto de seguridad esta al mismo nivel que la producción.

El cuarto factor de contención corresponde al punto 4.3.22 correspondiente a la Protección Contraincendios "$K_4$", la información necesaria para el cálculo de este factor se encuentra en la Guía CFE H1000-41 "Prevención, control y extinción de incendios en subestaciones eléctricas de distribución", esta información no se encontrara disponible en los Anexos debido a que es información clasificada por la empresa. El resultado de este factor se encuentra en la figura 5.15.

El resultado de dicho factor es de 0.5640, debido a las diversas medidas adoptadas por la CFE para la prevención de incendios, tales como el uso de estructuras resistentes al fuego, cables resistentes al fuego.

| 16. Protección contra Fuego K4 | | |
|---|---|---|
| | Si/No | Factor |
| a) Si las estructuras de soporte cuentan con 1/3 de su altura de material contra fuego para dos horas de duración | No | 1 |
| b) Sí las estructuras de soporte cuenta con 2/3 de su altura de material contra fuego para dos horas de duración | No | 1 |
| c) Sí la estructura posee en su totalidad material contra fuego para dos horas de duración | Si | 0.9 |
| d) Si las estructuras de soporte cuentan con 1/3 de su altura de material contra fuego para cinco horas de duración | No | 1 |
| e) Sí las estructuras de soporte cuenta con 2/3 de su altura de material contra fuego para cinco horas de duración | No | 1 |
| f) Sí la estructura posee en su totalidad material contra fuego para cinco horas de duración | No | 1 |
| g) Sí las paredes entre secciones están diseñadas para una protección contra fuego de 4 horas | No | 1 |
| h) Sí las paredes entre secciones están diseñadas para una protección contra fuego de 2 horas | Si | 0.95 |
| i) Si los recipientes en la sección están provistos de aislamiento de protección contra fuego externo | Si | 0.97 |
| j) Si se posee un sistema fijo de inundación | No | 1 |
| k) Sí todos los cables de instrumentos, líneas de corriente y cables de energía necesarios para mantener las funciones de control de la sección están provistos de protección contra fuego por 3 horas. | Si | 0.85 |
| l) Sí la sección se localiza dentro de paredes contra fuego que permita confinar el fuego dentro de la sección | Si | 0.8 |
| m) Sí se posee el uso de arrestadores de flama | No | 1 |
| K4= | 0.5640 | |

***Figura 5.15 Factor por Protección contraincendios "$K_4$" para sección Edificio S.E.***

El quinto factor de contención es el correspondiente al punto 4.3.23 de aislamiento por corte de material "$K_5$", la información necesaria para el cálculo de este factor se encuentra en la especificación CFE VY200-40, el resultado de este cálculo se encuentra en la figura 5.16.

| 17. Aislamiento de corte de Material K5 | | Si/No | Factor |
|---|---|---|---|
| a) Sí la sección posee válvulas de corte operados a control remoto que permite el aislar rápidamente los tanques de almacenamiento, recipientes de proceso | | Sí | 0.8 |
| b) Sí la unidad cuenta con un tanque para vaciado de emergencia | | No | 1 |
| c) Sí la unidad de proceso cuenta con drenaje superficial, que evite la acumulación del líquido debajo de los equipos | | No | 1 |
| d) Sí el sistema de ventilación puede ser accionado a control remoto | | Si | 0.9 |
| K5= | 0.72 | | |

***Figura 5.16 Factor por Aislamiento de corte de Material "$K_5$" para sección Edificio S.E.***

El resultado de este factor es de 0.72 debido a la forma en que opera el sistema de la unidad.

El sexto y último factor que debe ser calculado corresponde al punto 4.3.24, correspondiente al factor de combate contra incendios, la información necesaria para el cálculo de este factor se encuentra en la guía CFE H1000-41, y el resultado de dicho factor se encuentra en la figura 5.17.

El resultado de dicho factor tiene un valor de 0.855 correspondiente a la existencia de extintores de mano y alarmas de emergencia en la unidad.

Una vez calculados todos los factores es necesario corregir algunos de los índices anteriormente calculados para ver el efecto de las medidas de contención en estos, los índices que se modifican son "F", "E", "A" y "R".

Para calcular el índice "F" corregido se utiliza la ecuación 4.16 del punto 4.3.25, el valor final del Índice "F" es de 2.14, que de acuerdo a la tabla 3.44, es una categoría de riesgo "Ligero", en donde se puede esperar que un fuego arde por espacio de entre un cuarto y media hora.

Para calcular el índice "E" corregido se utiliza la ecuación 4.17 del punto 4.3.26, el valor final del Índice "E" es de 1.727, que de acuerdo a la tabla 3.45, es una categoría de riesgo "Bajo", en dónde la explosión interna representa un riesgo bajo en la unidad.

El calculo del índice "A" corregido se utiliza la ecuación 4.18 del punto 4.3.26, el valor final del Índice "A" es de 0.16 que representa de acuerdo a la tabla 3.46, una categoría de riesgo "Ligero", en dónde el daño por explosión aérea es pequeño.

El cálculo del índice “R” corregido se realiza siguiendo el punto 4.3.27 utilizando la ecuación 4.19 y se obtuvo un valor de 0.089 que de acuerdo a la tabla 3.29 representa una categoría de riesgo “Suave”, dónde la unidad representa un riesgo “Suave” en caso de ocurrir un accidente.

En la figura 5.18 se observa los diferentes Índices calculados para la sección del Edificio S.E. tanto los normales como los corregidos, en ella podemos observar como las medidas de contención disminuyeron a menos de la mitad los índices en dónde se aplicaron, esto demuestra que estas medidas de contención realmente pueden ayudar a disminuir el riesgo de una unidad de proceso.

| 18. Combate de Incendios K6 | Si/No | Factor |
|---|---|---|
| a) Sí existen alarmas de emergencia contraincendio correctamente instaladas | Si | 0.9 |
| b) Sí existen extinguidores de mano apropiados para cualquier tipo de fuego que se pueda presentar en las instalaciones | Si | 0.95 |
| c) Sí poseen suministro de agua adecuado para 4 horas de presión de trabajo a 100-200psig a 4090 $m^3/h$ | No | 1 |
| d) Sí poseen suministro de agua adecuado para 4 horas de presión de trabajo a 100-200psig a 2500 gal/minuto | No | 1 |
| e) Sí el edificio posee protección por rociadores en cada piso | No | 1 |
| f) Sí posee la sección sistema de diluvio con gasto de .20 gal/min $ft^2$ | No | 1 |
| g) Sí posee la sección sistema de diluvio con gasto de .40 gal/min $ft^2$ | No | 1 |
| h) Sí posee la sección sistema de diluvio con gasto de .60 gal/min $ft^2$ | No | 1 |
| i) Sí las instalaciones poseen instalaciones fijas de espuma para 4 horas de combate contraincendio | No | 1 |
| j) Sí se posee una brigada contra incendio, con camión y bien preparada | No | 1 |
| k) Sí se cuenta con químicos especializados para el combate de incendios, siempre listos a ser utilizados | No | 1 |
| l) Sí se poseen ventiladores para humo para evitar afectaciones a otros edificios | No | 1 |
| K6= | 0.8550 | |

***Figura 5.17 Factor por Combate de Incendios “$K_6$” para sección Edificio S.E.***

| Índices sin Corrección por Factores de Seguridad | | |
|---|---|---|
| Índice General de Riesgo | | |
| D1= | 0.554075921 | Suave (1/9) |
| Carga de Combustible | | |
| F1= | 7.678113553 | Ligero (1/8) |
| Índice de Toxicidad | | |
| U1= | 7.016979032 | Alto (4/5) |
| Índice de Incidente mayor de Toxicidad | | |
| C1= | 25.45772524 | Bajo (2/5) |
| Índice de Explosión Interna de Unidad | | |
| E1= | 3.466979032 | Moderado (3/5) |
| Índice de explosión Aérea | | |
| A1= | 0.400453074 | Ligero (1/5) |
| Índice Mond | | |
| R1= | 0.705614446 | Suave (1/8) |

| Índices con Corrección por Factores de Seguridad | | |
|---|---|---|
| Carga de Combustible | | |
| F2= | 2.14653 | Ligero (1/8) |
| Índice de Explosión Interna de Unidad | | |
| E2= | 1.7277 | Bajo (2/5) |
| Índice de Explosión Aérea | | |
| A2= | 0.16973 | Ligero (1/5) |
| Índice Mond | | |
| R2= | 0.08405 | Suave (1/8) |

***Figura 5.18 Índices Normales y Corregidos para sección Edificio S.E.***

*5.2.2.Equipos*

Debido a las limitaciones de información disponible para el público en general las fotos de las placas de información del equipo encontrado, en la cual se contiene el número de equipo y datos generales de proceso, en la sección de Equipos no pueden mostrarse. Así que los datos aquí recabados deben tomarse como ciertos, dichos datos son las condiciones de operación y cantidades de productos químicos, la tabla 5.5 tiene la información de las condiciones de operación de la sección de Equipos. Imágenes de esta sección se encuentran en el Anexo "C" las figuras C.6 y C.7.

***Tabla 5.5 Condiciones de Equipos***

| | |
|---|---|
| Temperatura | 25 °C |
| Presión | atmosférica |

Con la información de la tabla 5.2 se observa que el único compuesto y por lo tanto material clave en la sección de Equipos es el Aceite Dieléctrico de base nafténica, la hoja de seguridad de este compuesto se encuentra en el Anexo "B", de esta hoja se obtiene los valores de Peso Molecular, la identificación según la National Fire Protection Agency (NFPA).

La figura 5.19 contiene el vaciado de datos en la hoja de cálculo, son algunos de los datos necesarios para comenzar el análisis de riesgos.

| | |
|---|---|
| 1. Nombre de Planta | Subestación eléctrica 5 de Mayo |
| 2. Nombre de la Sección analizada | Equipos |
| | |
| 3. Listado del material clave en la sección (más riesgo y en mayor cantidad) | Aceite Dieléctrico "M" (Base aceite nafténico) |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| 4. Selección del material clave en la selección | Otro |
| a) Nombre | Aceite Dieléctrico |
| b) Calor de combustión(cal/g) | 0 |
| c) TLV (ppm) | 500 |
| d)STEL (ppm) | 625 |
| e) Categoría de inflamabilidad en rombo de seguridad | 1 |
| f)Peso Molecular | 310 |
| g)¿Es una mezcla de materiales inflamables con diluyentes? O ¿Es material sólido o polvo combustible? | No |
| h)¿Es un material de composición no especificada? | No |
| 5. Temperatura del Proceso (K) | 298.15 |
| 6. Presión de la Unidad de trabajo psig absolutos | 14.6 |
| 7. Cantidad del material clave seleccionado (toneladas)"k" | 43 |

***Figura 5.19 Datos Generales de la Sección y material clave para sección Equipos.***

El siguiente paso en la metodología es 4.3.5, el calculo del Factor Material “B” que se define conociendo las propiedades del material clave, para la determinación si un material es inflamable o no, se decidió que se utilizará el criterio de la NFPA para inflamabilidad

| 8. Factor Material "B" | | | |
|---|---|---|---|
| a)Materiales Flamables | ΔHc (calor de combustión) | 0 | cal/g |
| | No | 0 | |
| b)Materiales Poco Flamables | ΔHr (Calor equivalente de combustión) | 0 | Kcal/g |
| | M (Peso Molecular) | 310 | |
| | No | 0 | |
| c)Materiales no combustibles | Si | 0.1 | |
| d) Mezcla de Materiales inflamables con diluyentes | No | 0.1 | |
| e)Sólidos y Polvos Combustibles | No | 0.1 | |
| f)Materiales de composición no especificada | P (presión de explosión máxima en psig) | | psig |
| | T (temperatura inicial en K) | | K |
| | No | 0 | |
| B= | 0.10 | | |

***Figura 5.20 Factor Material “B” para sección Equipos.***

En la figura 5.20 se observa un factor “B” de 0.10, el valor es pequeño debido a que la sustancia es considerada como material no combustible.

El siguiente paso es el 4.3.6, calculo del Factor Especial de Material “M”, los datos requeridos para este calculo provienen, de la hoja de especificación del material clave, la figura 5.21, muestra los resultados provenientes del análisis de la hoja de seguridad y la respuesta a las preguntas necesarias.

| 9. Riesgos Especiales del Material "M" | | Si/No | Factor |
|---|---|---|---|
| a) Materiales Oxidantes | | No | 20 |
| b)Materiales que reaccionan con agua para producir gas combustible | | No | 30 |
| c) Características de Mezclado y Dispersión | 1. Gases inflamables de baja densidad | | |
| | 9.c.1.a Hidrogeno | No | -60 |
| | 9.c.1.b Metano y Amoniaco | No | -20 |
| | 2. Gases licuados inflamables | No | 30 |
| | 3. Líquidos criogénicos inflamables | No | 60 |
| | 4. Materiales viscosos | No | -20 |
| | m= | | 0 |
| d) Sujetos a calentamiento espontáneo | 1. Durante almacenamiento | No | 30 |
| | 2. Sólidos pirofóricos | No | 50 |
| | 3. Líquidos pirofóricos | No | 100 |
| e) Polimerización espontánea | | No | 75 |
| f) Descomposición explosiva | | No | 125 |
| g) Sujeto a detonación gaseosa | | No | 150 |
| h)Propiedades explosivas de la fase condensada | | No | 200 |
| M= | 0 | | |

***Figura 5.21 Factor Especial de Material “M” para sección Equipos.***

El factor “M” tiene un valor de 0, esto se debe a que la sustancia no presenta ninguna de las características necesarias para que se le considere que posee riesgos especiales del material. Dentro de este cálculo también se obtiene el valor del factor “m” correspondientes a las características de mezclado, también posee un valor de 0.

El siguiente paso es el 4.3.7 correspondiente al calculo del factor correspondiente a los Riesgos Generales de Proceso “P”, para el llenado de esta sección es necesario conocer el funcionamiento del equipo para esta sección son los transformadores para Media Tensión, los datos del funcionamiento de dicho equipo se encuentran en la hoja de especificación de la C.F.E. con número NRF-027-CFE-2004, “Transformadores de Corriente para sistemas con Tensiones Nominales de 0.6 kV a 400kV”, esta información no se encuentra en los anexos debido a que es información clasificada de la compañía. El llenado de esta sección se encuentra en la figura 5.22.

| 10. Riesgos Generales de Proceso "P" | | Si/No | Factor |
|---|---|---|---|
| a) Manejo y cambio físico | 1. Materiales inflamables con separación de dique | No | 10 |
| | 2. Materiales almacenados calientes | No | 10 |
| | 3. Operaciones de proceso en sistemas cerrados | Si | 10 |
| | 4. Operación de centrifugado | No | 30 |
| b) Reacciones simples continuas | 1. Reacciones endotérmicas y exotérmicas que el solvente absorbe todo el calor | No | 25 |
| | 2. Reacciones exotérmicas | No | 50 |
| | 3. Proceso de materiales sólidos | No | 50 |
| c) Reacciones batch simples | operación <1 hora sumar 60 al inciso b correspondiente | | |
| | operación >1 hora sumar 10 al inciso b correspondiente | | |
| d) Multiplicidad de reacciones o diferentes operaciones | 1. Si existe contaminación por uso de reactor para otro producto | No | 50 |
| | 2. Alteración del tiempo que cause desorden en la reacción | No | 75 |
| e) Transferencia de Materiales | 1. Tubería permanentemente instalada | Si | 0 |
| | 2. Tubería flexible | No | 25 |
| | 3. Operaciones a través de compuertas o tapas | No | 50 |
| | 4. Uso de venteo simultaneo y gas inerte | No | 50 |
| f) Recipientes transportables | 1. Tambores llenos en piso | No | 25 |
| | 2. Tambores llenos en vehículos | No | 40 |
| | 3. Tambores vacíos | No | 10 |
| | 4. Pipas o tráileres | No | 100 |
| | 5. Carros Tanques | No | 75 |
| P= | 10 | | |

***Figura 5.22 Factor Riesgos Generales de Proceso “P” para sección Equipos.***

El resultado del factor “P” es de un valor de 10, el valor corresponde a que dentro de la unidad se tiene un proceso cerrado, existe tubería permanente instalada en la unidad.

El siguiente paso es el 4.3.8 correspondiente al cálculo del Factor de Riesgos Especiales de Proceso “S”, los datos necesarios para llenar y calcular dicho factor se encuentran en la especificación NRF-027-CFE-2004y en las especificaciones del equipo en la unidad analizada. El resultado de dicha información se encuentra en la figura 5.23, 5.24 y 5.25.

| 11. Riesgos Especiales de Proceso "S" | | SI/No | Factor |
|---|---|---|---|
| a) Baja Presión | 1. Si el aire o contaminantes que entren al sistema provoquen una reacción | No | 50 |
| | 2. Procesos entre 0.5 y .35 psig o un diferencial de 600mmHg | No | 100 |
| | 3. Diferencial superior a 600mmHg | Si | 75 |
| b) Alta presión | 1. Presión entre 0 y 900 psig manométricos Usar Figs. 1a, 1b, 1c. del Anexo Gráficas de Presión | No | 0.00 |
| | 2. Presión entre 1000 y 10000 psig manométricos Usar Fig. 2 del Anexo Gráficas de Presión | No | 44.63 |
| | 3. Presión arriba de 10000psig | No | 200 |
| c) Baja temperatura | 1.Equipos de acero al carbón con temperaturas de operación de 10 a -10°C | No | 15 |
| | 2. Equipos de acero al carbón a temperaturas normales de -10 a -25°C | No | 30 |
| | 3. Equipos de acero al carbón a temperaturas menores a -25°C | No | 100 |
| | 4. Aceros especiales o aleaciones seleccionar según un especialista un factor entre 30 y 100 | No | |
| d) Alta temperatura | 1. Cuando un liquido o sólido inflamable este por arriba de su temperatura de Flash Point de copa cerrada | No | 20 |
| | 2. Cuando un liquido o sólido inflamable este por arriba de su temperatura de Flash Point de copa abierta | No | 25 |
| | 3. Si el material esta a temperatura superior a su punto de ebullición a 760mmHg | No | 25 |
| | 4. Si el material esta a temperatura normal pero en fase líquida | No | 10 |
| | 5. Si el material se maneja a temperatura superior a la de autoignición | No | 35 |
| | 6. Si el material de los equipos utilizados se operan bajo condiciones de esfuerzo longitudinal o progresivo | No | 25 |

***Figura 5.23 Factor Riesgos Especiales de Proceso “S” para sección Equipos.***

| 11. Riesgos Especiales de Proceso "S" | | SI/No | Factor |
|---|---|---|---|
| e) Riesgos de corrosión y erosión | 1. Velocidad de corrosión menor a 0.1 mm/año | No | 0 |
| | 2. Velocidad de corrosión menor a 0.5 mm/año | No | 10 |
| | 3. Velocidad de corrosión cercana a 1 mm/año | No | 20 |
| | 4. Velocidad de corrosión mayor a 1mm/año sin efectos de erosión | No | 50 |
| | 5. Velocidad de corrosión mayor a 1mm/año con efectos de erosión | No | 100 |
| | 6. Alto riesgo de tensión y agrietamiento | No | 150 |
| f) Riesgos de juntas y empaques | 1.Construcción soldada y uniones bridadas diseñada para no causar problemas de sellos | Si | 0 |
| | 2. Uniones bridadas que pueden tener fugas menores | No | 30 |
| | 3. Sellos en bombas | No | 20 |
| | 4. Problemas mayores de sellos en el proceso | No | 60 |
| g) Riesgos de vibración y de fatiga por carga cíclica y fallas en los cimientos y ganchos de soporte | 1. Riesgo de fatiga general | Si | 50 |
| | 2. Operaciones de llenado de pipas, carros tanque | No | 30 |
| | 3. Recipientes sobre celdas de carga | No | 50 |
| h) Procesos o reacciones difíciles de controlar | 1. Reacciones en un rango de 20°C del limite especificado por la seguridad de dicho proceso | No | 100 |
| | 2. Para otros efectos de difícil control debe utilizarse un factor entre 100 a 300 | No | |
| i) Operación cerca del rango flamable | 1. Almacenamiento de líquidos inflamables sin venteo atmosférico | No | 25 |
| | 2. Tambores vacíos que hayan contenido material inflamable y no hayan sido descontaminados correctamente | No | 150 |
| | 3. Cuando se hayan almacenado líquidos inflamables, y el vapor este en condiciones normales, pero pueden entrar en rango inflamable en operaciones de llenado o vaciado | No | 50 |
| | 4. Reacciones que se lleven a cabo cerca del rango inflamable y se confié en la instrumentación para permanecer fuera de los límites de inflamabilidad | No | 100 |
| | 5. Operaciones dentro del rango inflamable | No | 150 |

***Figura 5.24 Factor Riesgos Especiales de Proceso "S" para sección Equipos. (Continuación)***

| 11. Riesgos Especiales de Proceso "S" | | SI/No | Factor |
|---|---|---|---|
| j) Riesgo de explosión mayor que el promedio | 1. Líquidos o gases inflamables a temperaturas y presiones tales que una descarga resulte en rápida vaporización y formación probable de concentración inflamable | No | 40 |
| | 2. Procesos con riesgo de explosión de vapor | No | 60 |
| | 3. Procesos susceptibles de acumular contaminantes que pueden causar explosión | No | 100 |
| | 4. Sospecha de que la escalación pueda afectar reactividad | No | 60 |
| | 5. Donde productos corrosivos puedan acumularse u afectar la estabilidad de los materiales | No | 60 |
| | 6. Almacenamiento de gases licuados inflamables usando refrigeración | No | 80 |
| k) Riesgo de Explosión por polvo o neblina | 1. Riesgo por explosión por polvo o neblina debido a la ruptura o mal funcionamiento de un equipo | Si | 30 |
| | 2. Operación de líquidos que sea susceptible de ignición y formación de neblina dentro del equipo | No | 50 |
| | 3. Procesos en los que la formación de polvo o neblina casi siempre esta presente seleccionar entre 50 a 70 | No | |
| l) Procesos que usan oxidantes muy fuertes | 1. Uso de oxígeno como oxidante | No | 300 |
| | 2. Uso de aire enriquecido por oxígeno | No | 0 |
| | Porcentaje de aire enriquecido | 21 % | |
| | 3. Cloro sin dilución | No | 125 |
| | 4. Cloro diluido | No | 0 |
| | Porcentaje de Cloro en base libre de combustible | 39 % | |
| | 5. Uso de $N_2O$ o $NO_2$ | No | 300 |
| | 6. Dilución de $N_2O$ o $NO_2$ | No | 0 |
| | Porcentaje de $N_2O$ o $NO_2$ en base libre de combustible | 21 % | |
| | 7. Óxido nítrico sin dilución como | No | 230 |
| | 8. Óxido nítrico diluido | No | 0 |
| | Porcentaje de óxido nítrico en base libre de combustible | 26 % | |
| m) Sensibilidad a la ignición del proceso | 1. Si $O_2$ concentrado, $N_2O$ o NO como oxidante | No | 50 |
| | 2. $Cl_2$ o $NO_2$ como oxidante | No | 75 |
| | 3. Si el proceso produce materiales pirofóricos | No | 25 |
| n) Riesgos electrostáticos | 1. SI existe riesgo de descarga electrostática escoger un factor entre 25 y 75 | SI | 75 |
| S= | 230.00 | | |

*Figura 5.25 Factor Riesgos Especiales de Proceso "S" para sección Equipos. (Continuación)*

El resultado del Factor “S” es de 230 resultante de los riesgos existentes en el proceso, ya el cual pueden existir fallas de fuga del material en caso de un accidentes y el peso del mismo equipo puede causar fatiga en la estructura, y al ser un equipo que funciona en un ambiente de alto voltaje y alta tensión el riesgo por descarga electrostática es el más alto.

El siguiente paso es 4.3.9 correspondiente al cálculo del Factor Cantidad de Material en el Proceso, este valor se obtiene de la misma forma en la que fue obtenido en la sección de Edificio S.E. y la cantidad de material clave presente en la unidad que representa el factor “k”. El resultado de paso 4.3.9 se encuentra en la figura 5.26.

| 10. Riesgos por Cantidad de Material Total "Q" | | | |
|---|---|---|---|
| a) Cantidad de material (Toneladas) "k" | Si la cantidad del Material es >=0.1 Ton hasta 10 Ton | No | 0.00 |
| | Si la cantidad del Material es >=10 Ton hasta 1000 Ton | Si | 64.35 |
| | Si la cantidad del Material es >=1000 Ton hasta 100000 Ton | No | 0.00 |
| Q= | 64.35 | | |

***Figura 5.26 Factor Riesgos Cantidad de Material “Q” para sección Equipos.***

El resultado del factor corresponde a un valor de 64.35 según la lectura de la gráfica correspondiente o la ecuación correspondiente a la cantidad de material.

El siguiente punto es el 4.3.10 correspondiente al Factor de Riesgo por Distribución de la Unidad “L”, los datos necesarios para esta información se obtienen de la figura 5.1 y de la hoja de especificación de los Transformadores de Corriente instalada en el sitio.

Los datos necesarios son la altura de ambos transformadores es de 5m y corresponde al factor “H” y el área de trabajo que corresponde a un área de 108.76m$^2$, que corresponde al factor “N”, también es necesaria información de la especificación NRF-027-CFE-2004, por la existencia de áreas subterráneas en la unidad.

El resultado del cálculo del factor “L” se encuentra en la figura 5.27.

| 12. Riesgos por Distribución de la Unidad "L" | | | |
|---|---|---|---|
| a) Altura (H) | | 5.8 | m |
| b) Área de trabajo (N) | | 108.76 | m² |
| | | Si/No | Factor |
| c) Diseño de la estructura | 1. Estructuras abiertas con mas de 5 Ton de material inflamable con elevación superior a 7 metros | No | 50 |
| | 2. Estructuras abiertas de proceso con mas de 7 metros de altura y material inflamable entre 1 y 5 Ton a 7 metros de altura | No | 30 |
| | altura de más de 7 metros que contengan 1 Ton o más de material inflamable | No | 15 |
| | altura y contenido de más de 5 Ton de material inflamable con una elevación de 3 metros | No | 25 |
| | 5. Plantas dentro de edificios con una ventilación menor a 6 cambios de aire por hora y contenido de más de 5Tons de material inflamable | No | 100 |
| | 6. Plantas dentro de edificios con una ventilación de 25 cambios de aire por hora y contenido de más de 5 Ton de material inflamable | No | 20 |
| | 7. Casas de compresores | No | 200 |
| d) Efecto Domino | 1. Altura entre 20 y 30 metros | No | 20 |
| | 2. Altura entre 30 y 40 metros | No | 40 |
| | 3. Altura entre 40 y 60 metros | No | 150 |
| | 4. Si la altura es entre 3 y 5 veces la dimensión (largo o ancho) del área de trabajo | No | 25 |
| | 5. Si la altura es entre 5 y 8 veces la dimensión (largo o ancho) del área de trabajo | No | 50 |
| | 6. Si la altura es entre 8 y 12 la dimensión (largo o ancho) del área de trabajo | No | 100 |
| | 7. Si la altura es más de 12 veces la dimensión (largo o ancho) del área de trabajo | No | 0.5333 |
| e) Área subterránea | 1. Si la estructura posee áreas subterráneas | Si | 150 |
| | 2. Tanques enterrados (0-50) | No | |
| f) Drenaje Superficial | 1. Si el drenaje permite un charco de 50mm de profundidad | No | 100 |
| g) Otros aspectos | 1. Si la unidad de proceso excede 400m² | No | 75 |
| L= | 150 | | |

***Figura 5.27 Factor Distribución de la Unidad "L" para sección Equipos.***

El valor correspondiente al factor “L” es de 150, y es totalmente proporcionado debido a la existencia de un área subterránea en la unidad, por la cual se transportan los cables necesarios para el funcionamiento del equipo.

El siguiente punto en la metodología es el 4.3.11 que corresponde al cálculo del Factor por Toxicidad “T”, para este punto se necesitan los valores STEL y TLV del material clave, los cuales se encuentran en la hoja de especificación del material, ubicada en el Anexo B, también se necesitan las características físicas del compuesto como color y aroma en su forma tóxica. El resultado del factor “T” se encuentra en la figura 5.28

| 13. Riesgo por Toxicidad "T" | | | Factor |
|---|---|---|---|
| | 1. TLV ppm | 500 | 30 |
| | | SI/No | Factor |
| a) Identificar el Material más peligroso en la sección o unidad | TLV de 0.001 ppm o menos | No | 300 |
| | TLV> 0.001 ppm hasta 0.01 ppm | No | 200 |
| | TLV> 0.01 ppm hasta 0.1 ppm | No | 150 |
| | TLV> 0.1 ppm hasta 1 ppm | No | 100 |
| | TLV> 1 ppm hasta 10 ppm | No | 75 |
| | TLV> 10 ppm hasta 100 ppm | No | 50 |
| | TLV> 100 ppm hasta 1000 ppm | Si | 30 |
| | TLV> 1000 ppm hasta 1% | No | 10 |
| | TLV> 1% | No | 0 |
| b) Forma del Material | 1. Sí durante el proceso en condiciones normales se presenta como un líquido o gas | Si | 50 |
| | 2. Sí el material se almacena bajo condiciones criogénicas | No | 75 |
| | 3. Si el material se presenta en el proceso como partículas sólidas | No | 200 |
| | 4. Sí el material se almacena bajo condiciones gaseosas con una densidad relativa de 1.3 con relación al aire. | No | 25 |
| | 5. Si el material no tiene olor y no se puede ver en su nivel tóxico | No | 200 |
| c) Riesgo por Exposición Corta | 1. STEL ppm | 625 | |
| | Factor de excursión | 1.25 | |
| | Factor de excursión 1.25 | Si | 150 |
| | Factor de excursión > 1.25 y hasta 2 | No | 100 |
| | Factor de excursión > 2 y hasta 5 | No | 50 |
| | Factor de excursión > 5 y hasta 15 | No | 20 |
| | Factor de excursión > 15 y hasta 100 | No | 0 |
| | Factor de excursión > 100 | No | -100 |
| d) Absorción por la piel | 1. Si el material se puede absorber por la piel | Si | 70 |
| e) Factores físicos | 1. Si en el lugar de trabajo la temperatura es superior a 32°C | No | 20 |
| | 2. Si existen partículas molestas | No | 10 |
| T= | 300 | | |

***Figura 5.28 Factor Toxicidad “T” para sección Equipos***

El resultado del cálculo del factor “T” tiene un valor de 300, que corresponde a que el Aceite Dieléctrico en el proceso se encuentra como líquido, se puede absorber por la piel, así mismo por los valores de TLV y STEL que posee el aceite dieléctrico.

El siguiente paso en la metodología corresponde al cálculo de los distintos índices del análisis de riesgo.

El primero de ellos es el que corresponde al punto 4.3.12 correspondiente al Índice General de Riesgo “D”, se calcula con la ecuación 4.9.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 0.61 que de acuerdo a la tabla 3.43 corresponde a un riesgo de categoría “Suave”, esto se debe principalmente a que el índice “D”, esta afectado principalmente por el factor material y en el caso del aceite dieléctrico el valor es muy pequeño debido a que es un material no flamable, la categoría de “Suave” es la más baja en las categorías del índice, indicando un daño muy suave en la unidad.

Así mismo el segundo factor más representativo es el de riesgo especial del material “M” y el aceite dieléctrico no presenta ningún riesgo especial por sus características naturales.

Otros factores que afectan dicho índice son el de Riesgos Especiales del Proceso, Cantidad de Material, y Distribución de la unidad, tampoco aportan un valor significativo al índice. Finalmente el índice de Toxicidad que aporta el mayor valor a dicho índice no es tan significativo en el mismo.

El segundo índice corresponde al punto 4.3.13 y es el Índice de Carga de Combustible “F”, se calcula como indica la ecuación 4.10.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 810.5 que de acuerdo la tabla 3.44, corresponde a una categoría “Ligero”, en el que en caso de un incendio se puede esperar un fuego con duración de un cuarto de hora a hora y media, siendo la categoría “Ligero” la categoría más baja del índice.

El valor de este índice resulta bajo debido a que tanto el factor material “B” es muy pequeño en comparación del área de trabajo “N”.

El tercer índice corresponde al punto 4.3.14 y es el Índice Unitario de Toxicidad “U”, se calcula como indica la ecuación 4.11.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 5.4 que de acuerdo a la tabla 3.47 corresponde a una categoría de riesgo “Moderado”, esto es principalmente a las características tóxicas del aceite dieléctrico, y las condiciones en las que se encuentra en la unidad permiten

su detección haciendo la unidad tóxica pero con información a quien resuelve el problema de la presencia de la sustancia química.

El cuarto índice corresponde al punto 4.3.15 y es el Índice de Máximo Incidente Tóxico "C", se calcula como indica la ecuación 4.12.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 347.49 que de acuerdo a la tabla 3.48 corresponde a una categoría de riesgo "Alto", esto se debe a que el índice es resultado del índice unitario de toxicidad "U" y el factor de cantidad de material "Q", siendo el valor de Q bastante grande, el máximo incidente tóxico que puede esperarse en caso de un percance se denomina como "Moderado" siendo este la categoría intermedia del índice.

El quinto índice corresponde al punto 4.3.16 y es el Índice de Explosión Interna de Unidad "E", se calcula como indica la ecuación 4.13.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 3.4 que de acuerdo a la tabla 3.45 corresponde a una categoría de riesgo "Moderado", esto se debe principalmente a que los factores de riesgo especial de Proceso "S" y riesgos generales de Proceso "P", por las características del proceso que se lleva acabo en la unidad, la categoría de "Moderado" se encuentra al mitad del índice lo que significa que el proceso es moderadamente peligroso en caso de una explosión interna en la unidad.

El sexto índice corresponde al punto 4.3.17 y es el Índice de Explosión Aérea "A", se calcula como indica la ecuación 4.14.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 1.38 que de acuerdo a la tabla 3.46 corresponde a una categoría de riesgo "Ligero", esto es principalmente a que factores por los cuales se compone dicho índice son los de menor valor en el análisis de riesgos. La categoría de "Ligero" es la más baja del índice lo que indica que ante una explosión no se liberaría mucho material de forma aérea.

El séptimo índice corresponde al punto 4.3.18 y es el Índice de Riesgo General Mond "R", se calcula como indica la ecuación 4.15.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 3.43 que de acuerdo a la tabla 3.49 corresponde a una categoría de riesgo "Suave", siendo esta la categoría más baja del índice, lo que indica que en general la unidad representa un riesgo mínimo en caso de un accidente.

Después del calculo de los índices es necesario determinar las disminuciones en los mismos dependiendo de las diversas características que existen para la diminución de riesgos. Como indican los puntos 4.3.19, 4.3.20, 4.3.21,4.3.22, 4.3.23, 4.3.24.

El primer factor de contención que corresponde al punto 4.3.19, correspondiente a la Prevención de Riesgos en Almacenamiento "$K_1$", la información necesaria para el cálculo de dicho factor se encuentra en la especificación NRF-027-CFE-2004. El resultado de este factor se encuentra en la figura 5.29.

| 14. Factores de Contención K1 | | |
|---|---|---|
| | Si/No | Factor |
| a) Recipientes a presión; que cumplen con normas nacionales o internacionales | No | 1 |
| b)Tanques de almacenamiento atmosférico verticales que cumplen normas nacionales o internacionales | No | 1 |
| c) Tuberías diseñadas bajo estándares ANSI | No | 1 |
| d) Tuberías sobreespecificadas para el proceso utilizado | No | 1 |
| e)Sí las tuberías se encuentran más de dos veces sobreespecificadas que las del proceso original | No | 1 |
| f) Sí las tuberías se encuentran más de tres veces sobreespecificadas que las del proceso original | No | 1 |
| g) Sí las tuberías son soldadas y verificadas 100% con radiografía | No | 1 |
| h) Uso de bridas de cuello soldada en lugar de bridas de traslape | No | 1 |
| i) Sí un recipiente de almacenamiento de líquidos inflamables o tóxicos poseen una segunda pared de contención | No | 1 |
| j) Recipientes a presión con segunda pared de contención | No | 1 |
| k) Recipientes transportables de líquidos inflamables o tóxicos con protección contra impacto equivalente a 12mm de espesor | No | 1 |
| l) Tuberías de transporte provistas de cubierta exterior de 6mm | No | 1 |
| m) Sí el área de almacenamiento esta provista de diques | No | 1 |
| n) Sí la base de los diques son de concreto y se encuentran aplanadas para menor superficie de contacto | No | 1 |
| o) Sí existe sistema de detección de fugas y se requiere una investigación posterior antes de iniciar las actividades de paro | Si | 0.95 |
| p) Sí el sistema de detección de fugas permite rápida identificación del punto a aislar | No | 1 |
| q) Sí la detección de fuga permite un paro de planta rápido desde el cuarto de control | No | 1 |
| r) Sí las válvulas de corte pueden operarse remotamente desde el cuarto de control | No | 1 |
| s) sí los equipos que trabajan con líquidos tiene un sistema que envié el líquido en caso de emergencia a un quemador de campo o fosa alejada a 15 metros | No | 1 |
| t) Sí los equipos que trabajan con líquidos tiene un sistema que envié el líquido en caso de emergencia a un quemador de campo o fosa alejada a 15 metros | No | 1 |
| K1= | 0.9500 | |

***Figura 5.29 Factor Prevención de Riesgo en Almacenamiento "$K_1$" para sección Equipos.***

El valor para este factor de 0.95 que es principalmente producto de las medidas de seguridad que se tienen en el diseño del equipo y área de trabajo en la unidad seleccionada.

El segundo factor de contención corresponde al punto 4.3.20, correspondiente al control del Proceso "$K_2$", la información necesaria para el cálculo de este factor se encuentra en la especificación NRF-027-CFE-2004, el resultado del factor se encuentra en la figura 5.30

| 14. Control de Proceso K2 | Si/No | Factor |
|---|---|---|
| a) Sí existe un sistema de alarmas ante las diversas fallas que pueden ocurrir | No | 1 |
| b) Sí el sistema especifica el tipo de Situación peligrosa | No | 1 |
| c) Sí el proceso cuenta con sistema de suministro de energía de emergencia | Si | 0.9 |
| d) Sí los procesos que utilizan refrigeración pueden mantener la refrigeración por espacio de 10 minutos durante una Situación anormal | No | 1 |
| e) Sí se cuentan con sistemas de gas inerte para purgar secciones afectadas | No | 1 |
| f) Sí los equipos con líquidos inflamables cuentan con colchón permanente de gas inerte | No | 1 |
| g) Cuando en el proceso se utilizan Sistemas de Protección Altamente Integrado | No | 1 |
| h) Sistemas de paro activados por la aparición de una condición anormal | Si | 0.85 |
| i) Sistemas de paro individuales de disparo | No | 1 |
| j) Sí los sistemas de paro funcionan por computadora sin que un operador tenga que accionar el paro de planta | No | 1 |
| k) Sí la planta posee sistemas que evitar el flujo incorrecto de material para evitar reacciones indeseables | No | 1 |
| l) Sí se poseen equipos de supresión de explosión en la unidad de proceso | No | 1 |
| m) Sí existe supervisión de planta, normalmente patrullada todas las horas del día y la noche | No | 1 |
| K2= | 0.7650 | |

***Figura 5.30 Factor por Control de Proceso "$K_2$" para sección Equipos.***

Este factor tiene un valor de 0.7650, que corresponde a la forma en que el proceso opera, en su mayor parte gracias a respuestas remotas e inmediatas en el proceso.

El tercer factor de contención corresponde al punto 4.3.21, correspondiente al factor de Actitud con Respecto a la Seguridad "$K_3$", la información necesaria para el cálculo de este factor se encuentran en la especificación NRF-027-CFE-2004, en la política de Calidad de C.F.E., el resultado del factor se encuentra en la figura 5.31.

| 15. Actitud con Respecto a la Seguridad K3 | | Si/No | Factor |
|---|---|---|---|
| a) Sí la actitud de la gerencia en cuanto a la seguridad no tiene compromisos entre la presión económica o de producción | | Si | 0.95 |
| b) Sí el personal tiene un entrenamiento de seguridad | | Si | 0.95 |
| c) Sí se efectúa mantenimiento preventivo programado | | Si | 0.97 |
| d) Sí se realizan inspecciones de seguridad y limpieza en la planta | | Si | 0.97 |
| e) Sí se elaboran reportes completos de accidentes, condiciones anormales de proceso y fallas | | Si | 0.95 |
| f) Sí el proceso maneja sólidos inflamables, combustibles o tóxicos y se poseen equipos fijos de limpieza por medio de vacío | | No | 1 |
| K3= | 0.806704138 | | |

***Figura 5.31 Factor por Actitud con Respecto a la Seguridad "$K_3$" para sección Equipos.***

El factor correspondiente es de 0.80 debido a que la forma de trabajar de la C.F.E. esta enfocada a ser una empresa de calidad mundial, y el aspecto de seguridad esta al mismo nivel que la producción.

El cuarto factor de contención corresponde al punto 4.3.22 correspondiente a la Protección Contraincendios "$K_4$", la información necesaria para el cálculo de este factor se encuentra en la Guía CFE H1000-41 "Prevención, control y extinción de incendios en subestaciones eléctricas de distribución", esta información no se encontrara disponible en los Anexos debido a que es información clasificada por la empresa. El resultado de este factor se encuentra en la figura 5.32.

El resultado de dicho factor es de 0.57421, debido a las diversas medidas adoptadas por la CFE para la prevención de incendios, tales como el uso de estructuras resistentes al fuego, cables resistentes al fuego.

| 16. Protección contra Fuego K4 | Si/No | Factor |
|---|---|---|
| a) Si las estructuras de soporte cuentan con 1/3 de su altura de material contra fuego para dos horas de duración | No | 1 |
| b) Sí las estructuras de soporte cuenta con 2/3 de su altura de material contra fuego para dos horas de duración | No | 1 |
| c) Sí la estructura posee en su totalidad material contra fuego para dos horas de duración | Si | 0.9 |
| d) Si las estructuras de soporte cuentan con 1/3 de su altura de material contra fuego para cinco horas de duración | No | 1 |
| e) Sí las estructuras de soporte cuenta con 2/3 de su altura de material contra fuego para cinco horas de duración | No | 1 |
| f) Sí la estructura posee en su totalidad material contra fuego para cinco horas de duración | No | 1 |
| g) Sí las paredes entre secciones están diseñadas para una protección contra fuego de 4 horas | No | 1 |
| h) Sí las paredes entre secciones están diseñadas para una protección contra fuego de 2 horas | No | 1 |
| i) Si los recipientes en la sección están provistos de aislamiento de protección contra fuego externo | Si | 0.97 |
| j) Si se posee un sistema fijo de inundación | No | 1 |
| k) Sí todos los cables de instrumentos, líneas de corriente y cables de energía necesarios para mantener las funciones de control de la sección están provistos de protección contra fuego por 3 horas. | Si | 0.85 |
| l) Sí la sección se localiza dentro de paredes contra fuego que permita confinar el fuego dentro de la sección | No | 1 |
| m) Sí se posee el uso de arrestadores de flama | No | 1 |
| K4= 0.7421 | | |

***Figura 5.32 Factor por Protección contraincendios "$K_4$" para sección Equipos.***

El quinto factor de contención es el correspondiente al punto 4.3.23 de aislamiento por corte de material "$K_5$", la información necesaria para el cálculo de este factor se encuentra en la especificación NRF-027-CFE-2004, el resultado de este cálculo se encuentra en la figura 5.33.

| 17. Aislamiento de corte de Material K5 | | Si/No | Factor |
|---|---|---|---|
| a) Sí la sección posee válvulas de corte operados a control remoto que permite el aislar rápidamente los tanques de almacenamiento, recipientes de proceso | | No | 1 |
| b) Sí la unidad cuenta con un tanque para vaciado de emergencia | | No | 1 |
| c) Sí la unidad de proceso cuenta con drenaje superficial, que evite la acumulación del líquido debajo de los equipos | | No | 1 |
| d) Sí el sistema de ventilación puede ser accionado a control remoto | | No | 1 |
| K5= | 1 | | |

***Figura 5.33 Factor por Aislamiento de corte de Material "$K_5$" para sección Equipos.***

El resultado de este factor es 1 ya que en esta sección no aplican ninguno de los sistemas de contención.

El sexto y último factor que debe ser calculado corresponde al punto 4.3.24, correspondiente al factor de combate contra incendios, la información necesaria para el cálculo de este factor se encuentra en la guía CFE H1000-41, y el resultado de dicho factor se encuentra en la figura 5.34.

El resultado de dicho factor tiene un valor de 1 ya que los elementos de combate contra incendios no están disponibles para esta sección.

Una vez calculados todos los factores es necesario corregir algunos de los índices anteriormente calculados para ver el efecto de las medidas de contención en estos, los índices que se modifican son "F", "E", "A" y "R".

Para calcular el índice "F" corregido se utiliza la ecuación 4.16 del punto 4.3.25, el valor final del Índice "F" es de 571.36, que de acuerdo a la tabla 3.44, es una categoría de riesgo "Ligero", en donde se puede esperar que un fuego arde por espacio de entre un cuarto y media hora.

Para calcular el índice "E" corregido se utiliza la ecuación 4.17 del punto 4.3.26, el valor final del Índice "E" es de 2.09, que de acuerdo a la tabla 3.45, es una categoría de riesgo "Bajo", en dónde la explosión interna representa un riesgo bajo en la unidad.

El calculo del índice “A” corregido se utiliza la ecuación 4.18 del punto 4.3.26, el valor final del Índice “A” es de 1.31 que representa de acuerdo a la tabla 3.46, una categoría de riesgo “Ligero”, en dónde el daño por explosión aérea es pequeño.

El cálculo del índice “R” corregido se realiza siguiendo el punto 4.3.27 utilizando la ecuación 4.19 y se obtuvo un valor de 1.49 que de acuerdo a la tabla 3.29 representa una categoría de riesgo “Suave”, dónde la unidad representa un riesgo “Suave” en caso de ocurrir un accidente.

En la figura 5.35 se observa los diferentes Índices calculados para la sección Equipos tanto los normales como los corregidos, en ella podemos observar como las medidas de contención disminuyeron a menos de la mitad los índices en dónde se aplicaron, esto demuestra que estas medidas de contención realmente pueden ayudar a disminuir el riesgo de una unidad de proceso.

| 18. Combate de Incendios K6 | Si/No | Factor |
|---|---|---|
| a) Sí existen alarmas de emergencia contraincendio correctamente instaladas | No | 1 |
| b) Sí existen extinguidores de mano apropiados para cualquier tipo de fuego que se pueda presentar en las instalaciones | No | 1 |
| c) Sí poseen suministro de agua adecuado para 4 horas de presión de trabajo a 100-200psig a 4090 $m^3/h$ | No | 1 |
| d) Sí poseen suministro de agua adecuado para 4 horas de presión de trabajo a 100-200psig a 2500 gal/minuto | No | 1 |
| e) Sí el edificio posee protección por rociadores en cada piso | No | 1 |
| f) Sí posee la sección sistema de diluvio con gasto de .20 gal/min $ft^2$ | No | 1 |
| g) Sí posee la sección sistema de diluvio con gasto de .40 gal/min $ft^2$ | No | 1 |
| h) Sí posee la sección sistema de diluvio con gasto de .60 gal/min $ft^2$ | No | 1 |
| i) Sí las instalaciones poseen instalaciones fijas de espuma para 4 horas de combate contraincendio | No | 1 |
| j) Sí se posee una brigada contra incendio, con camión y bien preparada | No | 1 |
| k) Sí se cuenta con químicos especializados para el combate de incendios, siempre listos a ser utilizados | No | 1 |
| l) Sí se poseen ventiladores para humo para evitar afectaciones a otros edificios | No | 1 |
| K6= | 1.0000 | |

***Figura 5.34 Factor por Combate de Incendios “$K_6$” para sección Equipos.***

| Índices sin Corrección por Factores de Seguridad | | |
|---|---|---|
| Índice General de Riesgo | | |
| D1= | 0.61935119 | Suave (1/9) |
| Carga de Combustible | | |
| F1= | 810.5001839 | Ligero (1/8) |
| Índice Unitario de Toxicidad | | |
| U1= | 5.4 | Moderado (3/5) |
| Índice de Incidente mayor de Toxicidad | | |
| C1= | 347.4964271 | Alto (4/5) |
| Índice Interno de Explosión | | |
| E1= | 3.4 | Moderado (3/5) |
| Índice de explosión Aérea | | |
| A1= | 1.387297931 | Ligero (1/5) |
| Índice Mond | | |
| R1= | 3.433420197 | Suave (1/8) |

| Índices con Corrección por Factores de Seguridad | | |
|---|---|---|
| Carga de Combustible | | |
| F2= | 571.36 | Ligero (1/8) |
| Índice Interno de Explosión | | |
| E2= | 2.09824 | Bajo (2/5) |
| Índice de explosión Aérea | | |
| A2= | 1.31793 | Ligero (1/5) |
| Índice Mond | | |
| R2= | 1.49369 | Suave (1/8) |

***Figura 5.35 Índices Normales y Corregidos para sección de Equipos.***

*5.2.3.Caseta*

Debido a las limitaciones de información disponible para el público en general las fotos de las placas de información del equipo encontrado, en la cual se contiene el número de equipo y datos generales de proceso, en la sección de Caseta no pueden mostrarse. Así que los datos aquí recabados deben tomarse como ciertos, dichos datos son las condiciones de operación y cantidades de productos químicos, la tabla 5.6 tiene la información de las condiciones de operación de la sección de Equipos. Una imagen exterior de esta sección se observa en el Anexo "C" en la figura C.8.

***Tabla 5.6 Condiciones de Caseta***

| | |
|---|---|
| Temperatura | 25 °C |
| Presión | atmosférica |

Con la información de la tabla 5.2 se observa que existen dos compuestos químicos, plomo y ácido sulfúrico, por lo tanto debe seleccionarse uno de estos dos compuestos como el material clave, se selecciono el ácido sulfúrico debido a que se encuentra en estado líquido y es más corrosivo que el plomo, ambos se encuentran en la misma cantidad.

La hoja de seguridad de este compuesto se encuentra en el Anexo "B", de esta hoja se obtiene los valores de Peso Molecular, la identificación según la National Fire Protection Agency (NFPA).

Para cuestiones de mejor lectura de este trabajo a partir de esta sección y las subsecuentes de la Subestación 5 de Mayo y la siguiente planta que es la Subestación Puebla 2000, sólo se colocaran tablas de resultados y las figuras correspondientes a los resultados de la hoja de cálculo se encuentran disponibles en el Anexo "A"

La figura A.1 del anexo "A" contiene el vaciado de datos en la hoja de cálculo, son algunos de los datos necesarios para comenzar el análisis de riesgos.

El siguiente paso en la metodología es 4.3.5, el calculo del Factor Material "B" que se define conociendo las propiedades del material clave, para la determinación si un material es inflamable o no, se decidió que se utilizará el criterio de la NFPA para inflamabilidad. El cálculo de los factores de la sección de casetas se encuentra en las figuras A.2 a la A.16 del Anexo "A"

***Tabla 5.7. Valores de los Factores para la sección Caseta de subestación 5 de Mayo***

| 5 de Mayo Caseta | |
|---|---|
| **Factores de Riesgo** | Valor |
| Factor Material "B" | 0.10 |
| Riesgos Especiales del Material "M" | 305 |
| Características de Mezclado y Dispersión "m" | 0 |
| Riesgos Generales de Proceso "P" | 160 |
| Riesgos Especiales de Proceso "S" | 370.00 |
| Riesgos por Cantidad de Material Total "Q" | 3.44 |
| Cantidad de Material Toneladas "k" | 0.384 |
| Riesgos por Distribución de la Unidad "L" | 0 |
| Altura "H" | 1.5 |
| Área de trabajo "N" | 21 |
| Riesgos por Toxicidad "T" | 280 |

En la Tabla 5.7 se observa un factor “B” de 0.10, el valor es pequeño debido a que la sustancia es considerada como material no combustible.

El siguiente paso es el 4.3.6, cálculo del Factor Especial de Material “M”, los datos requeridos para este cálculo provienen, de la hoja de especificación del material clave.

Se observa en la Tabla 5.7 para “M” un valor de 305, esto se debe a que el ácido sulfúrico cuenta con algunas de las propiedades de riesgos especiales, reacciona con agua para producir Hidrogeno que es un gas combustible. Dentro de este cálculo también se obtiene el valor del factor “m” correspondientes a las características de mezclado, también posee un valor de 0, no se incluye el valor de Hidrogeno debido a que no se mezcla en el proceso, así mismo el ácido puede reaccionar en una descomposición explosiva y estar sujeto a detonación gaseosa.

El siguiente paso es el 4.3.7 correspondiente al calculo del factor correspondiente a los Riesgos Generales de Proceso “P”, para el llenado de esta sección es necesario conocer el funcionamiento del equipo para esta sección son los transformadores para Media Tensión, los datos del funcionamiento de dicho equipo se encuentran en la hoja de especificación provisional de la C.F.E. aun sin número, “Batería de Plomo-Ácido” y la Guía provisional CFE 04400-42 “Guía de Criterios Básicos para Subestaciones de 115, 230 y 400kv”, esta información no se encuentra en los anexos debido a que es información clasificada de la compañía.

El resultado del factor “P” en la Tabla 5.7 es de un valor de 160, el valor corresponde a que dentro de la unidad se tiene un proceso cerrado, se dan reacciones exotérmicas en la batería de

oxidación-reducción y se da el proceso con materiales sólidos, así mismo se encuentran baterías llenas en el piso sin estar conectadas a la unidad.

El siguiente paso es el 4.3.8 correspondiente al cálculo del Factor de Riesgos Especiales de Proceso “S”, los datos necesarios para llenar y calcular dicho factor se encuentran en la C.F.E. aun sin número, “Batería de Plomo-Ácido” y la Guía provisional CFE 04400-42, en las especificaciones del equipo en la unidad analizada. El cálculo para la presión de ser alta presión es el mismo al utilizado para la Sección de Caseta.

El resultado del Factor “S” en la Tabla 5.7 es de 370 resultante de los riesgos existentes en el proceso, ya el cual pueden existir fallas de fuga del material en caso de un accidentes y explosión de vapor en caso de malfuncionamiento de las baterías, y al ser un equipo que funciona en un ambiente de alto voltaje y alta tensión el riesgo por descarga electrostática es el más alto.

El siguiente paso es 4.3.9 correspondiente al cálculo del Factor Cantidad de Material en el Proceso, este valor se obtiene de la misma forma en la que fue obtenido en la sección de Caseta y la cantidad de material clave presente en la unidad que representa el factor “k”.

El resultado del factor en la Tabla 5.7 corresponde a un valor de 3.44 según la lectura de la gráfica correspondiente o la ecuación correspondiente a la cantidad de material.

El siguiente punto es el 4.3.10 correspondiente al Factor de Riesgo por Distribución de la Unidad “L”, los datos necesarios para esta información se obtienen de la figura 5.1 y del análisis del cuarto de baterías.

Los datos necesarios son la altura del arreglo de baterías es de 1.5m y corresponde al factor “H” y el área de trabajo, que se midió y se ubica dentro del área de caseta que corresponde a un área de $21m^2$, que corresponde al factor “N”.

El valor correspondiente al factor “L” en la Tabla 5.7 es de 0, debido a que en la unidad no se presentan ninguna de las situaciones correspondientes al factor “L”.

El siguiente punto en la metodología es el 4.3.11 que corresponde al cálculo del Factor por Toxicidad “T”, para este punto se necesitan los valores STEL y TLV del material clave, los cuales se encuentran en la hoja de especificación del material, ubicada en el Anexo B, también se necesitan las características físicas del compuesto como color y aroma en su forma tóxica.

El resultado del cálculo del factor “T” en la Tabla 5.7 tiene un valor de 280, que corresponde a que el Ácido Sulfúrico en el proceso se encuentra como líquido, se puede absorber por la piel, así mismo por los valores de TLV y STEL que posee el ácido.

El siguiente paso en la metodología corresponde al cálculo de los distintos índices del análisis de riesgo.

El primero de ellos es el que corresponde al punto 4.3.12 correspondiente al Índice General de Riesgo “D”, se calcula con la ecuación 4.9.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 2.2 que de acuerdo a la tabla 3.43 corresponde a un riesgo de categoría “Suave”, esto se debe principalmente a que el índice “D”, esta afectado principalmente por el factor material y en el caso del ácido sulfúrico el valor es muy pequeño debido a que es un material no flamable, la categoría de “Suave” es la más baja en las categorías del índice, indicando un daño muy suave en la unidad.

Así mismo el segundo factor más representativo es el de riesgo especial del material “M” y el ácido sulfúrico si presenta riesgo especial por sus características naturales.

Otros factores que afectan dicho índice son el de Riesgos Especiales del Proceso, Cantidad de Material, y Distribución de la unidad, tampoco aportan un valor significativo al índice. Finalmente el índice de Toxicidad que aporta el mayor valor a dicho índice no es tan significativo en el mismo.

El segundo índice corresponde al punto 4.3.13 y es el Índice de Carga de Combustible “F”, se calcula como indica la ecuación 4.10.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 37.48 que de acuerdo la tabla 3.44, corresponde a una categoría “Ligero”, en el que en caso de un incendio se puede esperar un fuego con duración de un cuarto de hora a hora y media, siendo la categoría “Ligero” la categoría más baja del índice.

El valor de este índice resulta bajo debido a que tanto el factor material “B” es muy pequeño en comparación del área de trabajo “N”.

El tercer índice corresponde al punto 4.3.14 y es el Índice Unitario de Toxicidad “U”, se calcula como indica la ecuación 4.11.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 11.15 que de acuerdo a la tabla 3.47 corresponde a una categoría de riesgo “Muy alto”, esto es principalmente a las características tóxicas del ácido sulfúrico, y las condiciones en las que se encuentra en la unidad permiten su

detección haciendo la unidad tóxica pero con información a quien resuelve el problema de la presencia de la sustancia química.

El cuarto índice corresponde al punto 4.3.15 y es el Índice de Máximo Incidente Tóxico "C", se calcula como indica la ecuación 4.12.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 38.36 que de acuerdo a la tabla 3.48 corresponde a una categoría de riesgo "Bajo", esto se debe a que el índice es resultado del índice unitario de toxicidad "U" y el factor de cantidad de material "Q", siendo el valor de "Q" muy pequeño, el máximo incidente tóxico que puede esperarse en caso de un percance se denomina como "Bajo" siendo este la segunda categoría menos peligrosa.

El quinto índice corresponde al punto 4.3.16 y es el Índice de Explosión Interna de Unidad "E", se calcula como indica la ecuación 4.13.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 9.35 que de acuerdo a la tabla 3.45 corresponde a una categoría de riesgo "Muy Alto", esto se debe principalmente a que los factores de riesgo especial de Proceso "S" y riesgos generales de Proceso "P", por las características del proceso que se lleva acabo en la unidad, la categoría de "Muy alto" siendo esta la categoría más peligrosa.

El sexto índice corresponde al punto 4.3.17 y es el Índice de Explosión Aérea "A", se calcula como indica la ecuación 4.14.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 0.77 que de acuerdo a la tabla 3.46 corresponde a una categoría de riesgo "Ligero", esto es principalmente a que factores por los cuales se compone dicho índice son los de menor valor en el análisis de riesgos. La categoría de "Ligero" es la más baja del índice lo que indica que ante una explosión no se liberaría mucho material de forma aérea.

El séptimo índice corresponde al punto 4.3.18 y es el Índice de Riesgo General Mond "R", se calcula como indica la ecuación 4.15.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 6.024 que de acuerdo a la tabla 3.49 corresponde a una categoría de riesgo "Suave", siendo esta la categoría más baja del índice, lo que indica que en general la unidad representa un riesgo mínimo en caso de un accidente.

Después del calculo de los índices es necesario determinar las disminuciones en los mismos dependiendo de las diversas características que existen para la diminución de riesgos. Como indican los puntos 4.3.19, 4.3.20, 4.3.21,4.3.22, 4.3.23, 4.3.24.

El primer factor de contención que corresponde al punto 4.3.19, correspondiente a la Prevención de Riesgos en Almacenamiento "$K_1$", la información necesaria para el cálculo de dicho factor se encuentra en la guía provisional CFE 04400-42 y la hoja de especificación provisional "Batería Plomo-Ácido".

***Tabla 5.8 Factores de Seguridad para la Sección de Caseta 5 de Mayo***

| **5 de Mayo Caseta** | |
|---|---|
| **Factores de Seguridad** | **Valor** |
| Factores de Contención K1 | 1.0000 |
| Control de Proceso K2 | 0.8500 |
| Actitud con Respecto a la Seguridad K3 | 0.806704138 |
| Protección Contra Fuego K4 | 0.8500 |
| Aislamiento de Corte de Material K5 | 1 |
| Combate de Incendio K6 | 0.9500 |

El valor para este factor de 1, en la Tabla 5.8 ya que la unidad, solamente son las baterías Plomo-Ácido y no cuentan con ningún tipo de control.

El segundo factor de contención corresponde al punto 4.3.20, correspondiente al control del Proceso "$K_2$", la información necesaria para el cálculo de este factor se encuentra en la guía provisional CFE 04400-42 y la hoja de especificación provisional "Batería Plomo-Ácido".

En la Tabla 5.8 se observa que este factor posee de 0.85, que corresponde a la forma en que el proceso opera, en su mayor parte gracias a respuestas remotas e inmediatas en el proceso.

El tercer factor de contención corresponde al punto 4.3.21, correspondiente al factor de Actitud con Respecto a la Seguridad "$K_3$", la información necesaria para el cálculo de este factor se encuentra en la guía provisional CFE 04400-42 y la hoja de especificación provisional "Batería Plomo-Ácido", en la política de Calidad de C.F.E.

El factor correspondiente en la Tabla 5.8 es de 0.80 debido a que la forma de trabajar de la C.F.E. esta enfocada a ser una empresa de calidad mundial, y el aspecto de seguridad esta al mismo nivel que la producción.

El cuarto factor de contención corresponde al punto 4.3.22 correspondiente a la Protección Contraincendios "$K_4$", la información necesaria para el cálculo de este factor se encuentra en la Guía CFE H1000-41 "Prevención, control y extinción de incendios en subestaciones eléctricas de distribución", esta información no se encontrara disponible en los Anexos debido a que es información clasificada por la empresa.

El resultado de dicho factor en la Tabla 5.8 es de 0.85, debido a la medida del uso de cables resistentes al fuego en la sección de caseta.

El quinto factor de contención es el correspondiente al punto 4.3.23 de aislamiento por corte de material "$K_5$", la información necesaria para el cálculo de este factor se encuentra en la guía provisional CFE 04400-42 y la hoja de especificación provisional "Batería Plomo-Ácido".

El resultado de este factor en la Tabla 5.8 es de 1 ya que en esta sección no aplican ninguno de los sistemas de contención.

El sexto y último factor que debe ser calculado corresponde al punto 4.3.24, correspondiente al factor de combate contra incendios, la información necesaria para el cálculo de este factor se encuentra en la guía CFE H1000-41.

El resultado de dicho factor en la Tabla 5.8 tiene un valor de 0.95 ya que único elemento disponible es la existencia de extintores de mano.

Una vez calculados todos los factores es necesario corregir algunos de los índices anteriormente calculados para ver el efecto de las medidas de contención en estos, los índices que se modifican son "F", "E", "A" y "R".

Para calcular el índice "F" corregido se utiliza la ecuación 4.16 del punto 4.3.25, el valor final del Índice "F" es de 31.86, que de acuerdo a la tabla 3.44, es una categoría de riesgo "Ligero", en donde se puede esperar que un fuego arde por espacio de entre un cuarto y media hora.

Para calcular el índice "E" corregido se utiliza la ecuación 4.17 del punto 4.3.26, el valor final del Índice "E" es de 6.41, que de acuerdo a la tabla 3.45, es una categoría de riesgo "Muy alto", en dónde la explosión interna representa un riesgo muy alto para la unidad.

El calculo del índice "A" corregido se utiliza la ecuación 4.18 del punto 4.3.26, el valor final del Índice "A" es de 0.73 que representa de acuerdo a la tabla 3.46, una categoría de riesgo "Ligero", en dónde el daño por explosión aérea es pequeño.

El cálculo del índice “R” corregido se realiza siguiendo el punto 4.3.27 utilizando la ecuación 4.19 y se obtuvo un valor de 3.33 que de acuerdo a la tabla 3.29 representa una categoría de riesgo “Suave”, dónde la unidad representa un riesgo “Suave” en caso de ocurrir un accidente.

En la figura 5.36 se observa los diferentes Índices calculados para la sección Caseta tanto los normales como los corregidos, en ella podemos observar como las medidas de contención existentes para el área de caseta son mínimas y no disminuyen los índices de riesgo calculados.

| Índices sin Corrección por Factores de Seguridad | | |
|---|---|---|
| Índice General de Riesgo | | |
| D1= | 2.200936335 | Suave (1/9) |
| Carga de Combustible | | |
| F1= | 37.48571429 | Ligero (1/8) |
| Índice Unitario de Toxicidad | | |
| U1= | 11.15 | Muy alto (5/5) |
| Índice de Incidente mayor de Toxicidad | | |
| C1= | 38.36793584 | Bajo (2/5) |
| Índice de Explosión | | |
| E1= | 9.35 | Muy Alto (5/5) |
| Índice de explosión Aérea | | |
| A1= | 0.772210802 | Ligero (1/5) |
| Índice Mond | | |
| R1= | 6.024352317 | Suave (1/8) |

| Índices con Corrección por Factores de Seguridad | | |
|---|---|---|
| Carga de Combustible | | |
| F2= | 31.8629 | Ligero (1/8) |
| Índice Interno de Explosión | | |
| E2= | 6.41128 | Muy Alto (5/5) |
| Índice de Explosión Aérea | | |
| A2= | 0.7336 | Ligero (1/5) |
| Índice Mond | | |
| R2= | 3.33569 | Suave (1/8) |

***Figura 5.36 Índices Normales y Corregidos para sección de Caseta.***

Comparando las figuras 5.36, 5.35 y 5.18, se observa que en la subestación eléctrica 5 de Mayo la sección de Caseta es la que tiene el número de índices con los mayores valores, siendo los de Toxicidad, Índice Interno de Explosión y el Índice Mond los más grandes entre las tres secciones.

Esto se debe principalmente a las características del material clave en la sección de Caseta es el más peligroso de las tres secciones, el que tiene la mayor características de riesgos especiales y la sección con el menor número de medidas de prevención y contención.

## 5.3. Subestación Puebla 2000.

La subestación Puebla 2000 es una subestación de tipo aérea, la cual cuenta con diferentes secciones y equipos en cada uno de ellos, los cuales se encuentran en la tabla 5.9.

La subestación se encuentra distribuida como se presenta en el la figura 5.37 correspondiente al plano del terreno con la ubicación de cada una de las secciones principales.

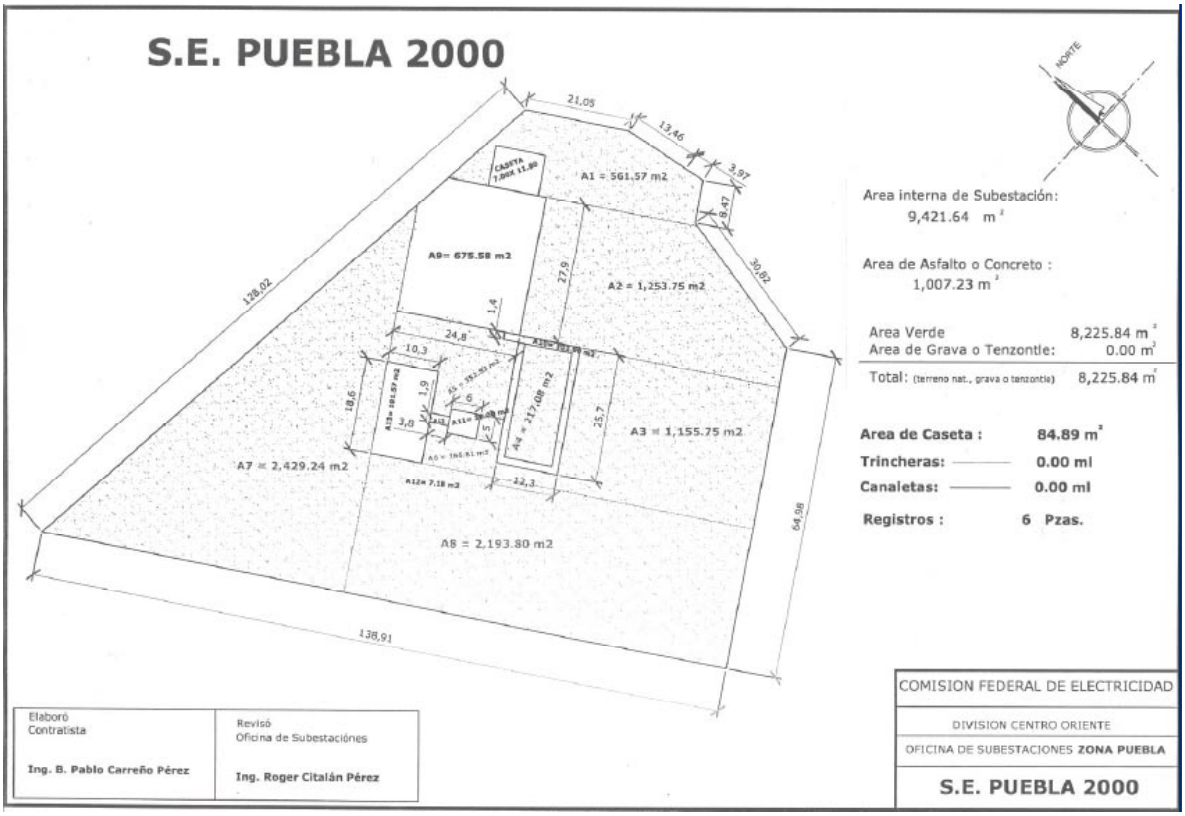



***Figura 5.37 Plano de la Subestación Puebla 2000***

Las secciones principales son las señaladas como Área 9 (Interruptores de potencia), Área 4 (Transformador) y el área de Caseta. Estas tres secciones son en las que se llevó acabo el Análisis de Riesgos utilizando la metodología Mond anteriormente desarrollada, a través de una hoja de cálculo en EXCEL. Para diferenciar el área Caseta de la subestación 5 de Mayo de la ubicada en la subestación Puebla 2000, para efectos de este trabajo, la sección de caseta en Puebla 2000 se manejara como Caseta 2000.

***Tabla 5.9 Equipos en Subestación Puebla 2000.***

| Sección | Equipos y Cantidad | Descripción |
|---|---|---|
| Caseta | Batería Plana Exide Ironclad (45 unidades) | Forman parte de la sección de casa de baterías que sirve para el funcionamiento de la subestación eléctrica. |
| Área 9 | Transformador IEM 26-1489 (1 unidades) | Transformador de alta tensión a media tensión para uso comercial. |
| Área 4 | Interruptores de Potencia para Media Tensión (9 unidades) | Encargado de la recepción de la energía eléctrica en media tensión. |

Siguiendo el punto 4.3.1 de la metodología descrita anteriormente, se debe seleccionar la planta, en este caso la planta analizada es Subestación Puebla 2000. La planta se divide en las secciones descritas en la tabla 5.9. Los compuestos químicos encontrados en cada una de las secciones y su cantidad se listan en la tabla 5.10.

De las tres secciones en las que se divide la Subestación Puebla 2000 siguiendo el punto 4.3.2 se debe determinar que sección será analizada, la selección no tiene ninguna forma especifica de realizar, por tanto la primera sección será la de Área 4 (Interruptores), así mismo deben de especificarse las condiciones de operación de la sección están se encuentran en la Tabla 5.11.

*5.3.1. Área 4 (Interruptores)*

Debido a las limitaciones de información disponible para el público en general las fotos de las placas de información del equipo encontrado, en la cual se contiene el número de equipo y datos generales de proceso, en la sección de Área 4 no pueden mostrarse. Así que los datos aquí recabados deben tomarse como ciertos, dichos datos son las condiciones de operación y cantidades de productos químicos. Algunas imágenes de esta sección se observan en el Anexo “C”, las figura C.3.

***Tabla 5.10 Compuestos Químicos en las Secciones de Subestación Puebla 2000***

| Sección | Compuestos Químicos | Cantidad (Ton) |
|---|---|---|
| Área 4 (Interruptores) | Hexafloruro de Azufre (SF6) | 0.1 |
| Área 9 (Transformador) | Aceite Dieléctrico para Transformadores de Media Tensión (Base nafténica) | 34.25 |
| Caseta | Ácido Sulfúrico | 0.1 |
| | Plomo | 0.1 |

***Tabla 5.11 Condiciones de Operación de Área 4.***

| | |
|---|---|
| Temperatura | 40 °C |
| Presión | 6 bar manométrico |

Con la información anterior se observa que el único compuesto y por lo tanto material clave en la sección de Área 4 es el Hexafloruro de Azufre, la hoja de seguridad de este compuesto, se encuentra en el Anexo “B”, de esta hoja se obtiene los valores de Peso Molecular, identificación según la National Fire Protection Agency (NFPA).

La figura A.17 de Anexo “A” contiene el vaciado de datos en la hoja de cálculo, son algunos de los datos necesarios para comenzar el análisis de riesgos.

El siguiente paso en la metodología es 4.3.5, el calculo del Factor Material “B” que se define conociendo las propiedades del material clave, para la determinación si un material es inflamable o no, se decidió que se utilizará el criterio de la NFPA para inflamabilidad. El cálculo para los factores de la Sección Área 4, se encuentran en las figuras A.18 a A.32 del Anexo “A”

En la Tabla 5.12 se observa un factor “B” de 0.10, el valor es pequeño debido a que la sustancia es considerada como material no combustible.

*Tabla 5.12 Factores de Riesgo para la Sección Área 4*

| Área 4 Puebla 2000 | |
|---|---|
| Factores de Riesgo | Valor |
| **Factor Material "B"** | 0.10 |
| **Riesgos Especiales del Material "M"** | 0 |
| **Características de Mezclado y Dispersión "m"** | 0 |
| **Riesgos Generales de Proceso "P"** | 60 |
| **Riesgos Especiales de Proceso "S"** | 186.70 |
| **Riesgos por Cantidad de Material Total "Q"** | 1.28 |
| **Cantidad de Material Toneladas "k"** | 0.1 |
| **Riesgos por Distribución de la Unidad "L"** | 150 |
| **Altura "H"** | 5 |
| **Área de trabajo "N"** | 217.08 |
| **Riesgos por Toxicidad "T"** | 455 |

El siguiente paso es el 4.3.6, cálculo del Factor Especial de Material “M”, los datos requeridos para este cálculo provienen, de la hoja de especificación del material clave.

El factor “M” en la Tabla 5.12 tiene un valor de 0, esto se debe a que la sustancia no presenta ninguna de las características necesarias para que se le considere que posee riesgos especiales del material, debido a su alta nobleza del material. Dentro de este cálculo también se obtiene el valor del factor “m” correspondientes a las características de mezclado, también posee un valor de 0.

El siguiente paso es el 4.3.7 correspondiente al calculo del factor correspondiente a los Riesgos Generales de Proceso “P”, para el llenado de esta sección es necesario conocer el funcionamiento del equipo para esta sección Interruptores de Potencia para Media Tensión de 15kV a 38kV, los datos del funcionamiento de dicho equipo se encuentran en la hoja de especificación de la C.F.E. con número NRF-028-CFE-2004, “Interruptores de Potencia para Media Tensión de 15kV a 38kV”, esta información no se encuentra en los anexos debido a que es información clasificada de la compañía.

El resultado del factor “P” en la Tabla 5.12 es de un valor de 60, el valor corresponde a que dentro de la unidad se tiene un proceso cerrado, existe tubería permanente instalada en la unidad, y se hace uso de gas inerte en el sistema.

El siguiente paso es el 4.3.8 correspondiente al cálculo del Factor de Riesgos Especiales de Proceso “S”, los datos necesarios para llenar y calcular dicho factor se encuentran en la especificación NRF-028-CFE-2004 y en las especificaciones del equipo en la unidad analizada.

El resultado del Factor “S” en la Tabla 5.12 es de 186.70 resultante de los riesgos existentes en el proceso, ya que es un proceso a presión alta, debido a la presión y características del material en caso de ruptura puede existir una explosión violenta, y al ser un equipo que funciona en un ambiente de alto voltaje y alta tensión el riesgo por descarga electrostática es el más alto.

El siguiente paso es 4.3.9 correspondiente al cálculo del Factor Cantidad de Material en el Proceso, y la cantidad de material clave presente en la unidad que representa el factor “k”.

El resultado del factor en la Tabla 5.12 corresponde a un valor de 1.28 según la lectura de la gráfica correspondiente o la ecuación correspondiente a la cantidad de material.

El siguiente punto es el 4.3.10 correspondiente al Factor de Riesgo por Distribución de la Unidad “L”, los datos necesarios para esta información se obtienen de la figura 5.37 y de la hoja de especificación de los interruptores de potencia.

Los datos necesarios son la altura de los interruptores 5m que corresponde al factor “H” y el área de trabajo que corresponde a un área de 217.08 $m^2$, que corresponde al factor “N”, también es necesaria información de la especificación NRF-028-CFE-2004, acerca de la existencia de áreas subterráneas en la unidad, los cambios de aire.

El valor correspondiente al factor “L” en la Tabla 5.12 es de 150, y es totalmente proporcionado debido a la existencia de un área subterránea en la unidad, por la cual se transportan los cables necesarios para el funcionamiento del equipo.

El siguiente punto en la metodología es el 4.3.11 que corresponde al cálculo del Factor por Toxicidad “T”, para este punto se necesitan los valores STEL y TLV del material clave, los cuales se encuentran en la hoja de especificación del material, ubicada en el Anexo “B”, también se necesitan las características físicas del compuesto como color y aroma en su forma tóxica.

El resultado del cálculo del factor “T” en la Tabla 5.12 tiene un valor de 455, que corresponde a que el $SF_6$ en el proceso se encuentra como un gas, no tiene olor y no es posible verlo en su nivel tóxico, además en el proceso el gas se almacena como gas con una densidad relativa superior a 1.3 con el aire, así mismo por los valores de TLV y STEL que posee el $SF_6$.

El siguiente paso en la metodología corresponde al cálculo de los distintos índices del análisis de riesgo.

El primero de ellos es el que corresponde al punto 4.3.12 correspondiente al Índice General de Riesgo “D”, se calcula con la ecuación 4.9.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 0.55 que de acuerdo a la tabla 3.43 corresponde a un riesgo de categoría “Suave”, esto se debe principalmente a que el índice “D”, esta afectado principalmente por el factor material y en el caso del $SF_6$ el valor es muy pequeño debido a que es un material no flamable, la categoría de “Suave” es la más baja en las categorías del índice, indicando un daño muy suave en la unidad.

Así mismo el segundo factor más representativo es el de riesgo especial del material “M” y el $SF_6$ no presenta ningún riesgo especial por sus características naturales.

Otros factores que afectan dicho índice son el de Riesgos Especiales del Proceso, Cantidad de Material, y Distribución de la unidad, tampoco aportan un valor significativo al índice. Finalmente el índice de Toxicidad que aporta el mayor valor a dicho índice no es tan significativo en el mismo.

El segundo índice corresponde al punto 4.3.13 y es el Índice de Carga de Combustible “F”, se calcula como indica la ecuación 4.10.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 0.94 que de acuerdo la tabla 3.44, corresponde a una categoría “Ligero”, en el que en caso de un incendio se puede esperar un fuego con duración de un cuarto de hora a hora y media, siendo la categoría “Ligero” la categoría más baja del índice.

El valor de este índice resulta bajo debido a que tanto el factor material “B” y la cantidad de material “k” son muy pequeños en comparación del área de trabajo “N”.

El tercer índice corresponde al punto 4.3.14 y es el Índice Unitario de Toxicidad “U”, se calcula como indica la ecuación 4.11.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 7.01 que de acuerdo a la tabla 3.47 corresponde a una categoría de riesgo “Alto”, esto es principalmente a las características tóxicas del gas SF6, y las condiciones en las que se encuentra en la unidad no permiten su detección haciendo la unidad tóxica en caso de un accidente, siendo la categoría “Alto” la segunda más grave del índice.

El cuarto índice corresponde al punto 4.3.15 y es el Índice de Máximo Incidente Tóxico “C”, se calcula como indica la ecuación 4.12.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 8.96 que de acuerdo a la tabla 3.48 corresponde a una categoría de riesgo “Ligero”, esto se debe a que el índice es resultado del índice unitario de toxicidad “U” y el factor de cantidad de material “Q”, siendo el valor de Q pequeño, el máximo incidente tóxico que puede esperarse en caso de un percance se denomina como “Ligero” siendo este la menor categoría en el índice.

El quinto índice corresponde al punto 4.3.16 y es el Índice de Explosión Interna de Unidad “E”, se calcula como indica la ecuación 4.13.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 3.46 que de acuerdo a la tabla 3.45 corresponde a una categoría de riesgo “Moderado”, esto se debe principalmente a que los factores de riesgo especial de Proceso “S” y riesgos generales de Proceso “P”, por las características del proceso que se lleva acabo en la unidad, la categoría de “Moderado” se encuentra al mitad del índice lo que significa que el proceso es moderadamente peligroso en caso de una explosión interna en la unidad.

El sexto índice corresponde al punto 4.3.17 y es el Índice de Explosión Aérea “A”, se calcula como indica la ecuación 4.14.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 0.14 que de acuerdo a la tabla 3.46 corresponde a una categoría de riesgo “Ligero”, esto es principalmente a que factores por los cuales se compone dicho índice son los de menor valor en el análisis de riesgos. La categoría de “Ligero” es la más baja del índice lo que indica que ante una explosión no se liberaría mucho material de forma aérea.

El séptimo índice corresponde al punto 4.3.18 y es el Índice de Riesgo General Mond “R”, se calcula como indica la ecuación 4.15.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 0.58 que de acuerdo a la tabla 3.49 corresponde a una categoría de riesgo “Suave”, siendo esta la categoría más baja del índice, lo que indica que en general la unidad representa un riesgo mínimo en caso de un accidente.

Después del calculo de los índices es necesario determinar las disminuciones en los mismos dependiendo de las diversas características que existen para la diminución de riesgos. Como indican los puntos 4.3.19, 4.3.20, 4.3.21,4.3.22, 4.3.23, 4.3.24.

El primer factor de contención que corresponde al punto 4.3.19, correspondiente a la Prevención de Riesgos en Almacenamiento “$K_1$”, la información necesaria para el cálculo de dicho factor se encuentra en la especificación NRF-028-CFE-2004.

***Tabla 5.13 Factores de Seguridad de Área 4***

| **Área 4 Puebla 2000** | |
|---|---|
| Factores de Seguridad | Valor |
| **Factores de Contención K1** | 0.6885 |
| **Control de Proceso K2** | 0.6177 |
| **Actitud con Respecto a la Seguridad K3** | 0.8067 |
| **Protección Contra Fuego K4** | 0.7049 |
| **Aislamiento de Corte de Material K5** | 1 |
| **Combate de Incendio K6** | 0.8550 |

El valor para este factor en la Tabla 5.13 es de 0.6885 que es principalmente producto de las medidas de seguridad que se tienen en el diseño del equipo y área de trabajo en la unidad seleccionada.

El segundo factor de contención corresponde al punto 4.3.20, correspondiente al control del Proceso "$K_2$", la información necesaria para el cálculo de este factor se encuentra en la especificación NRF-028-CFE-2004.

Este factor tiene un valor en la Tabla 5.13 de 0.6177, que corresponde a la forma en que el proceso opera, en su mayor parte gracias a respuestas remotas e inmediatas en el proceso.

El tercer factor de contención corresponde al punto 4.3.21, correspondiente al factor de Actitud con Respecto a la Seguridad "$K_3$", la información necesaria para el cálculo de este factor se encuentran en la especificación NRF-028-CFE-2004, en la política de Calidad de C.F.E.

El factor correspondiente en la Tabla 5.13 es de 0.80 debido a que la forma de trabajar de la C.F.E. esta enfocada a ser una empresa de calidad mundial, y el aspecto de seguridad esta al mismo nivel que la producción.

El cuarto factor de contención corresponde al punto 4.3.22 correspondiente a la Protección Contraincendios "$K_4$", la información necesaria para el cálculo de este factor se encuentra en la Guía CFE H1000-41 "Prevención, control y extinción de incendios en subestaciones eléctricas

de distribución", esta información no se encontrara disponible en los Anexos debido a que es información clasificada por la empresa.

El resultado de dicho factor en la Tabla 5.13 es de 0.749, debido a las diversas medidas adoptadas por la CFE para la prevención de incendios, tales como el uso de estructuras resistentes al fuego, cables resistentes al fuego.

El quinto factor de contención es el correspondiente al punto 4.3.23 de aislamiento por corte de material "$K_5$", la información necesaria para el cálculo de este factor se encuentra en la especificación NRF-028-CFE-2004.

El resultado de este factor en la Tabla 5.13 es de 1 ya que no existe ninguno de los elementos de prevención por este factor en la unidad.

El sexto y último factor que debe ser calculado corresponde al punto 4.3.24, correspondiente al factor de combate contra incendios, la información necesaria para el cálculo de este factor se encuentra en la guía CFE H1000-41.

El resultado de dicho factor en la Tabla 5.13 tiene un valor de 0.855 correspondiente a la existencia de extintores de mano y alarmas de emergencia en la unidad.

Una vez calculados todos los factores es necesario corregir algunos de los índices anteriormente calculados para ver el efecto de las medidas de contención en estos, los índices que se modifican son "F", "E", "A" y "R".

Para calcular el índice "F" corregido se utiliza la ecuación 4.16 del punto 4.3.25, el valor final del Índice "F" es de 0.45, que de acuerdo a la tabla 3.44, es una categoría de riesgo "Ligero", en donde se puede esperar que un fuego arde por espacio de entre un cuarto y media hora.

Para calcular el índice "E" corregido se utiliza la ecuación 4.17 del punto 4.3.26, el valor final del Índice "E" es de 1.72, que de acuerdo a la tabla 3.45, es una categoría de riesgo "Bajo", en dónde la explosión interna representa un riesgo bajo en la unidad.

El calculo del índice "A" corregido se utiliza la ecuación 4.18 del punto 4.3.26, el valor final del Índice "A" es de 0.083 que representa de acuerdo a la tabla 3.46, una categoría de riesgo "Ligero", en dónde el daño por explosión aérea es pequeño.

El cálculo del índice "R" corregido se realiza siguiendo el punto 4.3.27 utilizando la ecuación 4.19 y se obtuvo un valor de 0.12 que de acuerdo a la tabla 3.29 representa una

categoría de riesgo “Suave”, dónde la unidad representa un riesgo “Suave” en caso de ocurrir un accidente.

En la figura 5.38 se observa los diferentes Índices calculados para la sección Área 4 tanto los normales como los corregidos, en ella podemos observar como las medidas de contención disminuyeron a menos de la mitad los índices en dónde se aplicaron, esto demuestra que estas medidas de contención realmente pueden ayudar a disminuir el riesgo de una unidad de proceso.

| Índices sin Corrección por Factores de Seguridad | | |
|---|---|---|
| Índice General de Riesgo | | |
| D1= | 0.551726151 | Suave (1/9) |
| Carga de Combustible | | |
| F1= | 0.944352313 | Ligero (1/8) |
| Índice Unitario de Toxicidad | | |
| U1= | 7.016979032 | Alto (4/5) |
| Índice de Incidente mayor de Toxicidad | | |
| C1= | 8.969434532 | Ligero (1/5) |
| Índice Intero de Explosión | | |
| E1= | 3.466979032 | Moderado (3/5) |
| Índice de explosión Aérea | | |
| A1= | 0.141090282 | Ligero (1/5) |
| Índice Mond | | |
| R1= | 0.583137735 | Suave (1/8) |

| Índices con Corrección por Factores de Seguridad | | |
|---|---|---|
| Carga de Combustible | | |
| F2= | 0.45835 | Ligero (1/8) |
| Índice Interno de Explosión | | |
| E2= | 1.7277 | Bajo (2/5) |
| Índice de Explosión Aérea | | |
| A2= | 0.08306 | Ligero (1/5) |
| Índice Mond | | |
| R2= | 0.12059 | Suave (1/8) |

***Figura. 5.38 Índices Normales y Corregidos para sección Área 4.***

*5.3.2.Área 9 (Transformador)*

Debido a las limitaciones de información disponible para el público en general las fotos de las placas de información del equipo encontrado, en la cual se contiene el número de equipo y datos generales de proceso, en la sección de Área 9 no pueden mostrarse. Así que los datos aquí recabados deben tomarse como ciertos, dichos datos son las condiciones de operación y cantidades de productos químicos, la tabla 5.14 tiene la información de las condiciones de operación de la sección de Equipos. En el Anexo "C" se observa una imagen de esta sección, la figura C.1.

***Tabla 5.14 Condiciones de Área 9***

| | |
|---|---|
| Temperatura | 25 °C |
| Presión | atmosférica |

Con la información de la tabla 5.10 se observa que el único compuesto y por lo tanto material clave en la sección de Equipos es el Aceite Dieléctrico de base nafténica, la hoja de seguridad de este compuesto se encuentra en el Anexo "B", de esta hoja se obtiene los valores de Peso Molecular, la identificación según la National Fire Protection Agency (NFPA).

La figura A.33 del anexo "A" contiene el vaciado de datos en la hoja de cálculo, son algunos de los datos necesarios para comenzar el análisis de riesgos.

El siguiente paso en la metodología es 4.3.5, el calculo del Factor Material "B" que se define conociendo las propiedades del material clave, para la determinación si un material es inflamable o no, se decidió que se utilizará el criterio de la NFPA para inflamabilidad.

***Tabla 5.15 Factores de Riesgo para la Sección Área 9***

| **Área 9 Puebla 2000** | |
|---|---|
| **Factores de Riesgo** | **Valor** |
| **Factor Material "B"** | 0.10 |
| **Riesgos Especiales del Material "M"** | 0 |
| **Características de Mezclado y Dispersión "m"** | 0 |
| **Riesgos Generales de Proceso "P"** | 10 |
| **Riesgos Especiales de Proceso "S"** | 230.00 |
| **Riesgos por Cantidad de Material Total "Q"** | 60.45 |
| **Cantidad de Material Toneladas "k"** | 34.25 |
| **Riesgos por Distribución de la Unidad "L"** | 225 |
| **Altura "H"** | 5.8 |
| **Área de trabajo "N"** | 675.8 |
| **Riesgos por Toxicidad "T"** | 300 |

El cálculo de los factores para la sección del Área 9 se encuentra en las figuras 34 a 48 del Anexo “A”.

En la Tabla 5.15 se observa un factor “B” de 0.10, el valor es pequeño debido a que la sustancia es considerada como material no combustible.

El siguiente paso es el 4.3.6, cálculo del Factor Especial de Material “M”, los datos requeridos para este cálculo provienen, de la hoja de especificación del material clave.

El factor “M” tiene un valor en la Tabla 5.15 de 0, esto se debe a que la sustancia no presenta ninguna de las características necesarias para que se le considere que posee riesgos especiales del material. Dentro de este cálculo también se obtiene el valor del factor “m” correspondientes a las características de mezclado, también posee un valor de 0.

El siguiente paso es el 4.3.7 correspondiente al calculo del factor correspondiente a los Riesgos Generales de Proceso “P”, para el llenado de esta sección es necesario conocer el funcionamiento del equipo para esta sección son los transformadores para Media Tensión, los datos del funcionamiento de dicho equipo se encuentran en la hoja de especificación de la C.F.E. con número NRF-027-CFE-2004, “Transformadores de Corriente para sistemas con Tensiones Nominales de 0.6 kV a 400kV”, esta información no se encuentra en los anexos debido a que es información clasificada de la compañía.

El resultado del factor “P” en la Tabla 5.15 es de un valor de 10, el valor corresponde a que dentro de la unidad se tiene un proceso cerrado, existe tubería permanente instalada en la unidad.

El siguiente paso es el 4.3.8 correspondiente al cálculo del Factor de Riesgos Especiales de Proceso “S”, los datos necesarios para llenar y calcular dicho factor se encuentran en la especificación NRF-027-CFE-2004 y en las especificaciones del equipo en la unidad analizada.

El resultado del Factor “S” en la Tabla 5.15 es de 230 resultante de los riesgos existentes en el proceso, ya el cual pueden existir fallas de fuga del material en caso de un accidentes y el peso del mismo equipo puede causar fatiga en la estructura, y al ser un equipo que funciona en un ambiente de alto voltaje y alta tensión el riesgo por descarga electrostática es el más alto.

El siguiente paso es 4.3.9 correspondiente al cálculo del Factor Cantidad de Material en el Proceso, este valor se obtiene de la misma forma en la que fue obtenido en la sección de Área 9 y la cantidad de material clave presente en la unidad que representa el factor “k”.

El resultado del factor en la Tabla 5.15 corresponde a un valor de 60.45 según la lectura de la gráfica correspondiente o la ecuación correspondiente a la cantidad de material.

El siguiente punto es el 4.3.10 correspondiente al Factor de Riesgo por Distribución de la Unidad “L”, los datos necesarios para esta información se obtienen de la figura 5.37 y de la hoja de especificación del Transformador de Corriente instalado en el sitio.

Los datos necesarios son la altura de ambos transformadores es de 5m y corresponde al factor “H” y el área de trabajo que corresponde a un área de 675.8$m^2$, que corresponde al factor “N”, también es necesaria información de la especificación NRF-027-CFE-2004, por la existencia de áreas subterráneas en la unidad.

El valor correspondiente en la Tabla 5.15 al factor “L” es de 225, y es totalmente proporcionado debido a la existencia de un área subterránea en la unidad, por la cual se transportan los cables necesarios para el funcionamiento del equipo, y un factor por el exceso de la unidad de proceso.

El siguiente punto en la metodología es el 4.3.11 que corresponde al cálculo del Factor por Toxicidad “T”, para este punto se necesitan los valores STEL y TLV del material clave, los cuales se encuentran en la hoja de especificación del material, ubicada en el Anexo B, también se necesitan las características físicas del compuesto como color y aroma en su forma tóxica.

El resultado del cálculo del factor “T” en la Tabla 5.15 tiene un valor de 300, que corresponde a que el Aceite Dieléctrico en el proceso se encuentra como líquido, se puede absorber por la piel, así mismo por los valores de TLV y STEL que posee el aceite dieléctrico.

El siguiente paso en la metodología corresponde al cálculo de los distintos índices del análisis de riesgo.

El primero de ellos es el que corresponde al punto 4.3.12 correspondiente al Índice General de Riesgo “D”, se calcula con la ecuación 4.9.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 0.69 que de acuerdo a la tabla 3.43 corresponde a un riesgo de categoría “Suave”, esto se debe principalmente a que el índice “D”, esta afectado principalmente por el factor material y en el caso del aceite dieléctrico el valor es muy pequeño debido a que es un material no flamable, la categoría de “Suave” es la más baja en las categorías del índice, indicando un daño muy suave en la unidad.

Así mismo el segundo factor más representativo es el de riesgo especial del material “M” y el aceite dieléctrico no presenta ningún riesgo especial por sus características naturales.

Otros factores que afectan dicho índice son el de Riesgos Especiales del Proceso, Cantidad de Material, y Distribución de la unidad, tampoco aportan un valor significativo al índice.

Finalmente el índice de Toxicidad que aporta el mayor valor a dicho índice no es tan significativo en el mismo.

El segundo índice corresponde al punto 4.3.13 y es el Índice de Carga de Combustible “F”, se calcula como indica la ecuación 4.10.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 103.85 que de acuerdo la tabla 3.44, corresponde a una categoría “Ligero”, en el que en caso de un incendio se puede esperar un fuego con duración de un cuarto de hora a hora y media, siendo la categoría “Ligero” la categoría más baja del índice.

El valor de este índice resulta bajo debido a que tanto el factor material “B” es muy pequeño en comparación del área de trabajo “N”.

El tercer índice corresponde al punto 4.3.14 y es el Índice Unitario de Toxicidad “U”, se calcula como indica la ecuación 4.11.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 5.4 que de acuerdo a la tabla 3.47 corresponde a una categoría de riesgo “Moderado”, esto es principalmente a las características tóxicas del aceite dieléctrico, y las condiciones en las que se encuentra en la unidad permiten su detección haciendo la unidad tóxica pero con información a quien resuelve el problema de la presencia de la sustancia química.

El cuarto índice corresponde al punto 4.3.15 y es el Índice de Máximo Incidente Tóxico “C”, se calcula como indica la ecuación 4.12.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 326 que de acuerdo a la tabla 3.48 corresponde a una categoría de riesgo “Alto”, esto se debe a que el índice es resultado del índice unitario de toxicidad “U” y el factor de cantidad de material “Q”, siendo el valor de Q bastante grande, el máximo incidente tóxico que puede esperarse en caso de un percance se denomina como “Moderado” siendo este la categoría intermedia del índice.

El quinto índice corresponde al punto 4.3.16 y es el Índice de Explosión Interna de Unidad “E”, se calcula como indica la ecuación 4.13.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 3.4 que de acuerdo a la tabla 3.45 corresponde a una categoría de riesgo “Moderado”, esto se debe principalmente a que los factores de riesgo especial de Proceso “S” y riesgos generales de Proceso “P”, por las características del proceso que se lleva acabo en la unidad, la categoría de “Moderado” se encuentra al mitad del índice lo que significa que el proceso es moderadamente peligroso en caso de una explosión interna en la unidad.

El sexto índice corresponde al punto 4.3.17 y es el Índice de Explosión Aérea “A”, se calcula como indica la ecuación 4.14.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 1.30 que de acuerdo a la tabla 3.46 corresponde a una categoría de riesgo “Ligero”, esto es principalmente a que factores por los cuales se compone dicho índice son los de menor valor en el análisis de riesgos. La categoría de “Ligero” es la más baja del índice lo que indica que ante una explosión no se liberaría mucho material de forma aérea.

El séptimo índice corresponde al punto 4.3.18 y es el Índice de Riesgo General Mond “R”, se calcula como indica la ecuación 4.15.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 1.77 que de acuerdo a la tabla 3.49 corresponde a una categoría de riesgo “Suave”, siendo esta la categoría más baja del índice, lo que indica que en general la unidad representa un riesgo mínimo en caso de un accidente.

Después del calculo de los índices es necesario determinar las disminuciones en los mismos dependiendo de las diversas características que existen para la diminución de riesgos. Como indican los puntos 4.3.19, 4.3.20, 4.3.21,4.3.22, 4.3.23, 4.3.24.

El primer factor de contención que corresponde al punto 4.3.19, correspondiente a la Prevención de Riesgos en Almacenamiento “$K_1$”, la información necesaria para el cálculo de dicho factor se encuentra en la especificación NRF-027-CFE-2004.

***Tabla 5.16 Factores de Seguridad para sección Área 9***

| **Área 9 Puebla 2000** | |
|---|---|
| **Factores de Seguridad** | **Valor** |
| **Factores de Contención K1** | 0.950 |
| **Control de Proceso K2** | 0.765 |
| **Actitud con Respecto a la Seguridad K3** | 0.807 |
| **Protección Contra Fuego K4** | 0.742 |
| **Aislamiento de Corte de Material K5** | 1 |
| **Combate de Incendio K6** | 1 |

El valor para este factor en la Tabla 5.16 de 0.95 que es principalmente producto de las medidas de seguridad que se tienen en el diseño del equipo y área de trabajo en la unidad seleccionada.

El segundo factor de contención corresponde al punto 4.3.20, correspondiente al control del Proceso "$K_2$", la información necesaria para el cálculo de este factor se encuentra en la especificación NRF-027-CFE-2004.

Este factor en la Tabla 5.16 tiene un valor de 0.7650, que corresponde a la forma en que el proceso opera, en su mayor parte gracias a respuestas remotas e inmediatas en el proceso.

El tercer factor de contención corresponde al punto 4.3.21, correspondiente al factor de Actitud con Respecto a la Seguridad "$K_3$", la información necesaria para el cálculo de este factor se encuentran en la especificación NRF-027-CFE-2004, en la política de Calidad de C.F.E.

El factor correspondiente en la Tabla 5.16 es de 0.80 debido a que la forma de trabajar de la C.F.E. esta enfocada a ser una empresa de calidad mundial, y el aspecto de seguridad esta al mismo nivel que la producción.

El cuarto factor de contención corresponde al punto 4.3.22 correspondiente a la Protección Contraincendios "$K_4$", la información necesaria para el cálculo de este factor se encuentra en la Guía CFE H1000-41 "Prevención, control y extinción de incendios en subestaciones eléctricas de distribución", esta información no se encontrara disponible en los Anexos debido a que es información clasificada por la empresa.

El resultado de dicho factor en la Tabla 5.16 es de 0.7421, debido a las diversas medidas adoptadas por la CFE para la prevención de incendios, tales como el uso de estructuras resistentes al fuego, cables resistentes al fuego.

El quinto factor de contención es el correspondiente al punto 4.3.23 de aislamiento por corte de material "$K_5$", la información necesaria para el cálculo de este factor se encuentra en la especificación NRF-027-CFE-2004.

El resultado de este factor en la Tabla 5.16 es 1 ya que en esta sección no aplican ninguno de los sistemas de contención.

El sexto y último factor que debe ser calculado corresponde al punto 4.3.24, correspondiente al factor de combate contra incendios, la información necesaria para el cálculo de este factor se encuentra en la guía CFE H1000-41.

El resultado de dicho factor tiene un valor en la Tabla 5.16 de 1 ya que los elementos de combate contra incendios no están disponibles para esta sección.

Una vez calculados todos los factores es necesario corregir algunos de los índices anteriormente calculados para ver el efecto de las medidas de contención en estos, los índices que se modifican son “F”, “E”, “A” y “R”.

Para calcular el índice “F” corregido se utiliza la ecuación 4.16 del punto 4.3.25, el valor final del Índice “F” es de 73.24, que de acuerdo a la tabla 3.44, es una categoría de riesgo “Ligero”, en donde se puede esperar que un fuego arde por espacio de entre un cuarto y media hora.

Para calcular el índice “E” corregido se utiliza la ecuación 4.17 del punto 4.3.26, el valor final del Índice “E” es de 2.09, que de acuerdo a la tabla 3.45, es una categoría de riesgo “Bajo”, en dónde la explosión interna representa un riesgo bajo en la unidad.

El calculo del índice “A” corregido se utiliza la ecuación 4.18 del punto 4.3.26, el valor final del Índice “A” es de 1.23 que representa de acuerdo a la tabla 3.46, una categoría de riesgo “Ligero”, en dónde el daño por explosión aérea es pequeño.

El cálculo del índice “R” corregido se realiza siguiendo el punto 4.3.27 utilizando la ecuación 4.19 y se obtuvo un valor de 0.77 que de acuerdo a la tabla 3.29 representa una categoría de riesgo “Suave”, dónde la unidad representa un riesgo “Suave” en caso de ocurrir un accidente.

En la figura 5.39 se observa los diferentes Índices calculados para la sección Área 9 tanto los normales como los corregidos, en ella podemos observar como las medidas de contención disminuyeron los índices en dónde se aplicaron, sin embargo no en la cantidad en la que se disminuyeron en otras unidades esto debido a que la unidad se encuentra al aire libre y carece de sistemas contra incendio, esto demuestra que estas medidas de contención realmente pueden ayudar a disminuir el riesgo de una unidad de proceso.

| Índices sin Corrección por Factores de Seguridad | | |
|---|---|---|
| Índice General de Riesgo | | |
| D1= | 0.690450793 | Suave (1/9) |
| Carga de Combustible | | |
| F1= | 103.8953832 | Ligero (1/8) |
| Índice Unitario de Toxicidad | | |
| U1= | 5.4 | Moderado (3/5) |
| Índice de Incidente mayor de Toxicidad | | |
| C1= | 326.4342839 | Alto (4/5) |
| Índice Interno de Explosión | | |
| E1= | 3.4 | Moderado (3/5) |
| Índice de Explosión Aérea | | |
| A1= | 1.303212267 | Ligero (1/5) |
| Índice Mond | | |
| R1= | 1.77906695 | Suave (1/8) |

| Índices con Corrección por Factores de Seguridad | | |
|---|---|---|
| Carga de Combustible | | |
| F2= | 73.2408 | Ligero (1/8) |
| Índice Interno de Explosión | | |
| E2= | 2.09824 | Bajo (2/5) |
| Índice de Explosión Aérea | | |
| A2= | 1.23805 | Ligero (1/5) |
| Índice Mond | | |
| R2= | 0.77397 | Suave (1/8) |

***Figura. 5.39 Índices Normales y Corregidos para sección de Área 9.***

*5.3.3. Caseta 2000*

Debido a las limitaciones de información disponible para el público en general las fotos de las placas de información del equipo encontrado, en la cual se contiene el número de equipo y datos generales de proceso, en la sección de Caseta 2000 no pueden mostrarse. Así que los datos aquí recabados deben tomarse como ciertos, dichos datos son las condiciones de operación y cantidades de productos químicos, la tabla 5.17 tiene la información de las condiciones de operación de la sección de Equipos. Una imagen del exterior de esta sección se observa en el Anexo "C" en la figura C.2.

***Tabla 5.17 Condiciones de Caseta 2000.***

| | |
|---|---|
| Temperatura | 25 °C |
| Presión | atmosférica |

Con la información de la tabla 5.10 se observa que existen dos compuestos químicos, plomo y ácido sulfúrico, por lo tanto debe seleccionarse uno de estos dos compuestos como el material clave, se selecciono el ácido sulfúrico debido a que se encuentra en estado líquido y es más corrosivo que el plomo, ambos se encuentran en la misma cantidad.

La hoja de seguridad de este compuesto se encuentra en el Anexo "B", de esta hoja se obtiene los valores de Peso Molecular, la identificación según la National Fire Protection Agency (NFPA).

La figura A.49 del Anexo "A" contiene el vaciado de datos en la hoja de cálculo, son algunos de los datos necesarios para comenzar el análisis de riesgos.

El siguiente paso en la metodología es 4.3.5, el calculo del Factor Material "B" que se define conociendo las propiedades del material clave, para la determinación si un material es inflamable o no, se decidió que se utilizará el criterio de la NFPA para inflamabilidad.

El cálculo de los factores se encuentra en las figuras A.50 a A.64 del Anexo "A".

En la Tabla 5.18 se observa un factor "B" de 0.10, el valor es pequeño debido a que la sustancia es considerada como material no combustible.

El siguiente paso es el 4.3.6, cálculo del Factor Especial de Material "M", los datos requeridos para este cálculo provienen, de la hoja de especificación del material clave.

El factor "M" en la Tabla 5.18 tiene un valor de 305, esto se debe a que el ácido sulfúrico cuenta con algunas de las propiedades de riesgos especiales, reacciona con agua para producir Hidrogeno que es un gas combustible. Dentro de este cálculo también se obtiene el valor del factor "m" correspondientes a las características de mezclado, también posee un valor de 0, no

se incluye el valor de Hidrogeno debido a que no se mezcla en el proceso, así mismo el ácido puede reaccionar en una descomposición explosiva y estar sujeto a detonación gaseosa.

***Tabla 5.18 Factores de Riesgo para la Sección Caseta 2000***

| Caseta Puebla 2000 | |
|---|---|
| **Factores de Riesgo** | **Valor** |
| **Factor Material "B"** | 0.10 |
| **Riesgos Especiales del Material "M"** | 305 |
| **Características de Mezclado y Dispersión "m"** | 0 |
| **Riesgos Generales de Proceso "P"** | 160 |
| **Riesgos Especiales de Proceso "S"** | 370.00 |
| **Riesgos por Cantidad de Material Total "Q"** | 2.20 |
| **Cantidad de Material Toneladas "k"** | 0.22 |
| **Riesgos por Distribución de la Unidad "L"** | 0 |
| **Altura "H"** | 1.5 |
| **Área de trabajo "N"** | 21 |
| **Riesgos por Toxicidad "T"** | 280 |

El siguiente paso es el 4.3.7 correspondiente al calculo del factor correspondiente a los Riesgos Generales de Proceso “P”, para el llenado de esta sección es necesario conocer el funcionamiento del equipo para esta sección son los transformadores para Media Tensión, los datos del funcionamiento de dicho equipo se encuentran en la hoja de especificación provisional de la C.F.E. aun sin número, “Batería de Plomo-Ácido” y la Guía provisional CFE 04400-42 “Guía de Criterios Básicos para Subestaciones de 115, 230 y 400kv”, esta información no se encuentra en los anexos debido a que es información clasificada de la compañía.

El resultado del factor “P” en la Tabla 5.18 tiene un valor de 160, el valor corresponde a que dentro de la unidad se tiene un proceso cerrado, se dan reacciones exotérmicas en la batería de oxidación-reducción y se da el proceso con materiales sólidos, así mismo se encuentran baterías llenas en el piso sin estar conectadas a la unidad.

El siguiente paso es el 4.3.8 correspondiente al cálculo del Factor de Riesgos Especiales de Proceso “S”, los datos necesarios para llenar y calcular dicho factor se encuentran en la C.F.E. aun sin número, “Batería de Plomo-Ácido” y la Guía provisional CFE 04400-42, en las especificaciones del equipo en la unidad analizada.

El resultado del Factor “S” en la Tabla 5.18 es de 370 resultante de los riesgos existentes en el proceso, ya el cual pueden existir fallas de fuga del material en caso de un accidentes y

explosión de vapor en caso de malfuncionamiento de las baterías, y al ser un equipo que funciona en un ambiente de alto voltaje y alta tensión el riesgo por descarga electrostática es el más alto.

El siguiente paso es 4.3.9 correspondiente al cálculo del Factor Cantidad de Material en el Proceso, este valor se obtiene de la misma forma en la que fue obtenido en la sección de Edificio S.E. y la cantidad de material clave presente en la unidad que representa el factor "k".

El resultado del factor en la Tabla 5.18 corresponde a un valor de 2.2 según la lectura de la gráfica correspondiente o la ecuación correspondiente a la cantidad de material.

El siguiente punto es el 4.3.10 correspondiente al Factor de Riesgo por Distribución de la Unidad "L", los datos necesarios para esta información se obtienen de la figura 5.37 y del análisis del cuarto de baterías.

Los datos necesarios son la altura del arreglo de baterías es de 1.5m y corresponde al factor "H" y el área de trabajo, que se midió y se ubica dentro del área de caseta que corresponde a un área de $21m^2$, que corresponde al factor "N".

El valor correspondiente al factor "L" en la Tabla 5.18 es de 0, debido a que en la unidad no se presentan ninguna de las situaciones correspondientes al factor "L".

El siguiente punto en la metodología es el 4.3.11 que corresponde al cálculo del Factor por Toxicidad "T", para este punto se necesitan los valores STEL y TLV del material clave, los cuales se encuentran en la hoja de especificación del material, ubicada en el Anexo B, también se necesitan las características físicas del compuesto como color y aroma en su forma tóxica.

El resultado del cálculo del factor "T" en la Tabla 5.18 tiene un valor de 280, que corresponde a que el Ácido Sulfúrico en el proceso se encuentra como líquido, se puede absorber por la piel, así mismo por los valores de TLV y STEL que posee el ácido.

El siguiente paso en la metodología corresponde al cálculo de los distintos índices del análisis de riesgo.

El primero de ellos es el que corresponde al punto 4.3.12 correspondiente al Índice General de Riesgo "D", se calcula con la ecuación 4.9.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 2.19 que de acuerdo a la tabla 3.43 corresponde a un riesgo de categoría "Suave", esto se debe principalmente a que el índice "D", esta afectado principalmente por el factor material y en el caso del ácido sulfúrico el valor es

muy pequeño debido a que es un material no flamable, la categoría de “Suave” es la más baja en las categorías del índice, indicando un daño muy suave en la unidad.

Así mismo el segundo factor más representativo es el de riesgo especial del material “M” y el ácido sulfúrico si presenta riesgo especial por sus características naturales.

Otros factores que afectan dicho índice son el de Riesgos Especiales del Proceso, Cantidad de Material, y Distribución de la unidad, tampoco aportan un valor significativo al índice. Finalmente el índice de Toxicidad que aporta el mayor valor a dicho índice no es tan significativo en el mismo.

El segundo índice corresponde al punto 4.3.13 y es el Índice de Carga de Combustible “F”, se calcula como indica la ecuación 4.10.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 21.47 que de acuerdo la tabla 3.44, corresponde a una categoría “Ligero”, en el que en caso de un incendio se puede esperar un fuego con duración de un cuarto de hora a hora y media, siendo la categoría “Ligero” la categoría más baja del índice.

El valor de este índice resulta bajo debido a que tanto el factor material “B” es muy pequeño en comparación del área de trabajo “N”.

El tercer índice corresponde al punto 4.3.14 y es el Índice Unitario de Toxicidad “U”, se calcula como indica la ecuación 4.11.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 11.15 que de acuerdo a la tabla 3.47 corresponde a una categoría de riesgo “Muy alto”, esto es principalmente a las características tóxicas del ácido sulfúrico, y las condiciones en las que se encuentra en la unidad permiten su detección haciendo la unidad tóxica pero con información a quien resuelve el problema de la presencia de la sustancia química.

El cuarto índice corresponde al punto 4.3.15 y es el Índice de Máximo Incidente Tóxico “C”, se calcula como indica la ecuación 4.12.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 24.54 que de acuerdo a la tabla 3.48 corresponde a una categoría de riesgo “Bajo”, esto se debe a que el índice es resultado del índice unitario de toxicidad “U” y el factor de cantidad de material “Q”, siendo el valor de “Q” muy pequeño, el máximo incidente tóxico que puede esperarse en caso de un percance se denomina como “Bajo” siendo este la segunda categoría menos peligrosa.

El quinto índice corresponde al punto 4.3.16 y es el Índice de Explosión Interna de Unidad "E", se calcula como indica la ecuación 4.13.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 9.35 que de acuerdo a la tabla 3.45 corresponde a una categoría de riesgo "Muy Alto", esto se debe principalmente a que los factores de riesgo especial de Proceso "S" y riesgos generales de Proceso "P", por las características del proceso que se lleva acabo en la unidad, la categoría de "Muy alto" siendo esta la categoría más peligrosa.

El sexto índice corresponde al punto 4.3.17 y es el Índice de Explosión Aérea "A", se calcula como indica la ecuación 4.14.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 0.49 que de acuerdo a la tabla 3.46 corresponde a una categoría de riesgo "Ligero", esto es principalmente a que factores por los cuales se compone dicho índice son los de menor valor en el análisis de riesgos. La categoría de "Ligero" es la más baja del índice lo que indica que ante una explosión no se liberaría mucho material de forma aérea.

El séptimo índice corresponde al punto 4.3.18 y es el Índice de Riesgo General Mond "R", se calcula como indica la ecuación 4.15.

El resultado de dicho índice tiene un valor de 4.50 que de acuerdo a la tabla 3.49 corresponde a una categoría de riesgo "Suave", siendo esta la categoría más baja del índice, lo que indica que en general la unidad representa un riesgo mínimo en caso de un accidente.

Después del calculo de los índices es necesario determinar las disminuciones en los mismos dependiendo de las diversas características que existen para la diminución de riesgos. Como indican los puntos 4.3.19, 4.3.20, 4.3.21,4.3.22, 4.3.23, 4.3.24.

El primer factor de contención que corresponde al punto 4.3.19, correspondiente a la Prevención de Riesgos en Almacenamiento "$K_1$", la información necesaria para el cálculo de dicho factor se encuentra en la guía provisional CFE 04400-42 y la hoja de especificación provisional "Batería Plomo-Ácido".

***Tabla 5.19 Factores de Seguridad para sección Caseta 2000***

| Caseta Puebla 2000 | |
|---|---|
| **Factores de Seguridad** | **Valor** |
| **Factores de Contención K1** | 1.000 |
| **Control de Proceso K2** | 0.850 |
| **Actitud con Respecto a la Seguridad K3** | 0.807 |
| **Protección Contra Fuego K4** | 0.850 |
| **Aislamiento de Corte de Material K5** | 1 |
| **Combate de Incendio K6** | 1 |

El valor para este factor en la Tabla 5.19 es de 1 ya que la unidad, solamente son las baterías Plomo-Ácido y no cuentan con ningún tipo de control.

El segundo factor de contención corresponde al punto 4.3.20, correspondiente al control del Proceso "$K_2$", la información necesaria para el cálculo de este factor se encuentra en la guía provisional CFE 04400-42 y la hoja de especificación provisional "Batería Plomo-Ácido".

Este factor en la Tabla 5.19 tiene un valor de 0.85, que corresponde a la forma en que el proceso opera, en su mayor parte gracias a respuestas remotas e inmediatas en el proceso.

El tercer factor de contención corresponde al punto 4.3.21, correspondiente al factor de Actitud con Respecto a la Seguridad "$K_3$", la información necesaria para el cálculo de este factor se encuentra en la guía provisional CFE 04400-42 y la hoja de especificación provisional "Batería Plomo-Ácido", en la política de Calidad de C.F.E.

El factor correspondiente en la tabla 5.19 es de 0.80 debido a que la forma de trabajar de la C.F.E. esta enfocada a ser una empresa de calidad mundial, y el aspecto de seguridad esta al mismo nivel que la producción.

El cuarto factor de contención corresponde al punto 4.3.22 correspondiente a la Protección Contraincendios "$K_4$", la información necesaria para el cálculo de este factor se encuentra en la Guía CFE H1000-41 "Prevención, control y extinción de incendios en subestaciones eléctricas de distribución", esta información no se encontrara disponible en los Anexos debido a que es información clasificada por la empresa.

El resultado de dicho factor en la Tabla 5.19 es de 0.85, debido a la medida del uso de cables resistentes al fuego en la sección de caseta 2000.

El quinto factor de contención es el correspondiente al punto 4.3.23 de aislamiento por corte de material "$K_5$", la información necesaria para el cálculo de este factor se encuentra en la guía provisional CFE 04400-42 y la hoja de especificación provisional "Batería Plomo-Ácido".

El resultado de este factor en la Tabla 5.19 es 1 ya que en esta sección no aplican ninguno de los sistemas de contención.

El sexto y último factor que debe ser calculado corresponde al punto 4.3.24, correspondiente al factor de combate contra incendios, la información necesaria para el cálculo de este factor se encuentra en la guía CFE H1000-41.

El resultado en la Tabla 5.19 de dicho factor tiene un valor de 0.95 ya que único elemento disponible es la existencia de extintores de mano.

Una vez calculados todos los factores es necesario corregir algunos de los índices anteriormente calculados para ver el efecto de las medidas de contención en estos, los índices que se modifican son "F", "E", "A" y "R".

Para calcular el índice "F" corregido se utiliza la ecuación 4.16 del punto 4.3.25, el valor final del Índice "F" es de 18.25, que de acuerdo a la tabla 3.44, es una categoría de riesgo "Ligero", en donde se puede esperar que un fuego arde por espacio de entre un cuarto y media hora.

Para calcular el índice "E" corregido se utiliza la ecuación 4.17 del punto 4.3.26, el valor final del Índice "E" es de 6.41, que de acuerdo a la tabla 3.45, es una categoría de riesgo "Muy alto", en dónde la explosión interna representa un riesgo muy alto para la unidad.

El calculo del índice "A" corregido se utiliza la ecuación 4.18 del punto 4.3.26, el valor final del Índice "A" es de 0.46 que representa de acuerdo a la tabla 3.46, una categoría de riesgo "Ligero", en dónde el daño por explosión aérea es pequeño.

El cálculo del índice "R" corregido se realiza siguiendo el punto 4.3.27 utilizando la ecuación 4.19 y se obtuvo un valor de 2.49 que de acuerdo a la tabla 3.29 representa una categoría de riesgo "Suave", dónde la unidad representa un riesgo "Suave" en caso de ocurrir un accidente.

En la figura 5.40 se observa los diferentes Índices calculados para la sección Equipos tanto los normales como los corregidos, en ella podemos observar como las medidas de contención existentes para el área de Caseta 2000 son mínimas y no disminuyen en gran cantidad los índices de riesgo calculados.

| Índices sin Corrección por Factores de Seguridad | | |
|---|---|---|
| Índice General de Riesgo | | |
| D1= | 2.195913684 | Suave (1/9) |
| Carga de Combustible | | |
| F1= | 21.47619048 | Ligero (1/8) |
| Índice Unitario de Toxicidad | | |
| U1= | 11.15 | Muy alto (5/5) |
| Índice de Incidente mayor de Toxicidad | | |
| C1= | 24.54014316 | Bajo (2/5) |
| Índice de Explosión | | |
| E1= | 9.35 | Muy Alto (5/5) |
| Índice de explosión Aérea | | |
| A1= | 0.493906259 | Ligero (1/5) |
| Índice Mond | | |
| R1= | 4.505102219 | Suave (1/8) |

| Índices con Corrección por Factores de Seguridad | | |
|---|---|---|
| Carga de Combustible | | |
| F2= | 18.2548 | Ligero (1/8) |
| Índice Interno de Explosión | | |
| E2= | 6.41128 | Muy Alto (5/5) |
| Índice de Explosión Aérea | | |
| A2= | 0.46921 | Ligero (1/5) |
| Índice Mond | | |
| R2= | 2.49448 | Suave (1/8) |

***Figura 5.40 Índices Normales y Corregidos para sección de Caseta 2000.***

Comparando las figuras 5.40, 5.39 y 5.38, se observa que en la subestación eléctrica Puebla 2000 la sección de Caseta 2000 es la que tiene el número de índices con los mayores valores, siendo los de Toxicidad, Índice Interno de Explosión y el Índice Mond los más grandes entre las tres secciones.

Esto se debe principalmente a las características del material clave en la sección de Caseta 2000 es el más peligroso de las tres secciones, el que tiene la mayor características de riesgos especiales y la sección con el menor número de medidas de prevención y contención.