

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO DE PRUEBAS PARA INTERRUPTORES DE POTENCIA HASTA 34,5kV.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Vila M., Abelardo C.
para optar al título de
Ingeniero Electricista.

Caracas, 2012

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO DE PRUEBAS PARA INTERRUPTORES DE POTENCIA HASTA 34,5kV.

Profesor Guía: Ing. Nerio Ojeda
Tutor Industrial: Ing. Jorge Hernández.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Vila M., Abelardo C.
para optar al título de
Ingeniero Electricista.

Caracas, 2012

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

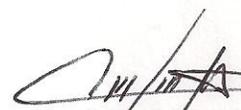
Caracas, 08 de noviembre de 2012

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Abelardo C. Vila M., titulado:

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO DE PRUEBAS PARA INTERRUPTORES DE POTENCIA HASTA 34,5 kV”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención Potencia, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.


Prof. Rafael Malpica
Jurado


Prof. José Mora
Jurado


Prof. Nerio Ojeda
Prof. Guía

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a:

Mi madre y mi padre, Haymara y Eduardo, que con ejemplo y dedicación me han enseñado valores esenciales como la honestidad y el trabajo arduo, que gracias a ellos hoy en día me han permitido alcanzar esta meta.

A mi abuela Amalia Marrero pilar fundamental de mi vida.

Gracias por su amor ilimitado.

Abelardo Vila

AGRADECIMIENTOS

A la ilustre Universidad Central de Venezuela, por haberme brindado mi formación profesional y abrir mis ideas a las distintas corrientes de pensamiento sin ningún tipo de restricción ideológica.

A la empresa VEPCA por recibirme en sus instalaciones y permitirme completar mis requisitos para la obtención de mi título profesional.

Al Ingeniero Jorge Hernández por la confianza y apoyo mostrado a lo largo de todo el periodo de pasantía.

Al Ingeniero Yvan Doubront por abrirme las puertas y ser partícipe del desarrollo de este proyecto.

A mi esposa, por ser fuente de inspiración en mi vida, brindando siempre su apoyo incondicional.

A mis compañeros de batalla, Dennys Molina, Ignacio Tamayo, Pablo Almeida, Fernando Zambrano, Héctor Mota y tantos otros que a lo largo de la carrera universitaria mostraron su apoyo y me brindaron su amistad fuera de las aulas, haciendo de esta etapa una época inolvidable.

Vila M., Abelardo C.

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO DE PRUEBAS PARA
INTERRUPTORES DE POTENCIA HASTA 34,5 kV.**

**Tutor Académico: Ing. Nerio Ojeda. Tutor Industrial: Ing. Jorge Hernández.
Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica.
Ingeniero Electricista. Opción: Potencia. Institución: Vepca. 2012. 89h. + Anexos.**

Palabras Claves: laboratorio de prueba, interruptores de potencia, pruebas funcionales, Vepca.

RESUMEN: El estudio desarrollado en este proyecto, se circunscribe a la presentación de la ingeniería conceptual y básica del sistema eléctrico para el diseño de un laboratorio de pruebas a interruptores de potencia hasta 34,5kV. El desarrollo de este proyecto permite contextualizar y dimensionar las principales características referidas a la construcción de un laboratorio de pruebas cuyo objetivo será corroborar el estado de los interruptores antes de ser entregados al cliente final, de esta forma la planta Maracay de la empresa Vepca, podrá optimizar sus procesos de revisión mantenimiento y pruebas además de garantizar el correcto desempeño de los equipos ensayados, asimismo brindar seguridad al personal que allí labore lo cual influirá en una mejor estabilidad operativa, incrementos de productividad y excelencia en la calidad del producto.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
CONSTANCIA DE APROBACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
RESUMEN	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1 Planteamiento del Problema	3
1.2 Objetivo General	4
1.3 Objetivos Específicos	4
1.3 Alcance	5
CAPÍTULO II	6
ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	
2.1 Antecedentes de la investigación	6
2.2 Marco Teórico	7
2.2.1 Interruptor de potencia	7
2.2.1.1 Clasificación de los interruptores de potencia	9
2.2.2 Laboratorio de pruebas a interruptores.	17
2.2.3 Pruebas a interruptores.	17
2.2.4 Instalación eléctrica	22
2.2.5 Canalizaciones eléctricas	22
2.2.6 Tableros	23

2.2.7 Tomacorriente	23
2.2.8 Conductores Eléctricos	24
2.2.8.1 Tipos de Conductores	24
2.2.8.2 Selección del Calibre del Conductor por Capacidad de Conducción de Corriente	25
2.2.8.3 Selección del Calibre del Conductor por Caída de Voltaje	26
2.2.9 Corriente de corto circuito	27
2.2.10 Sistemas de iluminación	27
2.2.11 Magnitudes y unidades luminosas	28
2.2.12 Tipos de iluminación	29
2.2.13 Método de los lúmenes	29
2.2.14 Nivel de iluminación requerido	30
2.2.15 Coeficiente de Utilización	31
2.2.16 Factor de mantenimiento (F.M.)	31
2.2.17 Sistemas de puesta a tierra	33
2.2.17.1 Objetivos de la Puesta a Tierra	34
2.2.17.2 Características un sistema de Puesta a Tierra	34
2.2.17.3 Definiciones y conceptos básicos	35
2.2.18 Medida de la resistividad	36
2.2.18.1 Método de Wenner	36
2.2.19 Método Análisis de Dos Capas	38

CAPÍTULO III

PROPUESTA

3.1 Diagnóstico	42
3.2 Descripción de los equipos de pruebas	46
3.3 Selección de las pruebas a realizar en el laboratorio	49
3.3.1 Pruebas funcionales.	49
3.3.2 Pruebas de inyección de corriente primaria.	50

3.3.3 Pruebas de aislamiento	51
3.3.4 Pruebas de tiempos de operación	57
3.3.5 Pruebas de resistencia del circuito principal	59
3.3.6 Pruebas de los transformadores de corriente	60
3.4 Diseño del laboratorio de pruebas	60
3.4.1 Consideraciones Generales sobre el diseño	60
3.4.2 Descripción de la infraestructura del laboratorio	61
3.4.3 Ubicación de los equipos de prueba y de los interruptores en el laboratorio	62
3.5 Cálculo de la acometida eléctrica	64
3.6 Cálculo del sistema de iluminación	71
3.6.1 Pasos a seguir en el cálculo de iluminación por el método de la cavidad zonal.	72
3.6.1.1 Determinación del nivel de iluminación requerido (N.I)	72
3.6.1.2 Determinación del coeficiente de utilización (C.U)	72
3.6.1.3 Determinación del factor de mantenimiento	76
3.6.1.4 Cálculo del número de luminarias requeridas	77
3.7 Diseño del sistema de puesta a tierra	83
3.7.1 Medición de resistividad del terreno	83
3.7.2 Modelo del suelo	84
3.7.3 Selección del sistema de puesta a tierra	85
3.7.4 Calculo del numero de barras	86
CONCLUSIONES	90
RECOMENDACIONES	91
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
ANEXOS	95

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
II.1. Interruptor de potencia	7
II.2. Interruptor de potencia, medio de extinción soplado de aire a alta presión	10
II.3. Polo de un Interruptor de potencia medio de extinción en SF ₆	11
II.4. Interruptor de potencia medio extinción el vacío.	13
II.5. Actuador Magnético	14
II.6. Interruptores de potencia tanque vivo y tanque	16
II.7. Configuración Wenner	37
II.8. Curvas $2 / 1$ versus a / h , Extraída de sistemas de puesta a tierra	41
III.1. Vista de planta actual del galpón de motores	43
III.2. Equipos de prueba.	46
III.3. Vistas de la sala de control	63
III.4. Vistas de la sala e control y área de medición	63
III.5. Curva de Resistividad Aparente	84
III.6. Disposición de las barras para el SPAT.	89

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
II.1. Factores de depreciación por suciedad en las luminarias dependiendo del ambiente.	32
II.2. Factor de mantenimiento usado en iluminación de interiores dependiendo del grado de suciedad del ambiente.	33
III.1. Carga conectada en cocina de la planta.	44
III.2. Carga conectada en las distintas áreas de la planta.	44
III.3. Carga conectada en el área de usos múltiples de la planta.	45
III.4. Condiciones de prueba caso general.	54
III.5. Clasificación de niveles de aislamiento para tensiones normalizadas.	55
III.6. Tensiones Normalizadas Para Pruebas de Resistencias Dieléctricas y Aislamiento Externo.	56
III.7. Estimación de la demanda del laboratorio.	65
III.8. Factores de multiplicación para reflectancias efectivas de la cavidad del suelo distintas del 20 %	75
III.9. Factores de depreciación por suciedad en las luminarias dependiendo del ambiente.	76
III.10. Registros de campo de las mediciones de resistividad.	83
III.11. Factor F para el cálculo de sistemas de dos barras o más.	87
III.12. Valores calculados para dos barras o más en el sistema.	88

INTRODUCCIÓN

La compañía Venezolana de Equipos de Potenciación, VEPCA, C.A. Es una empresa dedicada al suministro, instalación, prueba y mantenimiento operativo de equipos para el sector eléctrico, electromecánico e industrial. Los clientes principales de esta empresa son: la Corporación Electrica Nacional (Compañía Anónima de Administración y Fomento Eléctrico, Electricidad de Caracas, Enelven, Genevapca, Elebol, Elevel), Petróleos de Venezuela, S.A. (P.D.V.S.A.), Hidrocapital, Hidrocentro y otras empresas similares.

Entre los equipos que la empresa comercializa se encuentran los interruptores de potencia, dispositivos cuya función consiste en interrumpir o restablecer la conducción de corriente en un circuito eléctrico, la interrupción se puede efectuar para despejar fallas o bien por razones de servicio, para conectar o desconectar cualquier elemento del sistema eléctrico aguas abajo. A los interruptores de potencia es necesario realizarles una serie de pruebas antes de ser entregados al cliente final, el resultado de dichas pruebas es suficiente para evaluar la condición del interruptor y de esta forma garantizar la calidad del producto

En este trabajo de grado se especificarán los lineamientos mínimos necesarios a seguir en el diseño de un laboratorio de pruebas a interruptores de potencia hasta 34,5 kV. En la planta ubicada en la ciudad de Maracay, en el cual se podrá corroborar el correcto funcionamiento de los interruptores, todo esto acorde a las directrices proporcionadas por la empresa VEPCA, C.A.

Con la realización de esta investigación la empresa Venezolana de Equipos de Potenciación Compañía Anónima, podrá optimizar sus procesos de inspección y garantizar el correcto funcionamiento de los equipos antes de entregarlos al cliente

final, lo cual influirá en una mejor estabilidad operativa, incrementos de productividad y excelencia en la calidad del producto.

Esta investigación está estructurada en cuatro capítulos, el CAPÍTULO I presenta el planteamiento del problema y sus generalidades, el CAPÍTULO II corresponde al marco teórico, donde se desarrollan las diferentes teorías que sustentan la investigación, luego el CAPÍTULO III corresponde a la solución, donde se plantea la propuesta general para dar respuesta a los distintos objetivos planteados, dando paso al cuarto y último CAPÍTULO que corresponde las conclusiones y recomendaciones de esta investigación, a su vez también se contará con anexos asociados a este trabajo.

CAPÍTULO I

1.1 Planteamiento del Problema

El continuo crecimiento del consumo de energía eléctrica, obliga a las compañías prestadoras del servicio eléctrico a mejorar día a día la calidad de la energía entregada; trayendo consigo un continuo aumento de la longitud de las líneas de transmisión y su necesaria interconexión para asegurar un óptimo abastecimiento de la demanda. Existe un elemento que es común a todos los sistemas de energía, en baja o en alta tensión, en la generación, transmisión o distribución; usado como elemento de protección o de interconexión: un interruptor de potencia.

La empresa Venezolana de Equipos de Potenciación, C.A. es representante exclusiva para Venezuela de Hawker Siddeley Switchgear (HSS), quien es un importante fabricante de interruptores de potencia los cuales tienen aplicación en subestaciones de distribución, en el área industrial, en parques eólicos, entre otras muchas aplicaciones.

Hawker Siddeley Switchgear (HSS), anteriormente suministraba los interruptores completamente armados y listos para poner en servicio, pero en la actualidad por razones de carácter corporativo la empresa VEPCA, ha decidido hacer la integración de la etapa de control de los interruptores en el país, por esa razón, a todos los equipos, para poder salir de la planta se les debe realizar un protocolo de pruebas interno, y de esta forma se verifica si el interruptor está apto o no para poder ser puesto en servicio, asimismo con esta información se creará una base de datos, la cual servirá para comparar con otros resultados obtenidos en pruebas futuras, en el caso que se amerite una verificación por mantenimiento o por falla del equipo, al mismo tiempo tener toda la información de cada uno de los equipos durante su vida

útil, además la mayoría de las empresas que compran estas unidades tienen políticas internas en las cuales se exige revisar cada uno de los interruptores y dentro de esa revisión entran las pruebas de conformidad, estas pruebas de conformidad son las que necesariamente se realizarán en el laboratorio.

Debido a la necesidad de contar con un área apropiada, cómoda y segura para realizar las pruebas además de una presunta falta de un sistema confiable de puesta a tierra, aunado a la gran demanda de interruptores de potencia que se presenta actualmente por las causas mencionadas anteriormente, la compañía Venezolana de Equipos de Potenciación (VEPCA), se ha visto en la necesidad de adecuar un espacio, en las instalaciones existentes para la implementación de un laboratorio de pruebas a interruptores de potencia, en el cual se podrá trabajar más cómodamente y se garantizarán todas las medidas de seguridad.

1.2 Objetivo General

Diseñar e implementar un laboratorio de pruebas a interruptores de potencia de hasta 34,5kV, 1250 A, en las instalaciones de la empresa VEPCA, ubicada en la ciudad de Maracay.

1.3 Objetivos Específicos

- Estudiar la situación actual.
 - Evaluar la infraestructura.
 - Elaborar los planos de las instalaciones físicas.
 - Evaluar el sistema eléctrico existente.
 - Elaborar los planos de las instalaciones eléctricas.
 - Evaluar el sistema de puesta a tierra existente.
 - Identificar los equipos disponibles para realizar las pruebas.

- Describir los ensayos de rutina, necesarios a realizar a los interruptores de potencia conforme a los requerimientos de las normas nacionales e internacionales.
- Seleccionar las pruebas que se realizarán en el laboratorio, basados en las necesidades de la empresa.
- Especificar equipos que se necesiten para las pruebas y que no se dispongan.
- Diseñar las canalizaciones eléctricas.
- Diseñar el sistema de puesta a tierra.
- Elaborar los planos de las canalizaciones eléctricas y del sistema de puesta a tierra.
- Ubicar los equipos de prueba en las diferentes áreas destinadas para el laboratorio.

1.3 Alcance

El estudio que será desarrollado en este proyecto se circunscribirá a la presentación de la ingeniería básica y conceptual del sistema eléctrico, para el diseño de un laboratorio de pruebas para interruptores de potencia de media tensión, atendiendo los distintos lineamientos y reglamentos internos de la empresa, además de la descripción con los respectivos diagramas de conexiones las distintas pruebas que se realizarán en él.

CAPÍTULO II

2.1 Antecedentes de la investigación

La empresa VEPCA, cuenta con la infraestructura, logística y experiencia comprobada por más de 21 años de servicio relacionado con el sector eléctrico, desde su creación introduce al mercado venezolano productos de importación de diversas marcas, ya que es representante exclusiva para Venezuela de marcas como el grupo Hawker Siddeley Switchgear (HSS), Omicrom, Beckwith Electric, Brush, Hastings fiber glass products, Maclean Power Systems, Vanguard Instruments, ERL-Phase, entre otros.

En el año 1994 fue que se comenzó a comercializar en el país los interruptores y reconectores de la marca Hawker Siddeley Switchgear (HSS).

Hawker Siddeley Switchgear (HSS), es una importante empresa fabricante de interruptores y reconectores que tiene sede en el Reino Unido, con la cual Vepca mantiene relaciones comerciales desde hace mas de 16 años, y se encargaba de la comercialización, distribución y servicio post venta todo el territorio nacional, desde entonces se han especializado en las labores de mantenimiento y por supuesto en las pruebas para determinar el estado de dichos equipos, así sucedió durante los últimos años, fue a partir del año 2005 mediante un convenio de integración nacional en el que la empresa CADAFE ahora CORPOELEC, compró un lote importante de interruptores, lo que generó que se tomaran decisiones para aumentar la productividad y la velocidad de respuesta, para poder satisfacer las necesidades. Una de las decisiones que se tomó fue la de traer los interruptores e implementar la etapa de control (circuitos, cableado y relé de protecciones) en Venezuela, lo que originó la necesidad de realizar las pruebas de aceptación en el país, el espacio que se tenía

disponible era el galpón ubicado en la ciudad de Maracay, es por ello que se hace obligatorio implementar un área donde se cuenten con las condiciones necesarias para tal fin. En la actualidad estas pruebas se hacen pero de una manera poco eficiente y sin las adecuadas medidas de seguridad, debido a que los equipos de medición son llevados hasta donde están los interruptores y cada vez que se termina una prueba hay que desinstalar e instalar nuevamente y además no están las áreas de trabajo no están bien demarcadas.

2.2 Marco Teórico

A continuación se presentan un conjunto de conceptos o categorías de análisis que sirven de base para la comprensión y entendimiento del tema objeto de estudio.

2.2.1 Interruptor de potencia



Figura. N°II.1. Interruptor de potencia. [1]

La necesidad de interrumpir corrientes en condiciones de falla, se presentó desde la instalación de los primeros sistemas de transmisión de energía eléctrica, debido a los graves efectos mecánicos y térmicos, que se producen en los distintos elementos del sistema eléctrico en presencia de una falla, es necesario interrumpir o eliminar en el menor tiempo posible las corrientes producidas por dicha falla antes que los daños a componentes del sistema sean irreversibles. Los primeros dispositivos creados para esta función fueron los fusibles, que consisten básicamente en un alambre conductor calibrado para fundirse a un determinado valor de corriente, sin embargo, con el crecimiento día a día de los sistemas eléctricos fue necesaria la creación de un dispositivo con capacidad interrumpir corrientes de falla de gran magnitud, ese dispositivo es el interruptor de potencia.

Por lo arriba expuesto los interruptores de potencia deben disponer de ciertas características básicas que le permitan cumplir su función, a continuación se indican las principales:

1. Suficiente robustez mecánica para soportar los efectos térmicos y mecánicos asociados a las corrientes que debe interrumpir.
2. Operar con suficiente velocidad para interrumpir la corriente de falla en el menor tiempo posible, y reducir los efectos de estas corrientes en el resto del sistema.

En los sistemas de potencia eléctricos el proceso de interrupción de las corrientes de falla se lleva a cabo en dos fases, en la primera se produce la separación mecánica de los contactos, típicamente un contacto queda fijo y el otro es el que efectúa el movimiento, llamado contacto móvil. Al separarse los contactos y por las condiciones del sistema eléctrico, se presentará una sobretensión entre los contactos que ionizará el medio, creando un “arco eléctrico” que mantendrá la continuidad de la corriente de falla, es aquí donde entra en juego la segunda fase del proceso de interrupción, que consiste en extinguir este arco para lograr completamente la

interrupción de la corriente. Para cumplir con esto los interruptores deben disponer de al menos un sistema mecánico o mecanismo, que le permita mover su o sus contactos suficientemente rápido para que se alcance la separación necesaria en un tiempo en el cual el arco eléctrico cause el mínimo deterioro en los contactos, además se debe proveer un medio con capacidad para extinguir el mencionado arco eléctrico. En conjunción con estos dos elementos principales se asocian algunos otros elementos auxiliares que coadyuvan en el proceso de interrupción de la corriente, tales como boquillas para soplado, configuración de los contactos, laminas para arqueado, contactos de arqueado, etc. En función de cómo son manufacturados los diferentes componentes de los interruptores, podemos clasificarlos de diferentes maneras, que serán descritas en el apartado siguiente.

La interrupción de corriente alterna y de corriente continua conlleva también la consideración de aspectos particulares de diseño en el interruptor, dado que en el caso de corriente alterna se aprovecha el momento en que corriente pasa cero, por lo que si el medio logra sostener la diferencia de tensión (lo que se conoce como tensión transitoria de recuperación o T.R.V. Por sus siglas en ingles), no se tendrá más circulación de corriente. En el caso de corriente continua el medio debe ser capaz de extinguir el arco sin el auxilio de que la corriente vaya a cero. En este trabajo todo fue desarrollado sobre interruptores para corriente alterna, por lo que en lo sucesivo solo haremos referencia a ellos. [2]

2.2.1.1 Clasificación de los interruptores de potencia

Los interruptores de potencia se pueden clasificar de distintas maneras, tomando en cuenta el medio que se utiliza para la extinción del arco, por el mecanismo de operación, por el medio de aislamiento, y por su construcción.

Según la forma de extinguir el arco existen los siguientes tipos:

- Soplado de aire: La energía del arco eléctrico se disipa inyectándole una fuerte presión de aire comprimido, lo que conduce al enfriamiento del arco y consecuente pérdida de energía. Este tipo de interruptores ya casi no se usan en media tensión debido a lo voluminoso de los equipos y los requerimientos de mantenimiento de todo el sistema de compresión de aire.



Figura. N°II.2. Interruptor de potencia, medio de extinción soplado de aire alta presión. [3]

- Aceite: La energía del arco se disipa debido a las propiedades de extinción del aceite, (arc quenching, en inglés), y que consiste en que este se descompone por la energía del arco generando una burbuja de hidrógeno que absorbe dicha energía y enfría el arco, extinguiéndolo. Este tipo de interruptores fue muy usado por varios años, pero se encuentra actualmente en vías de desuso debido a que la forma de extinción hace que el aceite se descomponga aceleradamente dependiendo de su volumen y la intensidad del arco, por lo que requiere un mantenimiento constante. Adicionalmente, una falla en extinguir el arco conducía a una explosión con fuego, poniendo en peligro instalaciones y personal.

- Hexafluoruro de azufre (SF₆): Estos interruptores se aprovechan de las excelentes prestaciones dieléctricas y de extinción del arco del SF₆, que básicamente se sustentan en su electronegatividad. Cuando se hace presente el arco eléctrico el gas se descompone en moléculas de Fluor y Azufre que por sus propiedades térmicas y electronegatividad reducen la energía del arco, esto permite que el gas se reconstituya casi en su totalidad, lo que establece condiciones para la extinción total en el pase por cero de la corriente. En adición a las propiedades del SF₆, se desarrollaron técnicas auxiliares como el soplado (puffer) o el arco rotante que mejoran las prestaciones de las cámaras de interrupción haciéndolas menos voluminosas y permitiendo trabajar a menores presiones del gas.

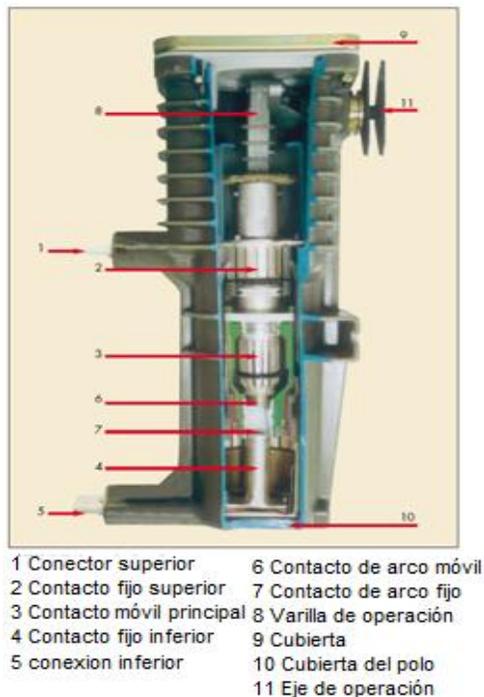


Figura. N°II.3. Polo de un Interruptor de potencia medio de extinción en SF₆. [4]

Las excelentes propiedades del SF6 lo llevaron a convertirse en un referente como medio de interrupción en media y alta tensión, sin embargo, por las virtudes técnico económicas del vacío y en menor medida por presiones ambientales, el SF6 fue desplazado en los interruptores en media tensión, pero sigue manteniendo su hegemonía en interruptores por encima de 34,5 kV. [4]

- Vacío: Desde los propios inicios de la utilización de la electricidad se comenzó a evaluar el comportamiento del arco eléctrico en el vacío, pero no fue sino hasta la segunda mitad del siglo XX que estuvo disponible la tecnología para crear cámaras de interrupción comercialmente viables. El avance continuo en la tecnología de sinterización, el desarrollo de aleaciones de alta dureza como cobre-tungsteno o cobre-wolframio, la forma de los contactos para crear campos magnéticos axiales, el avance en las técnicas para hacer vacío y otros elementos accesorios llevaron a producir una cámara de interrupción en vacío con mejores prestaciones técnico-económicas que el SF6, razón por la cual se dejó de usar cámaras de SF6 en interruptores de media tensión. El uso de cámaras de interrupción en vacío está limitado físicamente a niveles de media tensión debido al comportamiento de la rigidez dieléctrica de dos electrodos en este medio, la cual no puede superar los 200 kV independientemente de la separación de los mismos. Actualmente hay desarrollos para tratar de usar cámaras de vacío en interruptores de alta tensión, colocando varias cámaras en serie, pero todavía no son competitivos económicamente con las cámaras de interrupción en SF6.

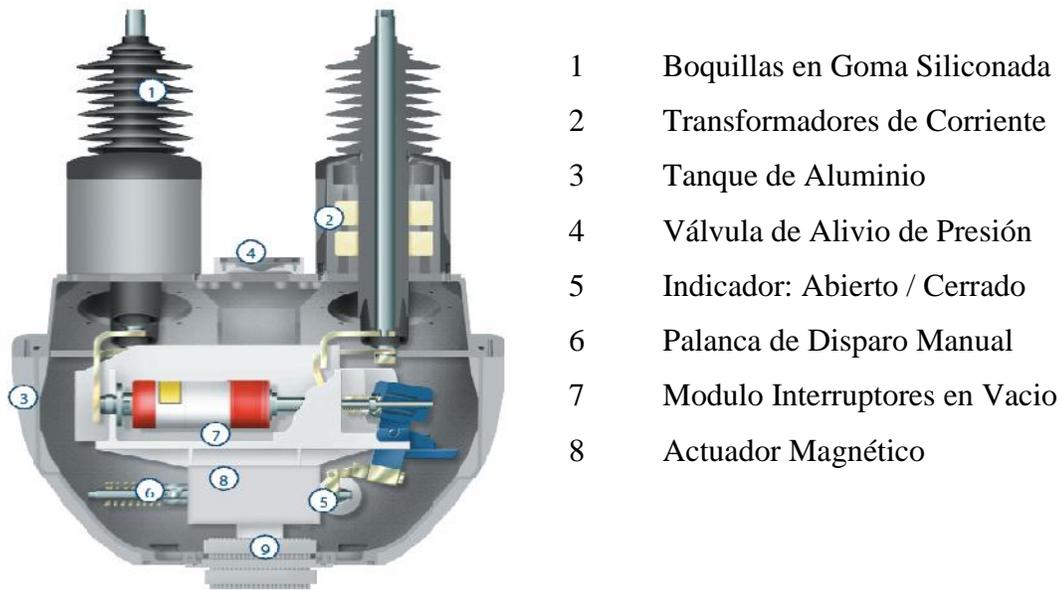


Figura. N°II.4. Interruptor de potencia medio extinción el Vacío. [3]

Según el mecanismo de operación existen los siguientes tipos:

El mecanismo de accionamiento de un interruptor, se considera al conjunto de elementos electromecánicos que permiten almacenar y disponer de energía útil para transmitir un movimiento, logrando posiciones finales de los contactos de potencia, ya sea abierto o cerrado dentro de valores de tiempo de maniobra y de resistencia de contactos que favorezcan la interrupción correcta del arco eléctrico.

- **Hidráulico:** Utiliza aceite a alta presión (unos 300 bar) para producir el movimiento necesario. Debido a la alta presión estos mecanismos además de ser inherentemente peligrosos, requieren de mantenimiento para garantizar que no falle el sistema de sellos, lo cual es una tarea bien especializada y difícil.
- **Neumático:** En este tipo se usa el aire, también a altas presiones, típicamente entre 20 y 30 bar, por lo que presenta inconvenientes similares que los interruptores hidráulicos.

- Resorte: En estos interruptores se hace uso de la energía almacenada en resortes para generar los movimientos del contacto móvil. Son los mecanismos más ampliamente usados, desplazando incluso a los mecanismos hidráulicos y neumáticos en los interruptores de alta y extra alta tensión, dada principalmente su facilidad de mantenimiento.
- Actuador magnético: Es un mecanismo de reciente desarrollo (aunque hubo un mecanismo parecido que usaba solenoide y fue desarrollado para ciertos interruptores en aceite), dado que fue lanzado al mercado en 1994, y se apoya en el uso de un solenoide y un imán permanente para ejecutar su función. A la fecha es el mecanismo por excelencia en reconectadores y se amplía cada día más su utilización en interruptores, pero claramente su desarrollo está muy vinculado al de la interrupción en vacío, por lo que su rango de aplicación es en media tensión para interruptores con ese medio de extinción.



Figura. N°II.5. Actuador Magnético.[1]

Según el medio de aislamiento existen los siguientes tipos:

- Aire: Normalmente usado en interruptores que se instalan en celdas, o en interruptores tipo “tanque muerto” (se describirá en el siguiente apartado).
- Aceite: Se uso no solo en interruptores con cámaras en aceite, sino también con cámaras de vacío, sin embargo, dados los riesgos inherentes a las fallas de estos equipos con aceite (explosión e incendio) ha sido desplazado por el SF6.
- SF6: Es el medio dieléctrico más ampliamente usado tanto en cámaras tanto de SF6 como vacío. Sin embargo, dadas las restricciones ambientales generadas luego del protocolo de Kioto, se han hecho esfuerzos, al menos en media tensión, para buscar un aislamiento sustituto para el SF6, que es el aislamiento sólido y se desarrolla en el siguiente apartado.
- Sólido (polimérico): Con el desarrollo de la industria de los polímeros se ha logrado manufacturar elementos aislantes estables y de buenas prestaciones en ambientes exteriores, mejor aún si es un ambiente interior. Este medio de aislamiento está asociado básicamente con las cámaras de interrupción en vacío, dado que surgió como una alternativa ambientalmente más amigable que el SF6.

Según su construcción existen los siguientes tipos:

- Tanque vivo: las cámaras que operan al potencial de servicio que corresponda, se encuentran soportadas en columnas aislantes que son las que garantizan el aislamiento a tierra, y los componentes estructurales. Estos interruptores son típicamente los más económicos, pero al instalar los otros equipos típicos con los que se asocian los interruptores, tales como los transformadores de

corriente, las protecciones y la medición pueden ser más costosos que los modelos en tanque muerto.

- Tanque muerto: En este tipo de interruptores las cámaras de extinción se encuentran auto contenidas en un recipiente que está sólidamente puesto a tierra, habiendo entre el tanque y las cámaras un medio aislante, como los previamente descritos. Esta construcción les permite llevar asociados los transformadores de corriente que son típicamente del tipo toroidal de baja tensión, y adicionalmente se les puede adosar un gabinete con espacio suficiente para la instalación de protecciones y medición.



a) *Tanque Vivo*



b) *Tanque Muerto*

Figura. N°II.6. *Interruptores de potencia tanque vivo y tanque muerto. [3]*

Los interruptores suministrados por HAWKER SIDDELEY SWITCHGEAR (HSS) a través de VEPCA son tipo tanque muerto con interrupción en vacío, el medio de aislamiento es en SF6 y mecanismo de actuador magnético.

2.2.2 Laboratorio de pruebas a interruptores.

Un laboratorio es un lugar que se encuentra equipado con diversos instrumentos o equipos medición, en el cual se garantizan las condiciones necesarias para llevar a cabo experimentos, investigaciones o trabajos de carácter científico o técnico. En estos espacios, las condiciones ambientales se encuentran controladas y normalizadas para evitar que se produzcan influencias extrañas a las previstas que alteren las mediciones, para permitir que las pruebas se puedan repetir en las mismas condiciones las veces que fuera necesario. En nuestro caso, los equipos que serán sometidos a pruebas son interruptores de potencia.

2.2.3 Pruebas a interruptores.

Los ensayos o pruebas, se realizan para garantizar que el equipo bajo revisión esté acorde con sus especificaciones. La necesidad de las pruebas puede ocurrir durante el desarrollo de un producto para confirmar las decisiones del diseño, durante la manufactura para controlar la calidad, en coordinación con el cliente para asegurar que el producto cumple sus especificaciones, durante su vida operacional para asegurar que sus prestaciones están en concordancia con las especificaciones y para diagnosticar fallos. Para poder realizar esta prueba, es necesario que los sistemas bajo prueba tengan un diseño que permita realizar una comprobación de forma fácil. El sistema mencionado necesita estar diseñado para la prueba, es decir para su comprobación y repetitividad de dicho ensayo.

Las pruebas pueden ser manuales o automáticas, la prueba manual necesita de una persona calificada para hacer el proceso. Esto requiere una lectura del catalogo y de las instrucciones de la prueba, el ensamblaje de varias partes del equipo de prueba y el conexionado a la unidad a probar, aplicando y ajustando las entradas, seleccionando los márgenes apropiados de los instrumentos, guardando los resultados, comparando éstos con los dados por las especificaciones de la prueba, interpretando los significados de la comparación, repitiendo la secuencia para cada uno de las pruebas requeridas y, entonces, realizando un informe de los resultados finales de la prueba. La prueba automática es realizada por un equipo automatizado, este ensayo incluye conectar la unidad bajo prueba al sistema automático mencionado mediante una interfaz que conecta los distintos puntos de la unidad a probar con el equipo de pruebas. La unidad de control en el equipo entonces realiza la secuencia de la prueba de acuerdo con un programa conectando las señales a los puntos apropiados, seleccionando y conectando los instrumentos adecuados de medida. La prueba se realiza, las medidas se hacen y se guardan y, entonces, la secuencia automáticamente se repite en cada uno de los casos requeridos. Los resultados de la comprobación son automáticamente comparados con los valores estándar pre-programados, interpretados y el resultado indicado como un suceso pasa o falla. Esta prueba tiene la ventaja de reducir la demanda en la destreza de los operadores, reduciendo la dependencia con el error humano, eliminando variaciones interpretativas de los individuos que realizan la prueba, incrementando la velocidad de comprobación.

Clasificación de las pruebas:

La norma ANSI/IEEE C37.06-2000 [5]. Divide las pruebas en:

- Pruebas de Diseño.
- Pruebas de Aceptación.

La norma IEC 60094-2001 [6]. Divide las pruebas en:

- Pruebas Tipo.
- Pruebas de Rutina.

Las Pruebas tipo o de Diseño:

Aseguran que el prototipo del interruptor, es capaz de funcionar de acuerdo a las características para las cuales fue diseñado, cada ensayo tipo se realiza sobre un interruptor automático, en laboratorios acreditados, aquí se genera un documento que atestigua que el diseño ha pasado todos los ensayos que exige la norma.

Pruebas de rutina ó individuales:

Aseguran que el producto se encuentra en conformidad con el equipo que superó los ensayos tipo, permiten evaluar la calidad y la uniformidad de la mano de obra y de los materiales usados en la fabricación de los equipos. Son obligatorios en todas las unidades de la producción y son hechos por el fabricante en su empresa, dando al comprador el derecho de designar un inspector para presenciarlos.

Pruebas especiales:

Son los exigidos por el cliente como adición a los requisitos de los ensayos tipo y de rutina.

Se han desarrollado un amplio rango de pruebas, para verificar la conformidad de cada una de las propiedades eléctricas, mecánicas, físicas y químicas con respecto a los criterios de diseño de los interruptores. De este desarrollo y revisión permanente para ajustar las pruebas, a los cambios tecnológicos se encargan distintas instituciones, las cuales dictan pautas que establecen el conjunto de pruebas

que deben ser ejecutadas a los equipos. En particular para el caso de los interruptores y en general para los equipos usados en sistemas eléctricos, las instituciones que elaboran las normas aceptadas en la mayoría de los países incluida Venezuela. Son las siguientes:

- CEI: Comité Electrotécnico Internacional (IEC por sus siglas en ingles)
- ANSI: American National Estándar Institute
- IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos)

En el caso del CEI se entiende como la institución para normalizar los equipos eléctricos a nivel mundial, pero en términos reales, estas normas se reconocen como válidas para equipos de fabricación europea. En el caso del IEEE este instituto se reconoce como un ente de normas para equipos de fabricación en Estados Unidos, de hecho muchas de los estándares IEEE son reconocidas como normas ANSI (American National Standard Institute) que es el órgano normalizador en ese país, es decir, equivalente a COVENIN en Venezuela.

Las normas que producen estas instituciones cubren un rango que va desde los requerimientos mínimos para los equipos hasta, en algunos casos, aplicación de los mismos. Para el alcance de este trabajo nos interesan en particular aquellas que establecen el protocolo o conjunto de pruebas que requieren los interruptores, las cuales son:

La norma IEC 62271-100 [7] establece que a los interruptores de potencia se le deben realizar las siguientes pruebas de rutina.

- Pruebas dieléctricas en el circuito principal.
- Pruebas dieléctricas en circuitos auxiliares y de control.
- Medida de la resistencia del circuito principal.
- Pruebas de hermeticidad del tanque.

- Diseño y controles visuales.
- Pruebas de operaciones mecánicas.

Según IEEE Std C37.09-1999 [8], a los interruptores se les deben realizar las siguientes pruebas, que en la presente norma se llaman pruebas de producción.

- Pruebas de los bushings de alto voltaje de los interruptores.
- Pruebas en el tanque.
- Pruebas de presión.
- Pruebas de fuga.
- Chequeo de la placa característica.
- Pruebas de integridad de vacío.
- Pruebas de verificación de resistencias y bobinas.
- Pruebas de verificación del cableado de control.
- Prueba de operaciones mecánicas.
- Pruebas de tiempo.
- Pruebas del sistema de almacenamiento de energía.
- Prueba de resistencia eléctrica del circuito principal.
- Pruebas de tensión de aguante a frecuencia industrial a los componentes principales del aislamiento.
- Pruebas de tensión de aguante a frecuencia industrial a los circuitos de control y al cableado secundario.

En Venezuela podemos citar la norma NS-E-129 [9] de CADAFE, la cual establece las siguientes pruebas:

- Nivel de aislamiento a frecuencia industrial.
- Aislamiento de circuitos auxiliares y de control.
- Medición de resistencia del circuito principal.
- Pruebas de operación mecánica.

2.2.4 Instalación eléctrica

Es el conjunto de equipos y materiales que permiten distribuir la energía eléctrica partiendo desde el punto de conexión de la compañía suministro hasta cada uno de los equipos conectados, de una manera eficiente y segura, garantizando al usuario flexibilidad, comodidad y economía en la instalación. En Venezuela todo lo concerniente al diseño de Instalaciones Eléctricas en cualquier edificación residencial, comercial institucional y en lugares clasificados, se rige por la Norma NTF 200:2009 Código Eléctrico Nacional (CEN 2009) [10], el cual es un documento que establece los criterios técnicos para que la instalación a proyectar sea la más segura, sin embargo, no es un Manual de Diseño, pero su uso dentro del territorio nacional es de carácter obligatorio.

2.2.5 Canalizaciones eléctricas

Son los accesorios que se emplean en las instalaciones eléctricas para contener a los conductores de manera tal que estos queden protegidos contra deterioro mecánico, contaminación y a su vez evitar la propagación de un incendio producidos por los arcos que se puedan presentar durante un cortocircuito. Las canalizaciones pueden ser metálicas ó de material plástico.

Según la norma COVENIN 2249-93 [11]. “Canal cerrado de materiales metálicos o no metálicos diseñado especialmente para sostener conductores, cables o barras con funciones adicionales permitidas en este *Código*. Las canalizaciones incluyen, aunque no se limita a: tubo metálico rígido, tubo no metálico rígido, tubo metálico intermedio, tubo flexible hermético a los líquidos, tubería metálica flexible, tubo de metal flexible, tubería no metálica eléctrica, tubería metálica eléctrica (EMT), canalizaciones debajo del piso, canalizaciones en pisos celulares de concreto,

canalizaciones en pisos celulares de metal, canalizaciones superficiales, canales porta cables y canales de barras colectoras”.

2.2.6 Tableros

Un tablero es un panel diseñado especialmente para el ensamblaje de un sistema de barras, con o sin interruptores. Los interruptores utilizados son para las operaciones de circuitos de iluminación, de tomas de uso general y fuerza. El tablero estará conformado por un gabinete auto soportante o una caja embutida la cual posee una tapa que cubre las barras y protecciones que cuenta con una bisagra con o sin cerradura.

El tablero puede contar con un espacio para la colocación de medidores de tensión, corriente, potencia, energía o frecuencia, de acuerdo con las exigencias y necesidades del usuario. Todos los tableros deben estar fabricados de material incombustible según las normas COVENIN vigentes.

2.2.7 Tomacorriente

Dispositivo de contacto instalado en la salida para que se conecte a él una clavija de conexión o enchufe. Un tomacorriente sencillo es un dispositivo de contacto sencillo sin ningún otro dispositivo de contacto con la misma unidad. Un tomacorriente múltiple es un dispositivo que contiene dos o más dispositivos de contacto en la misma unidad. Generalmente se sitúa en la pared, de forma superficial o empotrado en la misma. Consta como mínimo de dos piezas metálicas que reciben a sus complementarias macho y permiten la circulación de la corriente eléctrica.

2.2.8 Conductores Eléctricos

Son elementos filiformes que conducen la energía eléctrica hasta los lugares de utilización. Los metales más usados para fabricarlos son el cobre y el aluminio que son comercialmente los metales con mayor conductividad y con un costo lo suficientemente bajo como para que resulten los más económicos del mercado. Por lo general los conductores eléctricos se fabrican de sección circular de material sólido (alambre) o como cables (varios alambres enrollados helicoidalmente) dependiendo de la cantidad de corriente por conducir y su utilización, en algunos casos se fabrican en secciones rectangulares para altas corrientes.

2.2.8.1 Tipos de Conductores

Los conductores pueden ser unifilares o multifilares, es decir, estar formados por uno o varios hilos y a su vez pueden ser desnudos o aislados. Los conductores desnudos suelen ser usados en redes aéreas, líneas de distribución o líneas de alta tensión, por otra parte, los conductores aislados se emplean dentro de canalizaciones.

La nomenclatura expresada en Código Eléctrico Nacional (CEN 2009) [10], proveniente de la AWG (American Wire Gauge). Esta denominación identifica a los conductores por su sección correspondiente a números que van de menor a mayor como se indica a continuación: 24, 22, 20, 18, 16, 14, 12, 10, 8, 6, 4, 2, 1/0, 2/0, 3/0, 4/0, para conductores con área mayor del designado como 4/0, se hace una designación que está en función de su área en pulgadas, para lo cual se emplea una unidad denominada el Circular Mil, continuando con: 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 750, 800, 900, 1250, 1500 y 2000 kcmil.

Según el (CEN 2009) [10]. Los conductores eléctricos deben estar identificados con marcas permanentes en su superficie a intervalos no mayores a

60cm. Los conductores utilizados para neutro serán de color blanco o gris, para la puesta a tierra de equipos se utilizará un recubrimiento de color verde o verde con franjas amarillas.

El grado de aislamiento de los conductores incide en el precio de los mismos, en la capacidad de conducción de corriente (cuando se colocan dentro de las canalizaciones) y en la temperatura máxima de utilización dado que los precios son diferentes para un mismo calibre, dependiendo del grado de aislamiento, los fabricantes los distinguen dándole diferentes denominaciones de las cuales las más conocidas son las siguientes: TW, TF, THW, TTU, SPT, ST, HPT 105°C, entre otros.

2.2.8.2 Selección del Calibre del Conductor por Capacidad de Conducción de Corriente

Todo conductor posee una capacidad de transportar corriente eléctrica a través de él. Esta capacidad está limitada por la conductividad del material conductor, si éste es desnudo, sólo afectará lo antes señalado; pero si el conductor es aislado, limita también el paso de la corriente, la capacidad térmica del material aislante.

El hecho de que un conductor tenga una resistencia eléctrica, al paso de la corriente por él, se presenta el efecto Joule. Según los valores que alcance la potencia consumida provocará un aumento de la temperatura respecto a la del ambiente, lo que influye directamente en el aislamiento del conductor, factor que es importante ya que determina la temperatura máxima de operación a régimen permanente del conductor. Para una temperatura ambiente determinada, la capacidad de conducción de corriente en los conductores de un mismo calibre, depende de la capacidad térmica del aislamiento; por esta razón los fabricantes identifican a los conductores eléctricos con las siglas TW, THW, TTU, entre otros.

La capacidad de conducción de corriente de los conductores depende también del tipo de canalizaciones que se use, o si son enterrados o si son instalados al aire libre. Cuando los conductores son instalados en una canalización, tubo conduit o EMT; la capacidad de corriente permisible a cada conductor se reducirá a medida que se incremente el número de conductores dentro del tubo.

El (CEN 2009) [10]. Establece que en los casos en que una carga de circuitos ramales puedan estar en operación “continua (operando continuamente durante 3 o más horas) tales como la iluminación general en zonas grandes de oficinas, despachos privados, escuelas, hospitales, plantas industriales y obras semejantes, la carga total en cada circuito ramal no deberá exceder al 80% del valor nominal del circuito.

2.2.8.3 Selección del Calibre del Conductor por Caída de Voltaje

La circulación de corriente a través de los conductores, ocasiona una pérdida de potencia, y una caída de tensión o diferencia entre las tensiones en el origen y el extremo del mismo conductor. No existe un conductor perfecto, pues todos presentan una resistividad al paso de la corriente por muy pequeña que sea, por este motivo ocurre que al aumentar la longitud, aumenta la resistencia del conductor y se incrementa la oposición al paso de la corriente, y por consiguiente aumenta la caída de tensión.

El (CEN 2009) [10]. Establece valores máximos para estas caídas de tensión y su sección 210 establece que los conductores para circuitos ramales cuando se dimensionan de forma de no tener una caída de tensión mayor de 3% para la salida más alejada de fuerza, calefacción o alumbrado o combinación de las mismas y que no haya una caída de tensión total mayor de 5% en los alimentadores y los circuitos ramales para la salida más alejada darán un funcionamiento razonablemente eficiente.

2.2.9 Corriente de corto circuito

El cálculo de las corrientes de corto circuito representa un elemento fundamental en el proyecto de las instalaciones eléctricas industriales, ya sea para el dimensionamiento de los aparatos que se deben usar para interrumpir estas corrientes o bien para el dimensionamiento de las partes auxiliares de las instalaciones como las barras de conexión, tableros, soportes, entre otros.

El corto circuito puede ocurrir en cualquier parte de un sistema eléctrico, y en el caso de instalaciones industriales pequeñas en donde se usan como dispositivos de protección fusibles e interruptores termo magnéticos, estos deben operar para abrir el circuito, de lo contrario se puede presentar daño al equipo, principalmente debido al calentamiento y altos esfuerzos al que se somete el equipo. También puede causar incendios y posibles explosiones.

2.2.10 Sistemas de iluminación

La iluminación es el componente agregado a las plantas industriales que mayor impacto visual puede crear. Un diseño adecuado de la iluminación incrementa la productividad de los empleados y operarios en las instalaciones, además de disminuir enfermedades de tipo ocupacionales ocasionadas por un deficiente sistema iluminación en el área de trabajo.

El punto de partida para diseñar cualquier sistema de iluminación es el espacio en sí, sus detalles constructivos, su finalidad, el trabajo que se realiza en él y las tareas visuales implicadas.

Según la norma COVENIN 2249 (1993) [11]. “La iluminación es la aplicación de luz a los objetos, o a sus alrededores para que se puedan ver”. La

iluminación está ligada al conjunto de dispositivos que se utilizan para producir efectos luminosos.

La iluminación puede ser artificial o natural. En la iluminación natural, el sol es el principal proveedor de luz para que los objetos se puedan ver, mientras que la luz artificial se obtiene mediante el uso de luminarias o cualquier otro medio que produzca luz.

2.2.11 Magnitudes y unidades luminosas

La luz es sólo una de las varias formas de energías que existe. No toda la luz emitida por una fuente llega al ojo y produce sensación luminosa (visible), ni toda energía que consume un bombillo se convierte en luz. Es por ello que se expresan ciertas magnitudes como: flujo luminoso, intensidad luminosa, iluminancia y luminancia.

- **Flujo Luminoso:** Es la potencia lumínica emitida en forma de radiación luminosa, a la que el ojo humano es sensible. Su símbolo es Φ y su unidad es el lumen (lm). [12].
- **Intensidad Luminosa:** La intensidad luminosa de una fuente de luz en una determinada dirección es igual a la relación entre el flujo luminoso contenido en un ángulo sólido cualquiera, cuyo eje coincida con la dirección considerada y el valor de dicho ángulo sólido (ω) expresado en estereorradianes. [12].
- **Iluminancia:** Según la norma COVENIN 2249-93 [11]. “El cociente del flujo luminoso recibido por un elemento de superficie que contiene el punto, entre el área de dicho elemento”. Se simboliza con la letra E y su unidad es lux.

- **Luminancia:** La norma COVENIN 2249-93 [11]. define a la luminancia, “en un punto de una superficie y en una dirección, como el cociente entre la intensidad luminosa, en la dirección dada, de un elemento infinitamente pequeño de la superficie que rodea el punto considerado, y el área de la proyección ortogonal de este elemento sobre un punto perpendicular a esta dirección”. Se representa con la letra L y su unidad es cd/m^2 .

2.2.12 Tipos de iluminación

Los tipos de iluminación nos indican cómo se reparte la luz en las zonas iluminadas. Según el grado de uniformidad deseado, distinguiremos tres casos: iluminación general, iluminación direccional, iluminación localizada [12].

- **Iluminación general:** Se obtiene distribuyendo las luminarias de forma más o menos regular por el techo. De esto resulta una iluminancia horizontal de un cierto nivel medio y un determinado grado de uniformidad.
- **Iluminación direccional:** Se entiende a la iluminación que predomina en una dirección, lo cual se logra con una distribución espectral de lámparas fluorescentes con espejos.
- **Iluminación localizada:** Se logra colocando luminarias muy cerca de la tarea visual, con la finalidad de iluminar áreas muy reducidas. Es complementada con alguno de los sistemas descritos con anterioridad.

2.2.13 Método de los lúmenes

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

2.2.14 Nivel de iluminación requerido

Este valor representa el nivel de iluminancia media, y dependerá del tipo de actividad a realizar en el local podemos encontrarlos tabulados en las normas y recomendaciones que aparecen en la bibliografía. En general podemos distinguir entre tareas con requerimientos luminosos mínimos, normales o exigentes.

La norma COVENIN 2249-93 [11], señala que los valores cuantitativos de iluminación, incluyendo la iluminancia, están definidos estadísticamente con base en encuestas y experiencias para determinados comportamientos de aciertos en la percepción visual de objetos patrón relacionados con actividades que se realizan en cada caso o tarea.

Esta norma indica que el fenómeno de la percepción visual no es consecuencia únicamente del valor de la iluminancia sobre el plano de trabajo, sino que depende de manera importante del contraste de luminancia objeto-fondo, de la direccionalidad de la luz, color de la luz, el color o colores del objeto y el fondo, la iluminancia y color del entorno, el entorno, el estado cinético relativo objeto-observador, la visibilidad atmosférica, la edad, estado de salud y factores psicológicos que afectan al observador. En la Figura N° 1 de los anexos se muestran los diferentes niveles de iluminación para actividades generales en áreas interiores.

Hay tres niveles de iluminación. Según la norma COVENIN 2249-93[11], (Ver anexo N°1.), los niveles superiores al valor “C” suponen un derroche de energía,

mientras que por debajo del nivel “A” el desempeño visual puede ser afectado negativamente.

El valor establecido como “B” corresponde a la iluminación media en servicio recomendada de acuerdo a los requisitos visuales de la tarea, la experiencia práctica y la necesidad de utilización eficaz de la energía.

La norma citada indica que cuando se utilizan los valores superiores “C” se obtienen unas condiciones de visión excelente y un alto desempeño visual. Estos valores deben utilizarse cuando en la tarea existan reflectancias o contrastes bajos, cuando la rapidez o presión del trabajo visual es crítico, y cuando una mayor productividad es de gran importancia. Lo mismo es aplicable si la capacidad visual del usuario es inferior a la media.

2.2.15 Coeficiente de Utilización

El coeficiente de utilización se define como la relación entre el número de lúmenes que alcanzan el plano de trabajo y el número total de lúmenes emitidos por la lámpara. Este factor toma en cuenta la eficacia de la lámpara, las dimensiones del local, altura de montaje y porcentaje de reflexión de las paredes, techo y suelo. Los valores de los factores de utilización están indicados por los fabricantes para cada una de las luminarias, para diversos valores de índice de local y diferentes valores de factores de reflexión.

2.2.16 Factor de mantenimiento (F.M.)

A partir del día en que una instalación de alumbrado nueva se pone en funcionamiento, la iluminación va sufriendo cambios constantes a medida que las

lámparas envejecen, las luminarias acumulan suciedad y se hace sentir el efecto de otros factores que contribuyen a las pérdidas de luz. El factor final de pérdidas es el producto de todos los factores parciales, y se define como la relación entre la iluminación existente cuando ésta alcanza su nivel más bajo en el plano de trabajo, inmediatamente antes de efectuar una acción correctora, y el nivel inicial de iluminación si no se considera ninguno de los factores de parciales de pérdidas.

Para el cálculo del factor de mantenimiento tomaremos en cuenta los siguientes factores parciales de pérdida: la depreciación del flujo de la lámpara, de la luminaria y la suciedad sobre la superficie del local en el caso de iluminación de interiores.

- **Depreciación del flujo de la lámpara (FDF):** Está relacionada con el tiempo de uso y otros factores relacionados con el funcionamiento de las luminarias, tales como: temperatura ambiente, tensión de alimentación, factor de balasto etc.
- **Depreciación de la luminaria (FDS):** Está relacionada con la suciedad acumulada en las superficies internas y externas de la luminaria a lo largo del tiempo. Las luminarias abiertas acumulan más suciedad en menor tiempo, es decir que si el local es de ambiente contaminante es mejor usar luminarias cerradas. En la siguiente tabla se muestra los factores de depreciación dependiendo del ambiente del local.

Tabla II.1. Factores de depreciación por suciedad en las luminarias dependiendo del ambiente.

Tipo de Luminaria	Muy limpio	Limpio	Medio	Sucio	Muy Sucio
Abierta no Ventilada	0,90	0,80	0,71	0,64	0,56
Abierta Ventilada	0,95	0,89	0,83	0,78	0,72
Cerrada	0,97	0,93	0,88	0,83	0,78
Vidrio Refractor o Cerrada y filtrada	0,98	0,95	0,93	0,89	0,86

Extraído de la guía de sistemas de iluminación GE. [13]

- **Depreciación por suciedad sobre la superficie del local (FDR):** Los valores de las reflectancias de las superficies del local (techo, pared y piso) son reducidos por la acumulación de sucio de dicho ambiente. Este factor no solo dependerá del mantenimiento del local, sino también de la relación de cavidad del cuarto y la distribución luminosa de las luminarias. Luego la expresión para calcular el factor de mantenimiento es la siguiente:

$$F.M.= FDF \cdot FDS \cdot FDR \quad [EC. II.3]$$

En caso de no obtener información de de cualquier factor parcial, se puede utilizar la siguiente tabla.

Tabla II.2. Factor de mantenimiento usado en iluminación de interiores dependiendo del grado de suciedad del ambiente.

Ambiente	Factor de mantenimiento (FM)
Limpio	0,8
Sucio	0,6

Extraído del manual de luminotecnica de interiores y exteriores [12]

2.2.17 Sistemas de puesta a tierra

El sistema de puesta a tierra (SPAT), está asociado a un electrodo o grupo de electrodos enterrados en el suelo, con el objeto de que: en los equipos, las instalaciones, edificios y terrenos o superficies próximas, no presenten diferencias de potencial peligrosas, cuando las corrientes de falla o de descarga de origen atmosférica drenen a dicho sistema. Estas corrientes de fallas llegan al SPAT por medio de uniones metálicas directas, sin fusible ni otro sistema de protección, que

unen a los equipos o partes de una instalación al SPAT, permitiendo así el paso a tierra de las corrientes anteriormente indicadas. Ojeda (2010) [14]

2.2.17. 1 Objetivos de la Puesta a Tierra. Ojeda (2010) [14]

- Drenar o derivar a la tierra las corrientes de fallas y acumulación de cargas electrostáticas.
- Minimizar el gradiente de potencial a tierra y sus tensiones asociadas, tales como tensión de toque y paso.
- Completar la protección externa contra descargas atmosféricas del edificio o instalación, ofreciéndole un trayecto inmediato y efectivo a la intensidad de corriente del rayo.
- Mantener un potencial de referencia para la adecuada operación de instrumentos y equipos.
- Cumplir con los requerimientos exigidos por los fabricantes de los equipos y normas internacionales o especificaciones de las empresas especializadas.
- Proporcionar un medio eficaz de descarga los alimentadores o equipos antes de proceder en ellos a trabajos de mantenimiento.

2.2.17.2 Características un sistema de Puesta a Tierra. Ojeda (2010) [14]

- Conducir a tierra las corrientes de fallas sin provocar gradientes de potencial peligrosos sobre la superficie del terreno. Además, debe ser capaz de conducir estas corrientes durante el mayor tiempo posible, sin calentamiento de sus partes.
- Tener una impedancia lo más baja posible, considerando el aspecto económico-técnico. El valor de la resistencia del SPAT varía de acuerdo con el sistema, la instalación o equipo. Por ejemplo; para el caso de una Subestación Eléctrica este valor puede ser menor de 2 . En el caso de edificaciones con niveles de tensión

por debajo de los 1000V, el (CEN 2009) [10]. Establece como valor de referencia 25 .

- Los electrodos y conductores de puesta a tierra deben ser resistentes a los ataques corrosivos, tanto del terreno como de la atmosfera.
- Tener durante todas las épocas del año un valor de resistencia que garantice la detección de fallas a tierra y pronta operación de los dispositivos de protección.
- Su costo debe ser lo más bajo posible.

2.2.17.3 Definiciones y conceptos básicos. Gedisa (2010) [15]

- **Tierra de Protección:** Los sistemas eléctricos se conectan a tierra con el fin de limitar la tensión que pudiera aparecer en ellos, por estar expuestos a descargas atmosféricas, por interconexión en caso de fallas con sistemas de conexiones superiores, o bien para limitar el potencial máximo con respecto a tierra, producto por la tensión nominal del sistema.
- **Tierra de Servicio:** Los equipos eléctricos se conectan a tierra para evitar que la carcasa o cubierta metálica de ellos represente un potencial respecto de tierra que pueda significar un peligro para el operario o usuario del equipo.
- **Electrodo de Tierra:** Es un conductor (cable, barra, tubo, placa, etc) enterrado en contacto directo con la tierra o sumergido en agua que este en contacto con la tierra.
- **Poner a Tierra:** Cuando un equipo o instalación está conectado eléctricamente a una malla o electrodo de tierra.
- **Gradiente Superficial:** Es la diferencia de potencial que existe entre dos puntos de la superficie del terreno o del agua, distante entre sí en 1m.

2.2.18 Medida de la resistividad

Para determinar la resistencia de puesta a tierra de una instalación cualquiera que sea, se debe medir la resistividad del terreno, y luego comprobarla periódicamente en la época más desfavorable, si conocemos el valor de la resistividad del suelo con anterioridad a instalar o decidir el tipo de electrodo que vamos a utilizar, tendremos la ventaja de elegir el sistema que técnico-económicamente pueda ser más rentable.

Desde el punto de vista eléctrico, la determinación de la resistividad deberá obtenerse a través de mediciones directas, evitando siempre el uso de tablas de carácter general.

En la actualidad los equipos de medición que se utilizan indican el valor de la resistencia, que por medio de relaciones adecuadas obtendremos el o los valores de resistividad.

Existen varios métodos para encontrar la resistividad del terreno entre los que destacamos los siguientes:

- Método de Wenner
- Método de Schlumberger
- Método de los dos puntos
- Método de los tres puntos
- Método de medición por muestras de suelos

Pero los más utilizados son el método de los cuatro electrodos en configuración Wenner y en configuración Schlumberger.

2.2.18.1 Método de Wenner

Este método fue desarrollado por Frank Wenner del U.S. Bureau Of Standards en 1915, F. Wenner, A Method of Measuring Earth Resistivity; Bull, National Bureau of Standards, Bull.

El método consiste en introducir cuatro electrodos de prueba en línea recta y separados a distancias iguales (a), enterrados a una profundidad (b) que es igual a la vigésima parte de la separación de los electrodos de prueba ($b = a/20$) y van conectados al equipo de medición, el cual introduce una intensidad de corriente entre los electrodos C1 y C2, generando una diferencia de potencial entre los electrodos P1 y P2, que será medida por el equipo, a su vez en la pantalla tendremos el resultado de la relación (V/I) que por ley de Ohm es R .

En la figura II.7. Se puede observar la disposición de los electrodos de medición para la implementación del método de Wenner.

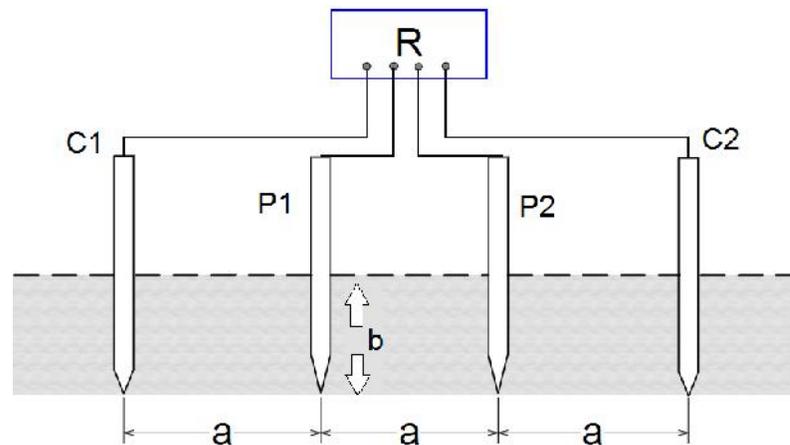


Figura II.7. Configuración Wenner.

Con el aumento de la distancia entre los electrodos o sondas y de la lectura de resistencia del instrumento de medición, puede relacionarse la resistividad del suelo con respecto a la profundidad.

Para comparar la distancia entre los electrodos y la profundidad a la cual son enterrados los mismos, se puede tomar en cuenta la siguiente expresión:

$$\rho = \frac{4\pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{2a}{\sqrt{4a^2 + 4b^2}}} \quad [EC. II.5]$$

Si $a > b$, podemos utilizar la siguiente expresión para encontrar la resistividad del suelo.

$$\rho = 2\pi a R \quad [EC. II.6]$$

Donde:

= Resistividad aparente o promedio en [.m]. Se relaciona con a y b.

a = Distancia de separación entre electrodos.

R = Lectura del equipo en ohmios ()

= 3,1415926...

Expresión que es válida siempre que b sea menor que 0,1a. [16].

2.2.19 Método Análisis de Dos Capas. Ojeda (2010) [14]

Si se realizan mediciones de resistividad en un terreno homogéneo, el valor de resistencia medido corresponderá al valor único de la resistividad real del terreno.

Si el terreno no es homogéneo, el valor medio es un valor ficticio que no corresponde por lo general a ninguna de las resistividades presentes en el terreno, sino a una cierta combinación de ellas, ya que depende de la separación entre los electrodos. Por ejemplo, para pequeñas distancias entre los electrodos, la corriente inyectada circulará principalmente por la capa superior y el valor de resistividad será

muy cercano a la resistividad de esta capa.

La mayoría de las ecuaciones para el cálculo de la resistividad se han desarrollado tomando en cuenta como premisa fundamental que el terreno sea homogéneo. Por lo tanto, se considera importante introducir las formulas para el cálculo del potencial en la superficie para terrenos no homogéneos, formado por dos capas de resistividad ρ_1 y ρ_2 .

Estas ecuaciones permitirán obtener las curvas teóricas necesarias para los métodos de interpretación de la resistividad y las ecuaciones teóricas para el cálculo de la resistividad usando la configuración Wenner y Schlumberger.

Aunque la teoría aplicada a un terreno formado por n capas no es particularmente difícil, su desarrollo puede ser laborioso, ya que el número de variables es considerable, razón por lo cual no se incluirá en este punto.

Considerar que el suelo está formado por dos capas paralelas, de resistividades diferentes y separadas a una profundidad h , es una simplificación de las características del terreno. No obstante, esta simplificación nos permite resolver problemas más complejos con un grado aceptable de exactitud. Es por ello que generalmente un sistema de n capas se simplifica a un equivalente de dos capas, el cual permite facilitar significativamente los cálculos.

Diversos estudios han determinado que es posible obtener un modelo de la constitución del suelo mediante una representación de un terreno de dos capas con resistividades diferentes en la capa superior e inferior respectivamente, es decir que la primera capa de suelo a cierta profundidad tiene un determinado valor uniforme y la segunda capa con una resistividad uniforme pero diferente, se considera infinita.

Los cambios abruptos en los límites de cada capa de suelo, están

determinados por el siguiente coeficiente de reflexión:

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \quad [EC. II. 8]$$

ρ_1 = Resistividad de la primera capa en [$\Omega \cdot m$].

ρ_2 = Resistividad de la segunda capa en [$\Omega \cdot m$].

K = Coeficiente de reflexión.

Existen varias técnicas para determinar la resistividad aparente utilizando el modelo equivalente de dos capas, obtenido con pruebas en sitio; una de ellas es el método gráfico aproximado desarrollado por Sunde, que permite calcular la profundidad de la primera capa del terreno (h), utilizando la apropiada separación entre los electrodos de prueba a, al realizar las mediciones por el método Wenner. El procedimiento consiste en lo siguiente:

- Realizar la gráfica resistividad aparente ρ_a vs a, de los datos obtenidos de las mediciones efectuadas por el método Wenner.
- Estimar en la gráfica anterior, un valor para ρ_1 con separación (a) pequeña y un valor de ρ_2 con la separación (a) más larga.
- Determinar el valor de ρ_2 / ρ_1 y seleccionar una de las curvas de la gráfica de Sunde ver Figura N°II.8. O interpolar y dibujar una nueva curva en esta gráfica.
- Seleccionar el valor de k en el eje ρ_a / ρ_1 correspondiente al cambio de concavidad de la curva seleccionada o la nueva curva dibujada.
- Leer sobre la gráfica el valor correspondiente a a / h .
- Calcular el valor de a despejando de la relación a / h seleccionado (k) y el valor seleccionado en el cuarto punto.
- Leer en la gráfica resistividad aparente ρ_a vs a, el correspondiente espaciamiento a de los electrodos de prueba para la resistividad ρ_a calculada en el sexto punto.
- Determinar el valor h.

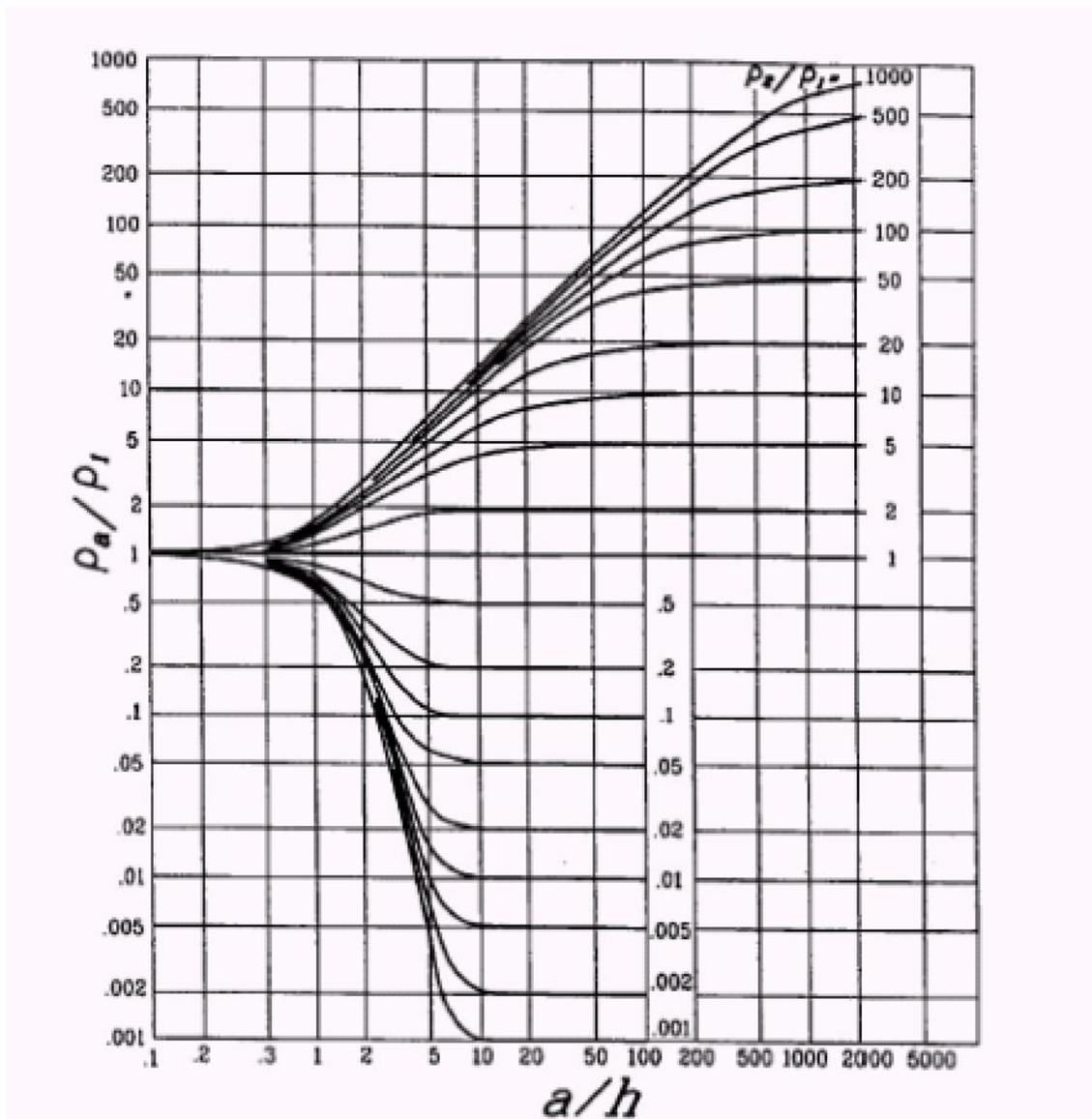


Figura. N°II.8. Curvas P_a/P_1 versus a/h , Extraída de sistemas de puesta a tierra [14]

CAPÍTULO III

Después de haber revisado los conceptos teóricos y con la información obtenida mediante la inspección en sitio, en este capítulo se realizará un análisis de la situación actual y la propuesta para el diseño del laboratorio.

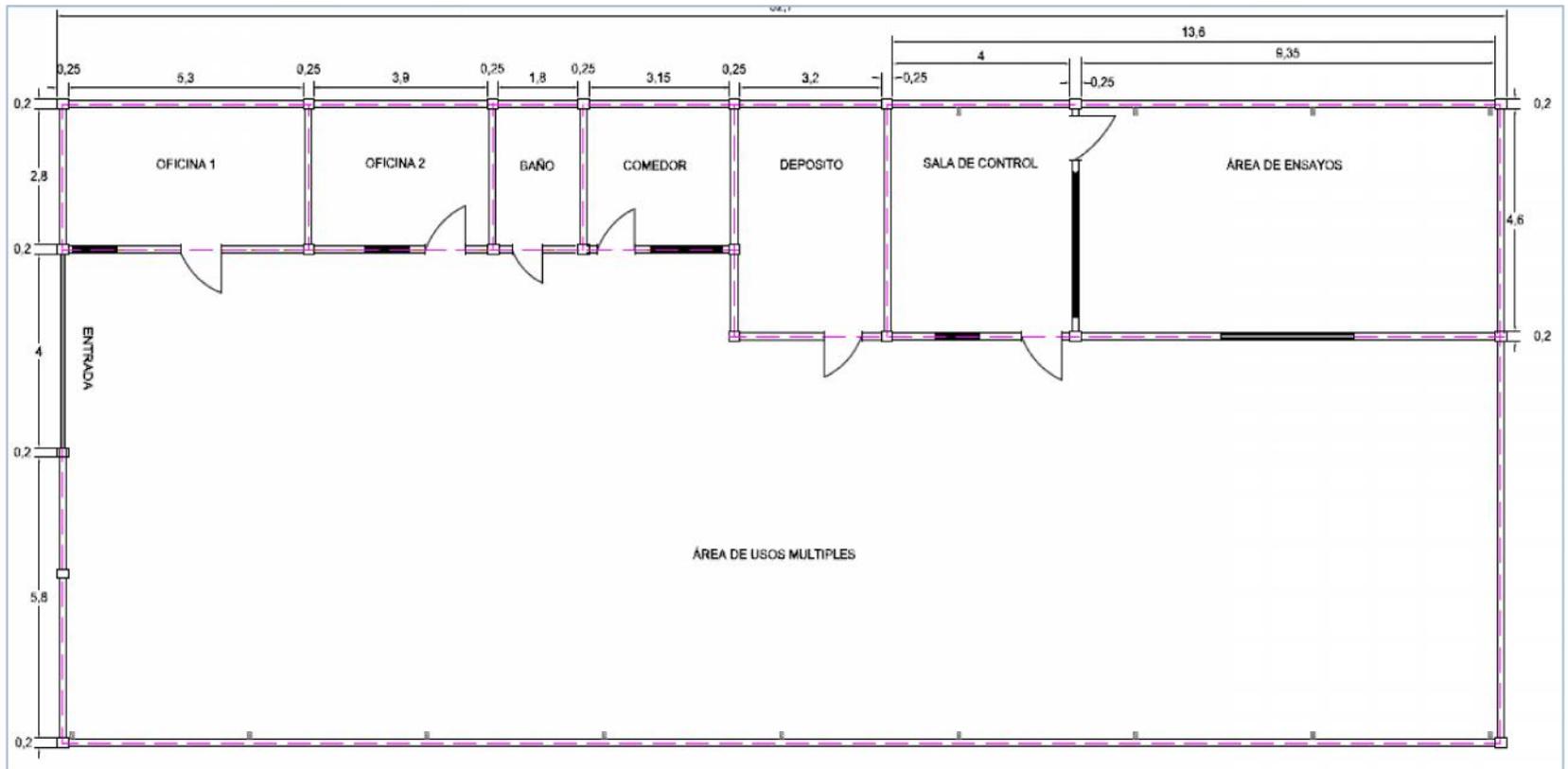
3.1 Diagnóstico

Mediante la observación directa en sitio, se pudo recolectar información la cual ayudó a la comprensión del problema y a la verificación de la situación que se presenta en la planta Maracay, de la empresa Venezolana de Equipos de Potenciación C.A. Se encontró lo siguiente:

No habían planos ni eléctricos ni estructurales de la instalación, por lo tanto fue necesario realizar croquis con medidas obtenidas en campo, para tener una referencia del espacio disponible, uno de estos croquis es la vista de planta del galpón la cual se muestra en la figura N°III.1. El cual permite tener una noción de las dimensiones de la instalación.

El sistema eléctrico de la planta es alimentado por un banco de tres transformadores monofásicos de 37,5 kVA, el cual alimenta un tablero principal que esta sin tapa, lo que representa un riesgo para el personal que labora en las instalaciones, tampoco se observó la presencia de un sistema de puesta a tierra y al preguntar por él, la respuesta fue que se utilizaba la estructura metálica como medio de conexión a tierra, las oficinas son iluminadas mediante luminarias que utilizan 3 lámparas fluorescentes de 32 W, y el área de usos múltiples es iluminada mediante luminarias tipo reflector y utilizan lámparas de luz mixta de 250 W. No se observaron lámparas para iluminación de emergencia.

Figura N° III.1. Vista de planta actual del Galpón de Motores Medidas expresada en metros (m)



Para poder lograr los objetivos planteados se procedió de la siguiente manera, el primer paso fue medir el espacio físico y hacer un plano referencial de toda la planta, luego se continuó con la estimación de la carga conectada, tomando en cuenta los datos de placa de los equipos conectados, a los tomacorrientes de uso general se le asignará una carga conectada de 180W, siguiendo la recomendación del (CEN 2009) [10]. En el caso de no contar con los datos de placa de los equipos, se utilizó la tabla N° III.1. (CARGAS TÍPICAS DE EQUIPOS ELECTRODOMESTICO), tomado de Pennisi, Oswaldo. [17]. Los resultados se pueden observar en las tablas N° IV. 1, N° IV. 2 y N° IV. 3.

Tabla N° III. 1. Carga conectada en cocina de la planta.

Carga Conectada										
Área	Tomacorriente de uso general		Luminarias		Nevera		Horno Microondas		Cafetera	
	Cant.	Potencia (W)	Cant.	Potencia (W)	Cant.	Potencia (W)	Cant.	Potencia(W)	Cant.	Potencia(W)
Cocina	2	360	1	96	1	700	1	1500	1	600

Tabla N° III. 2. Carga conectada en las distintas áreas de la planta.

Carga Conectada									
Área	Tomacorriente de uso general		Computador		Luminarias		Aire acondicionado		
	Cantidad	Potencia (W)	Cantidad	Potencia (W)	Cantidad	Potencia (W)	Cantidad	Potencia (W)	Potencia (W)
Ofc 1	5	900	1	500	2	192	1		1900
Ofc 2	4	720	3	1500	2	192	1		1900
Baño	1	180	0	0	1	100	0		0
Deposito	3	540	0	0	1	96	0		0

Tabla N° III.3. Carga conectada en el área de usos múltiples de la planta.

Área	Tomacorriente de uso general		Luminarias	
	Cantidad	Potencia (W)	Cantidad	Potencia (W)
Área de usos múltiples	6	1080	10	2500

El total de la estimación de la carga conectada es de 15,506 kW. Asumiendo un factor de potencia del 0,9 la potencia aparente será $S = 17,229$ kVA.

Ya con el valor de la carga conectada, se siguió con la investigación sobre las pruebas y los equipos que se utilizan para realizar las pruebas a los interruptores de potencia, se obtuvo lo siguiente, la empresa Vepca hizo una gran inversión en equipos para realizar las pruebas, el criterio utilizado para la adquisición de dichos equipos, fue que estos se alimentarán con tensión de 120 V y que fueran portátiles, esto último porque permite hacer las pruebas en la planta y además en caso del cliente requerirlo se pueden transportar y ejecutar pruebas en sitio. Los equipos que se adquirieron, son de última tecnología y a pesar de ser portables se obtienen resultados en las mediciones con una gran precisión, cabe destacar que cuando estos equipos ameritan ser transportados, se llevan en cajas especialmente diseñadas para tal fin y en un vehículo adecuado y dedicado exclusivamente para el transporte de los equipos de prueba, de esta forma se minimiza el riesgo de que ocurra algún desajuste en la calibración debido al manejo y transporte de estos equipos, además de lo dicho anteriormente, todos los equipos de medición, son revisados y certificados anualmente por el Servicio Autónomo Nacional de Normalización, Calidad, Metrología y Reglamentos Técnicos (Sencamer).

A continuación, se hace una descripción de los equipos de prueba con los que cuenta la empresa.

3.2 Descripción de los equipos de pruebas



Figura. N°III.2. Equipos de prueba.

- **Inyector de alta tensión AC, marca Phenix Technologies, modelo BK-130.**

Este equipo se utiliza básicamente para hacer pruebas a los elementos dieléctricos, es capaz de suministrar una tensión 0 - 130kV AC / 50mA ó 0 - 35kV AC / 171mA, realiza la lectura digital de la tensión y de la corriente, con una precisión del 1%. Como medida de seguridad este equipo tiene un botón de emergencia con el cual se para la inyección inmediatamente, y cuenta con un dispositivo zero star interlock el cual se conecta a un interruptor de limite ubicado en

la puerta que da acceso al área de ensayos, para que pare la inyección si hay una apertura imprevista de la puerta.

- **Medidor de resistencia de aislamiento, marca Vanguard Instruments, modelo IRM500P.**

Este equipo suministra tensiones de (500; 1000; 2500; 5000 VDC), es usado para medir la resistencia del aislamiento, índice de polarización, tiene una memoria interna en donde guarda los resultados de las pruebas las cuales se pueden bajar a la computadora y con la ayuda de un software preparar el informe. Como medida de seguridad este equipo emite un sonido durante la prueba y automáticamente descarga el objeto bajo ensayo antes de terminar el mismo.

- **Equipo para pruebas de interruptores, marca Vanguard Instruments, modelo CT-7500 SERIE 2.**

Es un preciso analizador automático de de Interruptores, se utiliza para medir los tiempos de operación de los interruptores, El CT-7500 puede ser usado solo o con el modo controlado por computadora, un software de análisis de interruptor permite al usuario cronometrar contactos, recuperar datos de disparo de prueba almacenados en el disco duro de la computadora, reanalizar los datos almacenados, y generar reportes de pruebas los cuales pueden ser exportados a Excel.

- **Sistema multifuncional de pruebas primarias, marca Omicron, modelo CPC 100.**

El CPC 100 está dotado de un PC integrado, sus rutinas de software prueban una amplia gama de equipos de subestación y crean automáticamente informes personalizables. Suministra hasta 800 A o 2000 A (con amplificador de corriente), 400 A DC y 2000 V. Las tensiones y corrientes analógicas pueden medirse con una precisión muy alta. Sus contadores de resistencia se ajustan automáticamente al rango de la medición, pasando de μ a k , a fin de posibilitar una amplia variedad de

aplicaciones, en el laboratorio se usa para las pruebas funcionales de inyección de corriente, para la prueba de resistencia de contacto y factor de potencia.

- **Amplificador de corriente marca Omicron, modelo CP CB2.**

La corriente de salida del CPC 100 puede aumentarse hasta 2000 A mediante un amplificador de corriente con control electrónico. El CP CB2 puede conectarse junto a la barra utilizando conductores cortos de alta corriente y al CPC 100 con un cable de control largo.

- **Sistema de prueba de capacitancia y factores de disipación, marca Omicron, modelo CP TD1.**

El estado del aislamiento es un aspecto esencial para la fiabilidad funcional de las instalaciones eléctricas. Con la incorporación del CP TD1, la unidad CPC100 se convierte en un sistema de medición de precisión de Capacitancia y Tangente Delta. Los planes de pruebas y los parámetros pueden prepararse en modo de simulación en el ordenador. Los informes pueden exportarse a formato MS-Excel, lo que permite una fácil manipulación para el análisis detallado de los resultados, como las tendencias y los gráficos.

- **Analizador de transformadores de corriente, marca Omicron, modelo CT Analyzer.**

El CT Analyzer de OMICRON es un instrumento electrónico único, ligero y multi-funcional, diseñado para cumplir las especificaciones más altas al efectuar pruebas de excitación, relación, polaridad y resistencia del devanado en transformadores de corriente (TC), así como medición de carga-impedancia. El equipo ofrece verificación y calibración automáticas de todo tipo de transformadores de corriente con bajo flujo de dispersión, tanto en la subestación como en las instalaciones de los fabricantes de TC y de celdas de conmutación (switchgear). Con el CT Analyzer la verificación de transformadores de corriente se puede realizar con un nivel de exactitud extremadamente elevado. El nivel de exactitud, que supera el

0,02 % / 1 minutos, convierte al CT Analyzer en la herramienta ideal de calibración y verificación, no sólo para TC de protección, sino también para TC de medición de clase 0,2.

Este equipo se usa en el laboratorio para probar los TC de los interruptores, a través de una evaluación automática de los resultados obtenidos, el equipo indica si el TC cumple la especificación de acuerdo con tablas incorporadas de normas definidas: IEC60044-1, IEC60044-6, IEEE C57.13-1993. También cuenta con la función de desmagnetización automáticas del TC tras la prueba.

- **Modulo de recuperación y procesamiento de SF6, marca Dilo, modelo D-310-R004, incluye bomba de vacio modelo D-331- R0001.**

Se utiliza para extraer el gas de los interruptores cuando por alguna razón es necesario abrir el tanque, y almacenarlo en bombonas.

3.3 Selección de las pruebas a realizar en el laboratorio

En términos generales, las pruebas seleccionadas son capaces determinar la condición de los interruptores antes de sean puestos en servicio, para establecer un punto de referencia y poder seguir su evolución en el tiempo, el criterio de selección de las pruebas quedó en mano de la empresa VEPCA, y se basó en la amplia experiencia que posee su personal técnico en esta área y en las recomendaciones o indicaciones de las distintas empresas que adquieren estos equipos.

A continuación se describen las pruebas que serán realizadas en el laboratorio de pruebas a interruptores de potencia, de la empresa VEPCA.

3.3.1 Pruebas funcionales

A pesar de que estas pruebas no se mencionan en las normas, de igual manera se realizan puesto que con ellas se busca verificar que el interruptor en su conjunto realice correctamente todas las funciones que tiene previstas de acuerdo a su configuración, el ensayo consiste en verificar las tensiones de los servicios auxiliares, la iluminación interna, se hace una lectura electrónica de la presión de SF₆, se verifica el funcionamiento de la alarma de baja presión de SF₆ y de las otras alarmas programadas en el relé, se hacen operaciones de apertura y cierre desde el relé en caso de que esté integrado, desde el mando local el cual se encuentra en el panel frontal del interruptor y desde el mando remoto, después de haber verificado el correcto funcionamiento del interruptor, se pasa a las pruebas de inyección de corriente primaria.

3.3.2 Pruebas de inyección de corriente primaria

Estas pruebas tampoco se encuentra en las normas descritas anteriormente, pero con ellas se busca verificar que las protecciones actúen correctamente en el caso que se haya instalado, además es una prueba muy sencilla y rápida de ver el tiempo total de operación del sistema completo, tiempo de operación del interruptor, el tiempo que tarda la protección en actuar y de los elementos auxiliares. Con el sistema multifuncional de pruebas primarias (OMICRON CPC100), se realiza un montaje en el lado de alta del interruptor de potencia, con el cual se obtiene una lectura de la corriente suministrada en el display del relé, la corriente inyectada es de un valor arbitrario cuidando que no sea tan pequeño para evitar errores producidos por los transformadores de corriente, ni tan alto para no sobrecargar el inyector innecesariamente. Antes de comenzar el ensayo, se deben cargar en el relé unos ajustes de prueba que concuerdan con los ajustes hechos en el inyector, y se procede de la siguiente manera:

- Se inyecta una corriente baja (5% de la corriente nominal), y se lee la corriente suministrada en el display del relé, con esto se verifica el cableado y que los transformadores de corriente están en la relación correcta.
- Se inyecta una corriente media (25% de la corriente nominal), y se lee la corriente suministrada en el display del relé.
- Se inyecta una secuencia creciente de corriente con valores cercanos al valor de la corriente de arranque (pickup) que se ajustó en el relé, se toma nota de la corriente de arranque a la que opera el interruptor y se compara con la ajustada, no debe existir diferencia considerable (5%), comparada con los resultados obtenidos de pruebas anteriores en equipos idénticos, éste ensayo se hace primero por fase luego por neutro.
- Con el inyector de corriente, se simula una falla que persiste en el tiempo, el interruptor debe hacer tres operaciones de disparo y dos operaciones de cierre, y posteriormente quedar en posición abierto, se anotan los tiempos de operación los cuales se comparan con los ajustado en el relé, los tiempo medidos son los tiempos de operación total del sistema, para verificar los tiempos de operación solo del interruptor se hace una prueba que se describe más adelante, éste ensayo se hace primero por fase luego por neutro.
- Con el interruptor abierto, se suministra una corriente de falla, se da una orden de cierre, luego el interruptor debe cerrar y abrir instantáneamente sin realizar el ciclo de recierre y posteriormente quedar bloqueado.
- Con el inyector de corriente, se simula una falla transitoria, el interruptor debe hacer un ciclo de dos disparos y dos cierres, el interruptor queda cerrado, éste ensayo se hace primero por fase luego por neutro.

3.3.3 Pruebas de aislamiento

El aislamiento, es un elemento que evita la propagación de un fenómeno (temperatura, sonido, electricidad etc.). El aislamiento eléctrico es el que evita la

circulación de la corriente entre dos puntos que tienen diferente potencial eléctrico, el aislamiento eléctrico se degrada con el tiempo debido a las distintas fatigas que se le imponen durante su vida normal de trabajo, está diseñado para resistir esas fatigas por un periodo de tiempo que se considera como la vida de trabajo de ese aislamiento, con frecuencia dura décadas. La fatiga anormal puede llevar a un incremento en este proceso natural de envejecimiento que puede acortar severamente la vida de trabajo del aislamiento, por ésta razón es buena práctica realizar pruebas regularmente para identificar si tiene lugar un incremento del envejecimiento y, si es posible, identificar si los efectos son reversibles o no, los propósitos de las pruebas de diagnóstico son Identificar el incremento de envejecimiento, identificar la causa de este envejecimiento e identificar, si es posible, las acciones más adecuadas para corregir esta situación.

- Prueba de resistencia de aislamiento de tiempo corto

Es la más simple de todas las pruebas de aislamiento; El voltaje de prueba se aplica por un periodo corto específico de tiempo (generalmente 60 segundos debido a que usualmente cualquier corriente de carga capacitiva decaerá en este tiempo) y luego se toma una lectura. La resistencia de aislamiento es altamente dependiente de la temperatura y por tanto los resultados deben corregirse a una temperatura normalizada, generalmente 40°C, aunque CADAFE en la norma NS-E129 [9]. Exige que la temperatura de referencia para las pruebas dieléctricas sea de 20°C. Esta prueba se hace en el laboratorio, con el medidor de resistencia de aislamiento marca Vanguard Instrument, modelo IRM-5000P, el cual puede inyectar hasta 5kV DC. Además, arroja el valor de resistencia de aislamiento a la temperatura ambiente y los valores corregidos a 20° y 40°C, este es un ensayo complementario de la prueba de tensión aplicada, se hace antes y después de dicha prueba, esto con la finalidad de que si se consigue alguna anomalía en el resultado de la primera prueba no se pase a la segunda debido a que la prueba de tensión aplicada es un ensayo destructivo. No pueden darse valores absolutos específicos de resistencias de aislamiento aceptables,

debe hacerse referencia a valores previos para establecer una tendencia histórica, en nuestro caso se compara con los valores proporcionados por el fabricante y con los valores obtenidos de pruebas realizadas a equipos semejantes.

- Pruebas de tensión de soporte a frecuencia industrial de los componentes principales del aislamiento

Las pruebas de tensión aplicada son realizadas para determinar la habilidad de un aislamiento para soportar sobrevoltajes específicos durante un tiempo definido, sin presentar flameo o ruptura, tienen como objetivo confirmar que el interruptor ha sido diseñado y construido para soportar niveles específicos de aislamiento, que puede conectarse al sistema y que aguantará las condiciones de trabajo que se presentarán durante su operación. En el laboratorio, ésta prueba se realiza con inyector de alta tensión AC, marca Phenix Technologies, modelo BK 130, el cual puede inyectar una tensión de 130kV y una corriente de 50mA, el ensayo consiste en someter al interruptor a una tensión alterna durante un minuto, a frecuencia industrial.

La tensión que se debe aplicar varía dependiendo de la clase de tensión del equipo bajo prueba y de la norma que se use, en la tabla N° III.5. Se muestran los niveles de tensión normalizados que se deben aplicar para realizar la prueba, según las especificaciones de la norma IEC 60094-2001 [6]. Las tensiones que recomienda el estándar ANSI/IEEE C37.06-2000 [5]. Se muestra en la tabla N° III.6. Se aplicara la tensión de prueba especificada según sea el caso, en cada terminal del interruptor, bajo las condiciones descritas en la tabla N° III.4. La tensión elegida es tal, que un aislamiento en buen estado pueda pasar el ensayo y un aislamiento dañado no, por lo tanto es un ensayo del tipo “pasa” “no pasa”. Es posible que al realizar esta prueba no se observen descargas disruptivas ocurridas en el aislamiento, y aun así el aislamiento pudiera presentar fallas, en estos casos es donde toma vital importancia la prueba de resistencia de aislamiento en DC, la cual en el caso antes descrito se

obtendría una lectura muy distinta de la resistencia de aislamiento, antes y después de la prueba de tensión aplicada.

Tabla N° III.4. Condiciones de prueba caso general.

Condición de Prueba	Posición del Dispositivo	Tensión Aplicada Entre	Tierra Conectada Entre
1	Cerrado	Aa	BCbcF
2	Cerrado	Bb	ACacF
3	Cerrado	Cc	ABabF
4	Abierto	A	BCabcF
5	Abierto	B	ACabcF
6	Abierto	C	ABabcF
7	Abierto	A	ABCbcF
8	Abierto	B	ABCacF
9	Abierto	C	ABCabF

Tomado de IEC 60094-2001. Common specifications for high-voltage switchgear and controlgear standards [6]

Tabla N° III.5. Clasificación de niveles de aislamiento para tensiones normalizadas.

N°	Tensión nominal Ur kV, rms	Tensión de aguante de corta duración a frecuencia industrial Ud kV, rms		Nivel de aislamiento al impulso atmosférico Up kV, pico	
		Valor Común	Entre la distancia de aislamiento	Valor Común	Entre la distancia de aislamiento
1	3,6	10	12	20	23
				40	46
2	7,2	20	23	40	46
				60	70
3	12	28	32	60	70
				75	85
4	17,5	38	54	75	85
				95	110
5	24	50	60	95	110
				125	145
6	36	70	80	145	165
				170	195
7	52	95	110	250	290
8	72,5	140	160	325	375

Tomado de IEC 60094-2001. Common specifications for high-voltage switchgear and controlgear standards [6]

Tabla N° III.6. Tensiones Normalizadas Para Pruebas de Resistencias Dieléctricas y Aislamiento Externo.

Pruebas de resistencia dieléctrica				
N°	Tensión nominal kV, rms	Frecuencia industrial		Nivel de aislamiento al impulso atmosférico kV, pico
		1 Min. Seco kV, rms	1 Min. Humedo kV, rms	
1	4,76	19	N/R	60
2	8,25	36	N/R	95
3	15,0	36	N/R	95
4	15,5	50	45	110
5	25,8	60	50	150
6	25,8	60	50	125
7	27,0	60	N/R	125
8	38,0	80	N/R	150
9	38,0	80	75	200
10	38,0	80	75	150
11	48,3	105	95	250
12	72,5	160	140	350

Tomado de ANSI C37.06-2000. AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis - Preferred Ratings and Related Required Capabilities [5]

- Pruebas de tensión de soporte a frecuencia industrial a los circuitos de control y al cableado secundario.

Esta prueba se realiza para verificar la calidad del aislamiento en el cableado del lado secundario de los transformadores de corriente y de los circuitos de control, en el laboratorio este ensayo se realiza con el sistema multifuncional de pruebas primarias (OMICRON CPC100) y consiste en cortocircuitar los conductores que

llegan a las borneras de control e inyectar entre estos y tierra, una tensión sinusoidal de 2000V a frecuencia industrial durante un minuto, la prueba será satisfactoria si no se presenta ruptura o flameo del aislamiento.

3.3.4 Prueba de tiempo de operación

La prueba de tiempo de un interruptor consiste en la medición del tiempo que le lleva al mecanismo realizar una operación o ciclo de operación, es necesaria la verificación de los tiempos de operación mecánicos a todos los interruptores, para tener su firma funcional, su operación incorrecta puede traer consecuencias desastrosas tanto para el equipo como para el personal de las subestaciones, sin mencionar la pérdida por la falta de servicio y los costos de reparación. Las pruebas de tiempo también son una herramienta poderosa para identificar los interruptores defectuosos, para realizar mediciones de los tiempos de las operaciones del interruptor, necesitamos un dispositivo capaz de detectar el instante en que los contactos cambian de estado, desde el momento de que se impartió la orden para comenzar la prueba, en el laboratorio esta prueba se realiza con el analizador digital de interruptores marca Vanguard Instrument, modelo CT 7500P; el ensayo consiste en medir el instante exacto en que los contactos cambian de estado y en verificar la discrepancia de los contactos. Los valores medidos son comparados con los límites de tolerancias establecidos por el fabricante. Las pruebas o mediciones que a continuación se indican son aquellas que se consideran normales, tanto para mantenimiento como para puesta en servicio de un interruptor.

- Determinación del tiempo de apertura.

El tiempo de interrupción de la corriente, se cuenta comenzando desde el instante en que la bobina del mecanismo principal se energiza hasta el final de la interrupción de la corriente en el contacto principal, incluyendo la duración del arco,

entonces, el tiempo de interrupción es igual al tiempo mecánico (tiempo de apertura) más la duración del arco, debido a que las pruebas de tiempo se realizan típicamente cuando el interruptor está fuera de servicio (sin carga), no se puede medir la duración del arco la duración del arco depende de varios factores: el nivel del voltaje, el medio de interrupción, las técnicas de interrupción, etc.

El tiempo de apertura mecánica, es el tiempo que transcurre desde el momento en que se energiza la bobina de apertura, hasta que se produce la separación física de los contactos. Éste tiempo se determina durante las pruebas en fábrica, para en el caso del Horizon de 34,5 kV el tiempo de apertura es de 40 ms.

- Determinación del tiempo de cierre.

El intervalo de tiempo entre la energización del circuito de cierre, estando el interruptor en posición abierta, y el instante en que los contactos se tocan en todos los polos. El tiempo de cierre incluye el tiempo de operación de cualquier equipo auxiliar necesario para cerrar el interruptor y que forme una parte integral del interruptor, por ejemplo en el caso del Horizon de 34,5 kV el tiempo de cierre es de 170 ms.

- Simultaneidad de contactos

En los interruptores de potencia trifásicos, es crucial para la operación apropiada del interruptor y para la red limitar las discrepancias de tiempo entre los contactos, cuando no hay requerimientos especiales, la norma IEC 62271-100-2003 señala que una operación sencilla de cierre o apertura, no debe superar un cuarto de ciclo para el cierre y un sexto de ciclo para la apertura.

- Secuencia de operación

Después de hacer las pruebas individuales de tiempos de apertura cierre, se hace la verificación de la secuencia de operación, según la norma que corresponda.

O – 0,3 s. CO – 3 MIN. – CO. (IEC)

O – 0,3 s. CO – 15 s. – CO. (ANSI)

3.3.5 Pruebas de resistencia del circuito principal

Como sabemos la resistencia eléctrica en un material es la oposición de dicho material al flujo de corriente eléctrica; por lo tanto en un interruptor medir la resistencia de contactos es para determinar los puntos con alta resistencia en partes de conducción, los cuales originan caídas de tensión, generación de calor, pérdidas de potencia, etc. Estas se realizan en circuitos donde existen contactos a presión o deslizantes. Esta prueba se hace en el laboratorio con sistema multifuncional de pruebas primarias (OMICRON CPC100); el ensayo de resistencia de contacto consiste en inyectar un valor de corriente continua entre dos contactos en los cuales se desea medir la resistencia, se mide la caída de tensión y mediante ley de Ohm se calcula la resistencia ($R=V / I$). De acuerdo a la norma IEC 60694-2001 [6]. Artículo 6.4.1, la magnitud de la corriente a inyectar debe ser igual a la corriente nominal, si esto no es imposible de lograr por la capacidad del inyector, se pueden usar corrientes de menor magnitud, pero nunca menos de 50 A, para eliminar el efecto galvánico que podría afectar las lecturas. La IEEE Standard C37.09-1999 [8]. En el artículo 5.15, indica que la corriente inyectada debe ser de por lo menos 100 A, y no debe sobrepasar el límite establecido por el fabricante para evaluar el interruptor. La prueba es superada si la resistencia medida no es superior a 1.2 veces la resistencia que fue medida en el ensayo tipo de aumento de temperatura.

Para el caso del interruptor Horizon de 34,5 kV la prueba es satisfactoria si la resistencia medida es menor de 75μ y de 55μ para el horizon de 15kV.

3.3.6 Pruebas de los transformadores de corriente

Para la verificación de los transformadores de corriente, se utiliza el CT Analyzer de omicron, el cual permite la verificación de los transformadores de corriente con un nivel de exactitud del 0,02%, esta evaluación se puede realizar de dos formas, la primera es una evaluación automática del TC de acuerdo con tablas incorporadas de normas definidas: IEC60044-1, IEC60044-6, IEEE C57.13-1993, función de "reconocimiento automático de placa de características", se usa para equipos usados que no tienen placas o están deterioradas, la segunda es introduciendo en el equipo de medición todos los datos de placa del transformado de corriente, y el dispositivo realiza una evaluación automática de los resultados y concluye si el TC cumple con la especificación de acuerdo con las normas de fabricación del transformador.

3.4 Diseño del laboratorio de pruebas

3.4.1 Consideraciones Generales sobre el diseño

El diseño del sistema eléctrico de cualquier edificación, consiste básicamente en proporcionar el óptimo arreglo de conductores y equipos para transferir, segura y eficazmente la energía eléctrica requerida desde la fuente hasta la carga, en Venezuela todo lo concerniente al diseño de Instalaciones Eléctricas en cualquier edificación residencial, comercial institucional y en lugares clasificados, se rige por el Código Eléctrico Nacional (CEN 2009) [10], el cual es un documento que establece los criterios técnicos para que la instalación a proyectar sea la más segura, sin

embargo, no es un Manual de Diseño, pero su uso dentro del territorio nacional es de carácter obligatorio.

Para diseño del sistema eléctrico del laboratorio para pruebas a interruptores, y la ubicación de los diferentes equipos contenidos en éste, se tomarán en cuenta los siguientes factores:

- Seguridad: deberá poseer los dispositivos necesarios para salvaguardar la integridad física de de las personas y los equipos dentro del laboratorio.
- Flexibilidad: el diseño debe proporcionar la total libertad para realizar todas las pruebas que se estudiaron en este capítulo. Además el sistema debe proveer de manera eficiente la capacidad de energía necesaria para todas las actividades que se desarrollen en el laboratorio.
- Accesibilidad: los equipos de prueba y los que estarán bajo prueba deben estar ubicados de forma tal que sea muy fácil el acceso a las distintas áreas del laboratorio.

3.4.2 Descripción de la infraestructura física del laboratorio

El laboratorio está dividido en dos áreas, el área de control y medición y el área de ensayos, en el área de control y medición, es donde se ubicarán los equipos de prueba y donde permanecerá el personal técnico durante la ejecución de los ensayos, este espacio cuenta con una ventana de cristal transparente, por medio de la cual se puede visualizar el área de ensayos y por lo tanto los equipos bajo prueba. Como se observa en la figura N°III.3. El área de ensayos tiene dos accesos uno que se comunica con el área de control y otro que se comunica con el área de usos múltiples, este último es por donde ingresan los interruptores con la ayuda de un vehículo montacargas, el área de ensayos tendrá tres zonas bien definidas, la primera y la segunda estarán cerca al área de control, se delimitarán por líneas pintadas en el piso y es donde se realizarán las pruebas funcionales de inyección de corriente, las

pruebas de tiempo y las pruebas a los transformadores de corriente, en la tercera zona se ubicará al final del área de ensayos será delimitada completamente con una malla metálica para formar una especie de jaula, aquí es donde se realizarán los ensayos de alta tensión. Esta división en tres zonas, se hizo con la finalidad de poder hacer pruebas simultáneas ver figura N°III.4.

3.4.3 Ubicación de los equipos de prueba y de los interruptores en el laboratorio

Es importante tener en cuenta algunos aspectos que pueden intervenir en la seguridad o la flexibilidad de la instalación.

Los equipos bajo prueba deben estar lo más cercano posible de la sala de control, con esto se busca minimizar la distancia entre el observador y los equipos bajo prueba.

Los equipos de prueba debe ser ubicados de tal forma que sea fácil llevar a cabo funciones de mantenimiento.

En ningún caso la separación mínima del aire entre conductores energizados y entre dichos conductores y elementos cercanos puestos a tierra será menor que las distancias exigidas por el (CEN 2009) [10].

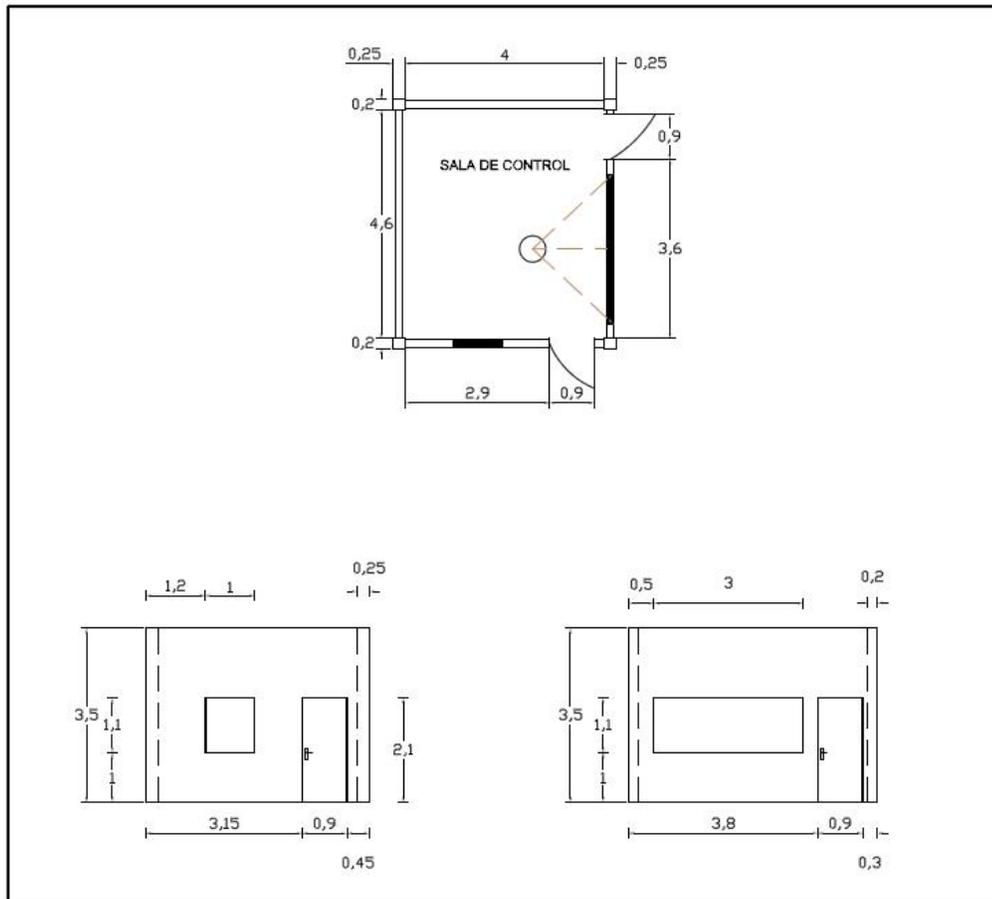


Figura N° III.3. Vistas de la sala de Control. (Medida expresada en metros.)

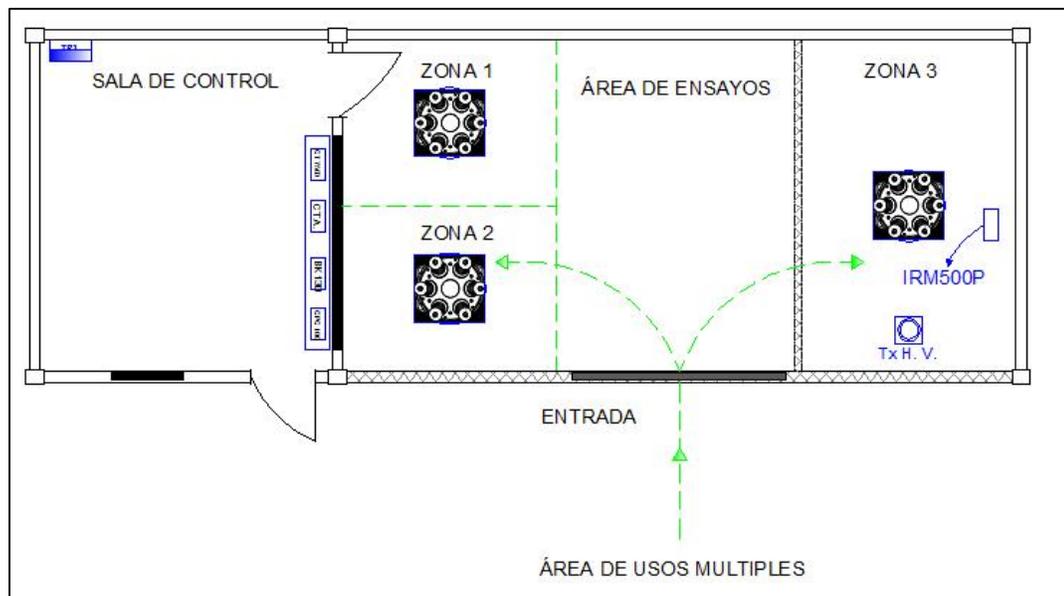


Figura N° III.4. Vistas de la sala de control y área de ensayos.

3.5 Cálculo de la acometida eléctrica

Para el cálculo de la acometida se hace una estimación de la demanda, tomando en cuenta, las luminarias que resultaron del cálculo del sistema de iluminación tanto para el área de pruebas como para la sala de control y medición, se instalará un aire acondicionado de 18000 BTU en la sala de control, computadoras, varios tomacorriente para uso general, se disponen unos tomacorrientes especiales en el área de pruebas los cuales alimentarán los equipos bajo prueba, la demanda de los diferentes equipos de prueba, a pesar que se realizarán pruebas simultáneamente, no todos los equipos de prueba serán utilizados al mismo tiempo, por lo que se estima un factor de simultaneidad del 80% y del 50% para los tomacorrientes que alimentarán los interruptores bajo prueba, además se estima una reserva del 10%. Estos valores se puede observar en la tabla N° III.7.

La estimación de la demanda total es de $S = 45,676$ kVA, esta carga será suministrada por la línea de distribución aérea de (CADAFE) que pasa frente al galpón, la distancia entre el punto de conexión y el tablero principal no supera los 10 metros.

Debido a que la acometida existente fue diseñada para suplir la demanda que está conectada actualmente, que según la estimación realizada es de 17,229 kVA, y ahora con la implementación del laboratorio la demanda total sería de 45,676 kVA. Es necesario una nueva acometida, la cual alimentaría un tablero principal (TP), de donde se deriven dos circuitos trifásicos uno que alimentará el tablero el cual energizará las instalaciones generales de la planta y otro que va al tablero que alimentará el laboratorio de pruebas.

Tabla N° III.7. Estimación de la demanda del laboratorio

Fuente	Cantidad	Potencia Aparente (VA)	Consumo (VA)
Iluminación Del Área De Pruebas	6	421	2.526
Iluminación Sala De Control Y Medición	9	115	1.035
Toma Corriente Especiales Área De Pruebas*	3	2.000	3.000
Toma Corriente Uso General Área De Pruebas	6	180	1.080
Toma Corriente Uso General Sala De Control	4	180	720
Computador	2	500	1.000
Aire Acondicionado	1	2.900	2.900
CPC100**	1	7.000	5.600
BK130**	1	6.500	5.200
CT 7500**	1	1.500	1.200
CT ANALYZER**	1	1.500	1.200
IRMP5000**	1	500	400
Reserva 10%	1	2.586	2.586
Total		28.447VA	

*Se aplica factor de simultaneidad del 50%

**Se aplica factor de simultaneidad del 80%

Se procede a realizar los cálculos para determinar la corriente de la nueva acometida principal, se realizan mediante la siguiente ecuación:

$$S = V \times Il \times \sqrt{3} \quad [EC.IV.1]$$

$$Il = \frac{S}{V \times \sqrt{3}} \quad [EC.IV.2]$$

Donde

S: Potencia Aparente

V: Tensión Fase-Fase

Il: Corriente de Línea

Por lo tanto de la ecuación [EC. IV. 2] se obtiene:

$$I_l = \frac{45,676 \text{ kVA}}{208V \times \sqrt{3}} = 126,78A$$

Se procede a la selección del conductor por capacidad de corriente:

Según el (CEN 2009) [10]. En su tabla 310.16 de (Ampacidades Admisibles de los Conductores Aislados para Tensiones Nominales de 0 a 2000 Voltios y 60°C a 90°C con No Más de Tres Conductores Portadores de Corriente en Una Canalización, Basadas en Una Temperatura Ambiente de 30°C). Dice que un conductor de cobre, tipo THW calibre 1/0 AWG, tiene una ampacidad de 150A, y al hacer la corrección por temperatura debido a que la temperatura promedio en la planta ronda los 33°C, la capacidad del conductor queda reducida a 141 A, lo que supera el valor necesario.

La caída de tensión se calcula utilizando la ecuación N° [EC.IV.3]. Extraída de Pennisi, Oswaldo [17].

$$V\% = \frac{I \times L \times (r \times \cos\alpha + x \times \sen\alpha)}{V_0} \times 100 \quad [\text{EC. IV. 3}].$$

Donde

V%: Es el porcentaje de la caída de tensión

I: Corriente de línea

L: Longitud de la línea

r: Resistencia por unidad de longitud

x: Reactancia por unidad de longitud

α : Angulo de desfase entre la tensión y la corriente

V₀: tensión de alimentación

La reactancia, y la resistencia de los conductores se pueden obtener del (CEN 2009) [10]. En la tabla N° 9. (Resistencia y Reactancia de Corriente Alterna (CA) para Cables de 600 Voltios, 3 Fases, 60 Hz, 75°C Tres Conductores Sencillos en Conducto). Que para el caso del conductor de cobre THW, calibre 1/0 AWG en ducto de acero, se obtiene que $r = 0,39$ y $x = 0,180$, suponiendo un factor de potencia de 0,9 y como se dijo anteriormente el punto de conexión y el tablero principal no supera los 10 metros, se sustituyen los valores en la ecuación [EC. IV .3], se obtiene:

$$V\% = \frac{126,78 A \times 0,010 km (0,39 \times \cos 25,84^\circ + 0,180 \times \sen 25,84^\circ)}{208V} \times 100$$

$$V\% = 0,26\%$$

Lo que significa que el calibre escogido es el adecuado, debido a que el código eléctrico nacional acepta una caída de tensión de hasta 2% desde la fuente al tablero principal, y 3% desde el tablero a la carga más lejana véase sección 210.19 y 215.2 (CEN 2009) [10].

La acometida eléctrica se canalizará a través de tubería metálica de acero de pared gruesa tipo conduit, debido a su resistencia tanto mecánica como a la corrosión puede ser usado en cualquier clase de trabajo; en especial se recomienda en instalaciones industriales de tipo visible ó en instalaciones a la intemperie o permanentemente húmedas.

Para la selección del calibre del conductor del tierra, se hace uso de la tabla 250.122 del (CEN 2009) [10]. "Calibre Mínimo de los Conductores de Puesta a Tierra de quipos y Canalizaciones". En este caso corresponde un conductor de cobre TW #6 AWG.

Entonces ya conociendo el calibre de todos los conductores, se hace la selección del diámetro de la tubería, utilizando la tabla C1 "Número Máximo de Conductores o Cables de Aparatos en Tubería Eléctrica Metálica de tipo EMT"(CEN 2009) [10]. Que para este caso una tubería de 2" es suficiente para albergar 4 conductores tipo THW calibre 1/0 AWG que corresponden a los conductores de fase y neutro, y un conductor tipo TW calibre 6 AWG correspondiente al conductor de tierra, además queda espacio de reserva en la tubería para una posible ampliación.

Para la selección de la protección se utiliza la siguiente ecuación extraída de Pennisi, Oswaldo [17].

$$IP = \frac{Id + Ic}{2} \quad [\text{EC. IV. 4}]$$

IP: corriente de la protección

Id: corriente de diseño obtenido por cálculos y estimaciones

Ic: corriente máxima permisible del conductor seleccionado

$$IP = \frac{126,78 + 150}{2} = 138,39A$$

Luego la protección será 3 x 150A, 240V tamaño normalizado, ver sección 240.6 del (CEN 2009) [10].

En relación a la capacidad de cortocircuito, para fines prácticos vamos a realizar la selección de protección usando el método de la Westinghouse [17], en el cual se ilustra mediante un procedimiento gráfico la forma de calcular la corriente de falla en kA, para interruptores termomagnéticos en baja tensión. Necesitamos las siguientes variables:

Tensión de trabajo: 208V

Capacidad del transformador: 112,5 kVA

Impedancia del transformador: 4,5%

Distancia del conductor desde el transformador al interruptor: 10m 33pies

Calibre del conductor: 1/0

Nivel de cortocircuito de la empresa prestadora del servicio eléctrico en el punto de entrega al transformador: este dato es difícil conseguirlo, es por ello que tomamos 500MVA que corresponde al caso más desfavorable.

Con estos datos seleccionamos la gráfica que corresponda con la capacidad y la impedancia del transformador, la solución se obtiene, entrando por las abscisas con el valor de la distancia, interceptando con la curva correspondiente al calibre 1/0 y al nivel de cortocircuito de 500MVA, con esos datos se obtuvo que la capacidad de interrupción de cortocircuito es de 10kA simétricos. Este procedimiento se explica en Pennisi, Oswaldo [17].

La acometida calculada llega hasta el tablero principal del cual derivan dos circuitos trifásicos uno que alimentará el tablero que suministra energía a las cargas generales de la planta las cuales se visualizan en las tablas N° IV.1, IV.2, IV.3. Y un tablero secundario, ubicado en la sala de control y medición, desde donde se energizará toda la carga del laboratorio.

Para el cálculo del alimentador del tablero secundario, se procede de la misma manera que en el caso anterior con la ecuación [EC.IV.2] se calcula la corriente de línea

$$I_l = \frac{28,447 \text{ kVA}}{208V \times \sqrt{3}} = 78,96A$$

Para la selección del calibre del conductor por capacidad de corriente, se utiliza la tabla 310.16 del (CEN 2009) [10]. En la cual se observa que un conductor tipo THW calibre 4 AWG, tiene una Ampacidad admisible de 85 A. El cual haciendo el ajuste por temperatura debido a que como se mencionó anteriormente la

temperatura promedio de la instalación es distinta a 30° C. Se tiene que dicho conductor tiene una capacidad 79,9 A. por lo cual se concluye 4 AWG es suficiente para lo que se demanda.

La caída de tensión se calcula utilizando la ecuación N° [EC.IV 3].

$$V\% = \frac{78,96 A \times 0,035 km (1,02 \times \cos 25,84^\circ + 0,197 \times \sen 25,84^\circ)}{208V} \times 100$$

$$\Delta V\% = 1,33\%$$

$$IP = \frac{78,96 + 85}{2} = 81,98$$

Resulta una protección de 3 x 90A, 240V.

Capacidad de interrupción de cortocircuito es de 10kA simétricos.

De la tabla 250.122 del (CEN 2009) [10]. Se deduce que conductor de tierra, correspondiente para este caso es un conductor de cobre TW calibre # 8 AWG.

Para poder canalizar 4 THW # 4 AWG + 1 TW # 8 utilizaremos una tubería metálica tipo Conduit de 1 1/2".

Se instalarán 4 luminarias (2 x 4 W), y baterías de respaldo 4,5Ah. Para iluminación de emergencia, 2 estarán ubicadas en los accesos del área de control y las otras 2 en el área medición.

3.6 Cálculo del sistema de iluminación

En este punto se realizará el cálculo de luminarias para la sala de control y medición y el área de ensayos del laboratorio de pruebas para interruptores de potencias.

Los sistemas de iluminación deben ser diseñados con el fin de proveer las condiciones mínimas de confiabilidad, seguridad y confort visual para la realización de tareas específicas, además deben tomarse en cuenta factores determinantes de tipo económico, estético, de operación y mantenimiento, siendo el conjunto de todos estos parámetros los que finalmente permitan tomar las decisiones.

El método que se utilizará para el cálculo de la iluminación, será el método de los lúmenes, método que es aplicado en ambientes interiores donde se requiera una iluminación uniforme y se basa en el concepto de la iluminancia media de un local, se necesitarán los siguientes datos de entrada.

- **Dimensiones del local:** Se debe disponer de los planos de los ambientes a iluminar para obtener toda la información de las medidas del área, de dicho ambiente.
- **Altura del plano de trabajo:** El plano de trabajo es la superficie real o imaginaria situada a cierta distancia del piso, en la cual estará situado el objetivo a iluminar o se realizará la actividad principal del local.
- **Reflectancias:** La reflexión de una superficie es el porcentaje de la cantidad de luz que se refleja de la superficie. las superficies con colores claros tendrán mayores reflexiones que los acabados con superficies oscuras. por lo tanto se

debe determinar las reflexiones del piso, pared y techo según sus colores o acabados.

- **Nivel de iluminación:** Un adecuado nivel de iluminación dependerá de la actividad y la demanda visual. los niveles de iluminación pueden seleccionarse por medio de tablas y recomendaciones realizadas por varias sociedades y estudios de luminotecnia.

3.6.1 Pasos a seguir en el cálculo de iluminación por el método de la cavidad zonal.

3.6.1.1 Determinación del nivel de iluminación requerido (N.I.)

Se toma como referencia la Norma Venezolana *Iluminancias en Tareas y Áreas de Trabajo* COVENIN 2249-93 [11]. Esta norma indica los valores recomendados de iluminancia media en servicio para actividades y tareas visuales específicas y áreas de trabajo en condiciones normales. En la gama de valores recomendados ha sido tomado en cuenta que niveles por encima del valor superior “C”, probablemente represente un derroche de energía y que los niveles por debajo del valor inferior “A”, podrían significar un desempeño visual menos eficiente. Los valores medios de las gamas “B” corresponden a la iluminancia media en servicio recomendada de acuerdo a los requisitos visuales de la tarea, la experiencia práctica y la necesidad de una utilización eficiente de la energía; sin embargo son valores recomendados y pueden modificarse cuando la tarea a realizar a si lo requiera. Siguiendo la recomendación de esta norma para el caso de un laboratorio se recomienda un nivel de iluminación de 1000 [lumen/m²]

3.6.1.2 Determinación del coeficiente de utilización (C.U)

El factor de utilización describe el porcentaje del flujo luminoso entregado por las luminarias que es efectivamente utilizado por el local iluminado, es un factor que toma en cuenta la eficacia, la distribución de las luminarias, la altura del montaje, las dimensión y las reflectancias de las paredes, techo y suelo.

En el caso de la sala de control se propone como opción técnica y económicamente viable, la utilización de lámparas fluorescentes T-5/G5 mini bi-pin, de 28 W, a 120 V., (ver anexo 2), por su alta eficiencia, alto índice de rendimiento de color, ya que no se recomienda un IRC menor del 80% en espacios interiores donde trabajen personas por largo tiempo y por último por su larga vida útil [10]. Se utilizarán luminarias para 4 lámparas, embutida con difusor lumínico de plástico poliprismático, de esta forma se obtener una distribución del flujo luminoso en forma directa y uniforme. De los planos (ver figura N°III.3.) obtenemos las dimensiones de la sala de control, 4m largo, 4,60m de ancho y una altura de 3,5m en este caso la altura del plano de las luminarias seria igual a la del techo, se asume 0,8m como altura del plano de trabajo.

Para determinar el coeficiente de utilización, se debe calcular, inicialmente la relación de la cavidad del cuarto (R.C.R.) que es una relación que guardan las dimensiones del local y la altura de montaje de las luminarias el cual está definida en el manual de iluminación IES Lighting Handbook [18]. Como:

$$R.C.R. = \frac{(a + l) \times 5 \times (h - h^*)}{a \times l} \quad [\text{EC. IV. 5}]$$

a: ancho del local = 4,60

l: largo del local = 4,00

h: altura del plano de las luminarias = 3,5

h*: altura del plano de trabajo = 0,80

$$R.C.R. = \frac{(4,60 + 4,0) \times 5 \times (3,5 - 0,80)}{(4,60 \times 4,0)} = 6,31$$

A partir del valor de relación de cuarto obtenido, y asumiendo un porcentaje de reflexión del 70% para el techo, 50% para las paredes y de 30% para el suelo, estos son valores promedios normalizados, tomando en cuenta el color, la textura y el brillo, (ver anexo 3), se obtiene de las tablas del manual de iluminación IES Lighting Handbook [18], para la correspondiente luminaria a utilizar, el siguiente coeficiente de utilización.

$$C.U. = 0,27$$

El coeficiente de utilización determinado, es aplicable a zonas que tengan una reflectancia efectiva de la cavidad del suelo de 20%. Si la reflectancia real del suelo difiere sensiblemente, como sucede en este caso es necesario aplicar un factor de corrección el cual se obtiene de la tabla N° III.8.

El factor multiplicación para un valor de relación del cuarto de 6 y de 7 son 1,030 y 1,026 respectivamente, interpolando adecuadamente se obtiene que para un R.C.R = 6,31 el coeficiente de utilización se debe multiplicar por un factor de 1,0287 entonces el coeficiente de utilización queda de la siguiente forma:

$$C.U. = 0,27 * 1,0287 = 0,277$$

Tabla N° III.8. Factores de multiplicación para reflectancias efectivas de la cavidad del suelo distintas del 20

%

% Effective Ceiling Cavity Reflectance cc	80				70				50			30			10		
% Wall Reflectance w	70	50	30	10	70	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10

For 30 Per Cent Effective Floor Cavity Reflectance (20 per cent = 1.00)

Room Cavity Ratio																	
1	1.092	1.082	1.075	1.068	1.077	1.070	1.064	1.059	1.049	1.044	1.040	1.028	1.026	1.023	1.012	1.010	1.008
2	1.079	1.066	1.055	1.047	1.068	1.057	1.048	1.039	1.041	1.033	1.027	1.026	1.021	1.017	1.013	1.010	1.006
3	1.070	1.054	1.042	1.033	1.061	1.048	1.037	1.028	1.034	1.027	1.020	1.024	1.017	1.012	1.014	1.009	1.005
4	1.062	1.045	1.033	1.024	1.055	1.040	1.029	1.021	1.030	1.022	1.015	1.022	1.015	1.010	1.014	1.009	1.004
5	1.056	1.038	1.026	1.018	1.050	1.034	1.024	1.015	1.027	1.018	1.012	1.020	1.013	1.008	1.014	1.009	1.004
6	1.052	1.033	1.021	1.014	1.047	1.030	1.020	1.012	1.024	1.015	1.009	1.019	1.012	1.006	1.014	1.008	1.003
7	1.047	1.029	1.018	1.011	1.043	1.026	1.017	1.009	1.022	1.013	1.007	1.018	1.010	1.005	1.014	1.008	1.003
8	1.044	1.026	1.015	1.009	1.040	1.024	1.015	1.007	1.020	1.012	1.006	1.017	1.009	1.004	1.013	1.007	1.003
9	1.040	1.024	1.014	1.007	1.037	1.022	1.014	1.006	1.019	1.011	1.005	1.016	1.009	1.004	1.013	1.007	1.002
10	1.037	1.022	1.012	1.006	1.034	1.020	1.012	1.005	1.017	1.010	1.004	1.015	1.009	1.003	1.013	1.007	1.002

Tomado de del manual de iluminación IES Lighting Handbook [18].

3.6.1.3 Determinación del factor de mantenimiento

El factor de mantenimiento tiene en cuenta la depreciación de las características fotométricas de las luminarias y el envejecimiento de las lámparas, varía según las condiciones ambientales y la forma como se efectúa el mantenimiento, estos factores contribuyen al descenso de en el nivel de iluminación, por lo que es de suma importancia considerarlos a la hora de realizar cálculos de iluminación.

El factor de mantenimiento, es igual al producto de los tres factores parciales descritos en el capítulo I. para la depreciación del flujo de la lámpara (FDF) consideramos la relación entre los lúmenes iniciales y los lúmenes promedios la lámpara utilizada.

$$FDF = \frac{\text{Lúmenes medios}}{\text{Lúmenes iniciales}} = \frac{2450}{2600} = 0,94 \quad [\text{EC. IV. 6}]$$

Para una luminaria cerrada y asumiendo un ambiente medio sucio, entonces la depreciación de la luminaria según N° III.9. Es:

$$FDS = 0,88$$

Tabla N° III.9. Factores de depreciación por suciedad en las luminarias dependiendo del ambiente.

Tipo de luminaria	Muy Limpio	Limpio	Medio	Sucio	Muy Sucio
Abierta no ventilada	0,90	0,80	0,71	0,64	0,56
Abierta ventilada	0,95	0,89	0,83	0,78	0,72
Cerrada	0,97	0,93	0,88	0,83	0,78
Vidrio refractor o cerrada y filtrada	0,98	0,95	0,93	0,89	0,86

Tomado de GE Lighting Systems INC [13]

En el caso de la depreciación de la superficie del local, se asume un periodo de mantenimiento de 12 meses, y suponiendo un ambiente medio sucio y para el caso de una distribución luminosa de las luminarias tipo directa, utilizando tabla de factores depreciación por suciedad del cuarto ver (anexo 4). Se obtiene:

$$FDR = 0,94$$

El factor de mantenimiento total es la multiplicación de los factores parciales

$$F.M.=0,94 \cdot 0,88 \cdot 0,94=0,77$$

3.6.1.4 Cálculo del número de luminarias requeridas

Para determinar el número de luminarias, aplicamos la siguiente relación:

$$NL = \frac{Ln}{LL} \quad [\text{EC. IV. 7}]$$

NL: Número de luminarias

Ln: Lúmenes necesarios

LL: Lúmenes por luminaria

Pero antes tenemos que conocer los lúmenes necesarios los cuales los podemos encontrar de la siguiente forma:

$$Ln = \frac{N.I. \times a \times l}{C.U. \times F.M.} \quad [\text{EC. IV. 8}]$$

Ln: lúmenes necesarios

NI: nivel de iluminación

a: ancho del local

l: largo del local

C.U.: Coeficiente de utilización

F.M.: factor de mantenimiento

Sustituyendo

$$L_n = \frac{1000 \text{ [lumen/m}^2\text{]} \times 4 \times 4,60 \text{m}^2}{0,277 \times 0,77} = 86267,52 \text{ Lúmenes}$$

Las lámparas utilizadas entregan 2600 lúmenes (ver anexo 2) y como se indico anteriormente las luminarias son de 4 lámparas, a si que Sustituyendo se tiene:

$$NL = \frac{86267,52 \text{ [lúmenes]}}{4 \times 2600 \text{ [lúmenes/luminarias]}} = 8,29 \quad 9 \text{ luminarias}$$

La disposición de las luminarias debe ser colocadas en un arreglo lo mas simétrico posible con respecto a la arquitectura del local, por razones de estética, pero se debe garantizar no interferir con la uniformidad de la iluminación.

Cada luminaria consume 4 x 28 W, a un factor de potencia de 0,98 lo que da un consumo por luminaria de 114,28 VA, en total las 9 luminarias consumen 1028,57 VA.

Para el caso del área de medición, se procede de la misma forma que en el caso anterior, de los planos obtenemos las dimensiones, l = 9,35m de largo, a = 4,60m de ancho y una altura de H = 7m se asume 0,8m como altura del plano de trabajo, el techo es de laminas de acerolit color verde opaco, las paredes son color blanco aunque el lado que separa el área de pruebas con el área de usos múltiples es una malla de tela metálica, el suelo tiene un acabado claro.

El área de pruebas presentan gran altura de techo, para este tipo de local es conveniente utilizar una fuente de luz que tenga una alta emisión luminosa, en este caso se propone usar lámparas de metal halide, debido a que este tipo de lámparas permiten obtener rendimientos luminosos elevados, excelentes propiedades de

reproducción cromática, una larga vida útil y su alta eficiencia energética, las luminarias a utilizar son reflectores parabólicos ventilados, se requiere el mismo nivel de iluminación de 1000 [lumen/m²].

Determinación del coeficiente de utilización (C.U)

$$R.C.R. = \frac{(a + l) \times 5 \times (h - h^*)}{a \times l}$$

a: ancho del local = 4,60

l: largo del local = 9,35

h: altura del plano de las luminarias = 5,5

h* : altura del plano de trabajo = 0,80

$$R.C.R. = \frac{(4,60 + 9,35) \times 5 \times (5,5 - 0,80)}{(4,60 \times 9,35)} = 7,62$$

Para casos como este donde las luminarias quedan suspendidas, es necesario calcular la reflectancia efectiva de la cavidad del techo de la forma siguiente:

Se debe calcular la relación de la cavidad del techo (C.C.R) usando la siguiente ecuación

$$C.C.R. = R.C.R. \cdot \frac{h_{cc}}{h_{rc}} \quad [\text{EC. IV. 10}]$$

h_{cc}: altura cavidad del techo = 1,5

h_{rc}: altura cavidad del cuarto = 4,7

$$C.C.R. = 7,62 \cdot \frac{1,5}{4,7} = 2,43$$

Luego se determina la reflectancia efectiva de la cavidad del techo a partir de la tabla del (anexo 5). La reflectancia base es la del techo, la de la pared es la correspondiente a la parte de la pared que está por encima del plano de las luminarias.

La tabla de reflectancias efectivas de cavidad muestra que con una reflectancia de 80% para el techo y de 10% para la pared, (se considerarán diez debido a que los materiales empleados, superficies y estructuras metálicas tienen coeficientes de reflexión bajos), la reflectancia de la cavidad está comprendida entre 36% para una relación de cavidad de 2,4 y de 34% para una relación de 2,6 de manera que para este caso la reflectancia efectiva de la cavidad del techo es del 35,7%. La tabla del manual de iluminación IES Lighting Handbook [18], para la correspondiente luminaria a utilizar, arroja el siguiente coeficiente de utilización.

$$C.U. = 0,345$$

Determinación del factor de mantenimiento

$$FDF = \frac{\text{Lúmenes medios}}{\text{Lúmenes iniciales}} = \frac{30000}{32500} = 0,92$$

Para una luminaria abierta, ventilada y asumiendo un ambiente sucio, entonces la depreciación de la luminaria según la Tabla N° III.9. Es:

$$FDS = 0,78$$

En el caso de la depreciación de la superficie del local, se asume un periodo de mantenimiento de 12 meses, y suponiendo un ambiente sucio y para el caso de una distribución luminosa de las luminarias tipo directa, utilizando tabla del (anexo 4). Se obtiene que:

$$FDR = 0,94$$

$$F.M. = 0,92 \quad 0,78 \quad 0,94 = 0,67$$

Cálculo del número de luminarias requeridas

$$NL = \frac{Ln}{LL}$$

NL: Número de luminarias

Ln: Lúmenes necesarios

LL: Lúmenes por luminaria

$$Ln = \frac{N.I. \times a \times l}{C.U. \times F.M.}$$

Ln: lúmenes necesarios

NI: nivel de iluminación

a: ancho del local

l: largo del local

C.U.: Coeficiente de utilización

F.M.: factor de mantenimiento

Sustituyendo

$$Ln = \frac{1000 \text{ [lumen/m}^2\text{]} \times 9,35 \times 4,60}{0,345 \times 0,67} = 186069,65$$

En el caso de las lámparas utilizada entregan 32500 lúmenes (ver anexo 2) y las luminarias utilizadas usan una lámpara, a si que Sustituyendo se tiene

$$NL = \frac{186069,65 \text{ [lumenes]}}{1 \times 32500 \text{ [lumenes/luminarias]}} = 5,72 \text{ } 6$$

Cada luminaria consume 400 W, a un factor de potencia de 0,95 lo que da un consumo por luminaria de 421,05 VA en total en total las 6 luminarias consumen 2526,31 VA.

Debido a que conseguir los datos de las reflectancias efectivas para las luminarias que se van a utilizar resulta muy difícil, se utilizaron las tablas genéricas que están en el manual de iluminación IES Lighting Handbook [18]. Por lo cual el resultado obtenido es aproximado.

Estos valores fueron corroborados utilizando el programa comercial de distribución gratuita LITESTAR de Oxytech, para ello se cargaron los datos de la simulación según lo expuesto anteriormente, como tipo de luminaria, nivel de iluminación, dimensiones del local, potencia de las lámparas, etc. De igual manera se procedió al diseño de iluminación del galpón, para esto se utilizó el método de cálculo punto a punto directo e indirecto con 7 interreflexiones, el informe correspondiente a esta simulaciones se anexan a este trabajo (Anexo N°6).

A pesar de que para el cálculo manual se usaron valores referenciales obtenidos de la literatura, en el caso del estudio de iluminación para la sala de control obtenidos se corresponden con los valores arrojados por el software, pero existe una diferencia importante en el área de medición, esto se puede atribuir a que los valores utilizados para las reflectancias efectivas de las luminarias no son correctos.

3.7 Diseño del sistema de puesta a tierra

Para diseñar el sistema de puesta a tierra es necesario conocer la resistividad del terreno, para obtener este valor se recomienda realizar mediciones directas en el terreno, evitando el uso de tablas de carácter general.

3.7.1 Medición de resistividad del terreno

Debido a que el sitio donde se va a implementar el sistema de puesta a tierra tiene un piso de concreto, se tuvo que taladrar para abrir los orificios donde se iban a enterrar los electrodos de medición, el método de medición usado fue el método de los cuatro electrodos en configuración Wenner, el equipo para realizar la medición utilizado fue el Omicron CPC100.

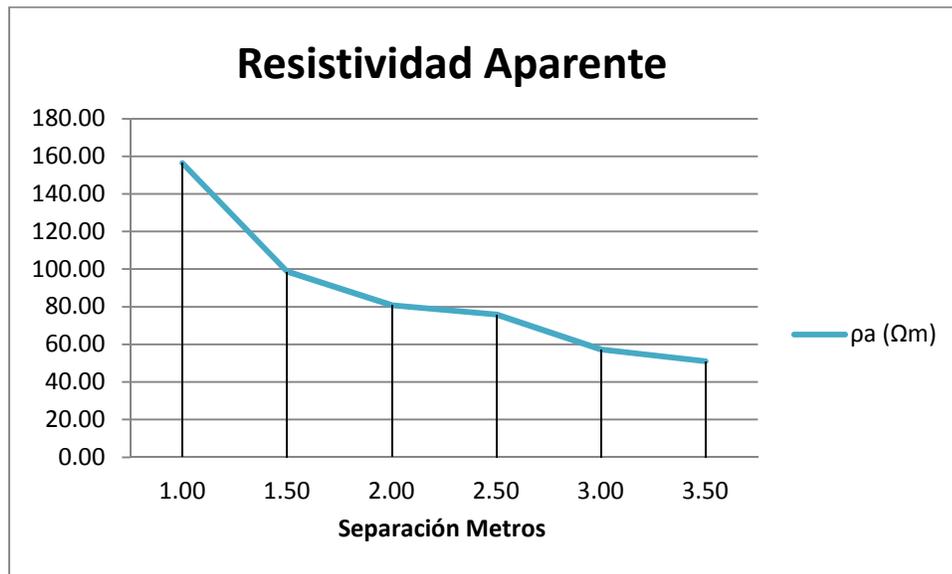
La medición se hizo durante la época de verano, la temperatura ambiente para el momento del estudio era de 35°C. El área disponible para hacer la medición era de 12 metros de largo, se tomaron 6 mediciones, en el (anexo 7) se muestran los resultados que arrojó el equipo de medición, pero en la siguiente tabla se hace un resumen de los resultados.

Tabla N° III.10. Registros de campo de las mediciones de resistividad.

a (m)	R()	(.m)
1	24,894	156,45
1,5	10,477	98,68
2	6,433	80,87
2,5	4,831	75,89
3	3,039	5726
3,5	2,324	51,02

En la siguiente gráfica se observa la curva de resistividad aparente la cual se obtiene de los registros obtenidos de las mediciones de campo.

Gráfica N° III.5. Curva de Resistividad Aparente



3.7.2 Modelo del suelo

En la gráfica se observa que el terreno es no homogéneo, por lo que es necesario determinar la resistividad aparente utilizando un modelo equivalente de dos capas; se propone el uso del método gráfico aproximado desarrollado por Sunde, el cual permite calcular la profundidad de la primera capa del terreno (h). El procedimiento se explica en el capítulo II.

De la curva de resistividad aparente se obtiene:

$$l_1 = 156,45 \text{ [m]} \text{ y } l_2 = 51,02 \text{ [m]}$$

$$\frac{2}{1} = \frac{51,02}{156,45} = 0,32$$

Luego como en la gráfica de Sunde (ver figura N°II.8.), no hay ninguna curva donde $2 / 1 = 0,32$ se debe dibujar una nueva curva sobre ésta gráfica y en ella seleccionar el valor de $k = a / 1$ y el de a / h .

Entonces de la gráfica se obtiene

$$k = \frac{\rho a}{\rho_1} = 0,6 \quad ; \quad \frac{a}{h} = 2$$

Luego como $1 = 156,45$ [m]

$$a = 156,45 \times 0,6 = 56,32$$

De la gráfica N° III.5. Se obtiene el valor de (a) para $a = 56,32$

$$a = 3,03$$

Por último

$$h = \frac{a}{2} = \frac{3,03}{2} = 1,519$$

Se concluye que la primera capa tiene una profundidad de 1,52 metros y una resistividad aparente de 156,45 [m].

3.7.3 Selección del sistema de puesta a tierra

Se tiene como premisa que no estará presente personal alguno en el área de medición mientras esté energizado el objeto de prueba, por lo tanto no se estudia controlar los potenciales de superficie en dicha área, además como se dijo antes el sitio donde se instalará el sistema de puesta a tierra tiene un piso de concreto, esto se debe tener en cuenta para seleccionar el tipo de puesta a tierra, el cual tenga menor

impacto económico en su instalación, por estas razones se propone el uso de electrodos de puesta a tierra en forma de barras tipo copperweld de 2,44 m (8 pies) de longitud y de 0,015875 m (5/8 pulgadas) de diámetro, en cumplimiento con lo especificado en el código eléctrico nacional (“250.52 Electrodo de Puesta a Tierra”) (CEN 2009) [10].

3.7.4 Cálculo del número de barras

La IEEE Recommended Practices for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems Estándar 142-2007 [19], establece que la Resistencia de un electrodo de puesta a tierra tipo barra se obtiene al aplicar la siguiente ecuación:

$$R = \frac{\rho}{2 \times \pi \times L} \times \left(\ln \left(8 \times \frac{L}{d} \right) - 1 \right) \quad [\text{EC. IV. 11}]$$

Donde

R: valor de resistencia en [Ω]

ρ : resistividad aparente del terreno en [$\Omega \cdot \text{m}$]

d: diámetro de la barra en [m]

L: longitud de la barra en [m]

Con las propiedades de las barras que se usaran y utilizando la ecuación [EC. IV. 11]

$$R = \frac{156,45}{2 \times 3,1416 \times 3} \times \left(\ln \left(8 \times \frac{2,44}{0,015875} \right) - 1 \right) = 62,4$$

La resistencia para una sola barra enterrada es de 62,4 Ω , con este resultado no se da cumplimiento a lo que dice el artículo “250.56 Resistencia de Electrodo de

Tubos, Barras y Placas” (CEN 2009) [10]. En el que se indica que la resistencia de tierra debe estar por debajo de los 25

Se realiza el cálculo para dos o más barras enterradas, según la IEEE Std. 142 – 2007 [19], la determinación del valor teórico de resistencia de puesta a tierra considerando múltiples barras se obtiene utilizando un factor de multiplicación, el cual se muestra en la tabla siguiente:

Tabla N° III.11. Factor F para el cálculo de sistemas de dos barras o más.

Número de barras	F
2	1,16
3	1,29
4	1,36
8	1,68
12	1,80
16	1,92
20	2,00
24	2,16

Tomado de IEEE 142-2007[19]. Recommended Practices for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems

Este factor de multiplicación según Ojeda (2010) [14] se aplica de la siguiente manera

$$RT = \frac{R}{N} \times F \quad [\text{EC. IV. 12}]$$

Donde

RT: valor de resistencia total en [].

R: valor de resistencia de una barra en [].

N: número de barras.

F: factor de multiplicación.

Aplicando la ecuación [EC. IV. 12], se obtiene los siguientes resultados, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Entonces para que la resistencia de tierra esté por debajo de los 25 se pueden usar 3 barras enterradas.

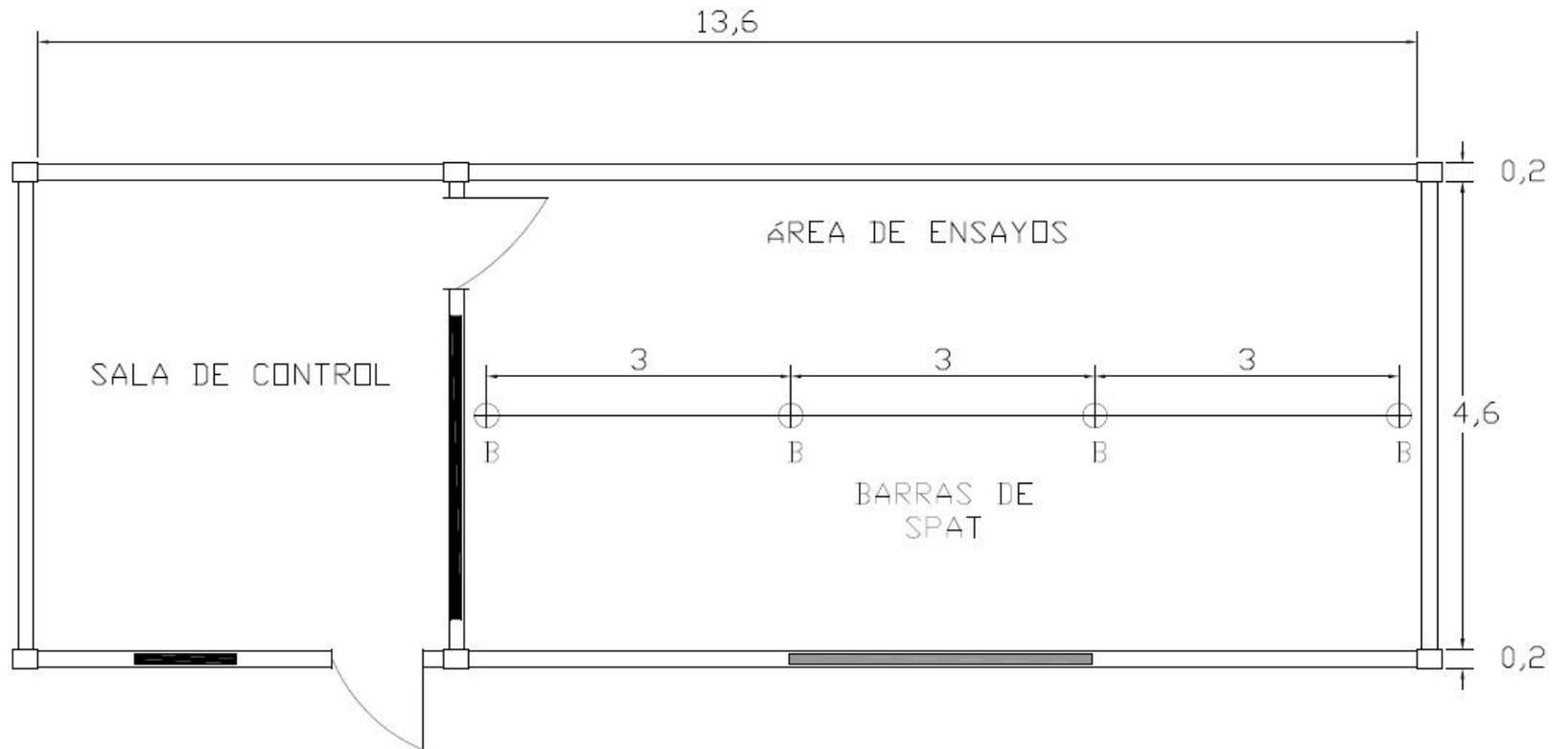
Tabla N° III.12. Valores calculados para dos barras o más en el sistema.

N° barras	F	R ()
2	1,16	36,19
3	1,29	26,83
4	1,36	21,21

Tomando en cuenta también el artículo “250.56 Resistencia de Electrodo de Tubos, Barras y Placas” (CEN 2009) [10]. “Cuando se utilicen varios electrodos de tipo barra, tubo o placa para cumplir los requisitos de este artículo, su separación entre sí será no menor de 1,8 m (6 pies)”, por lo antes expuesto y para realizar la conexión a tierra de los equipos de prueba, y los interruptores que se van a probar de la manera más eficiente, se propone distribuir las barras formando una línea recta con separación de 3 m tal como se indica en la figura N° IV.2.

El conductor de unión de los elementos de puesta a tierra, se elige, tomando como referencia lo indicado en la tabla “250.66 Conductor Del Electrodo De Puesta A Tierra Para Sistemas De Corriente Alterna” (CEN 2009) [10]. Que en el caso en estudio es un conductor de cobre calibre 6 AWG, la unión entre el conductor de unión de los elementos de puesta a tierra y los electrodos se hará utilizando soldadura exotérmica.

Figura N° III.6. Disposición de las barras para el SPAT. Medidas expresadas en metros (m)



CONCLUSIONES

La propuesta del diseño para el laboratorio de pruebas a interruptores de potencia, fue presentada de la manera más eficiente posible, concentrándose principalmente en el aspecto de la seguridad, la facilidad y la eficiencia a la hora de realizar las pruebas.

Los ensayos que se ejecutaran a interruptores de potencia hasta 34,5 kV; 1250 A en el laboratorio, son capaces de certificar el correcto estado de los mismo, la selección de dichos ensayos resultaron del estudio de las distintas normas nacionales e internacionales, de la consulta al personal de VEPCA y de sus necesidades, pero siempre garantizando que las mencionadas pruebas determinen fielmente el estado de los interruptores.

Con la implementación del laboratorio se minimizaran los tiempos de ejecución de las pruebas y se garantiza la seguridad del personal.

Siguiendo los criterios establecidos en el código eléctrico nacional, se realizó el cálculo de las la canalizaciones eléctricas y la acometida que alimentará toda la planta. También se diseñó un sistema de puesta a tierra para el laboratorio, lo que disminuirá las condiciones de riesgo para el personal y los equipos en caso de presentarse alguna condición de falla.

Asimismo se diseñó un sistema de iluminación en el cual se procuró la calidad de la iluminación, tratando siempre de mantener la adecuada selección de equipos, los niveles de iluminación apropiados según la referencia y los factores de uniformidad dentro de los límites establecidos.

RECOMENDACIONES

A continuación se presentan algunas recomendaciones a considerar:

- Se recomienda mejorar la herramienta computarizada para el almacenamiento de los resultados de las pruebas.
- Se recomienda la adquisición de una fuente de tensión variable o un sistema que pueda suministrar (0-130 V DC; 35 A). Para realizar la prueba de operación mecánica a los interruptores, actualmente se hace como prueba especial y se utilizan baterías de plomo ácido (12V; 7 A/h), haciendo un arreglo para conseguir la tensión necesaria. Se propone el siguiente equipo: marca METEK, modelo SORENSEN serie SG, ID-SGI100/501CABAJ.
- Se recomienda la adquisición de un equipo para probar baterías de plomo ácido de que son utilizadas en los interruptores como fuente de respaldo. Se propone el siguiente equipo: marca AITELONG, modelo SAT-AR01.
- Se recomienda la adquisición de una tarjeta de pruebas para el equipo de inyección de corriente modelo OMICRON CPC100. Con la cual se podrá hacer el ensayo inyección de corriente con una entrada rampa, lo que garantiza una mejor precisión en el resultado de la prueba, actualmente se hace con una entrada tipo escalón con incrementos discretos y solo es posible hacer 7 pasos.
- Se recomienda hacer las uniones para el sistema de puesta a tierra mediante el uso de soldadura exotérmica.
- Se recomienda dejar tomas con fácil acceso al sistema de puesta a tierra.
- Se recomienda la medición del sistema de puesta a tierra después de instalado.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] “Manual de operación y mantenimiento Horizon” Hawker Siddeley Switchgear Ltd. 2010.

[2] Aranda M., Alberto J. Llatas S., Vicente. *La interrupción eléctrica en disyuntores de potencia y sus métodos de ensayo*. Tesis de grado no publicada. -- Caracas: Universidad Central de Venezuela. 1964.

[3] “Curso básico de protecciones en sistemas de distribución aéreos” – Venezolana de Equipos de Potenciación. 2009.

[4] “Propiedades y uso del SF₆ en interruptores de alta y media tensión” Schneider Electric. 2003.

[5] Norma ANSI / IEEE Standard C37.06-2000. IEEE Standard AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis-Preferred Ratings and Related Required Capabilities. 2000-05.

[6] Norma IEC 60094. Common specifications for high-voltage switchgear and controlgear standards. *International Electrotechnical Commission*. Mayo 2001.

[7] Norma IEC 62271-100. High-voltage switchgear and controlgear. *International Electrotechnical Commission*. 2003-05.

[8] Norma ANSI / IEEE Standard C37.09-1999. IEEE Standard Test Procedure for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis. Institute of electrical and electronics engineers. 1999-06.

- [9] NS-E-129 Especificaciones técnicas para las pruebas en fábrica de disyuntores. Compañía Anónima de Administración y Fomento Eléctrico. 1984
- [10] Norma Venezolana. FONDONORMA 200:2009. Código Eléctrico Nacional. Caracas. Convenio de elaboración de normas FONDONORMA - CODELECTRA. 2009.
- [11] Norma venezolana. COVENIN 2249-93. *Iluminancias en tareas y áreas de trabajo*. -- Caracas. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Ministerio de Fomento. 1993.
- [12] García F Javier, Boix A. Oriol. *Luminotecnica. Iluminación de interiores y exteriores*. Proyecto de fin de carrera. -- Barcelona. Universidad Politécnica de Cataluña. 2004.
- [13] “Lighting systems, product selection guide”. GE Lighting Systems Inc. -- EE.UU. 2005.
- [14] Ojeda, Nerio. Sistema de puesta a tierra. Curso de extensión de conocimientos -- Caracas. Facultad de ingeniería. Universidad Central de Venezuela. 2010.
- [15] “Manual de sistemas de Puesta a tierra” – Gedisa. 2010.
- [16] Norma ANSI / IEEE Standard 81-1983. IEEE Guide for measuring earth resistivity, ground impedance, and earth surface potentials of ground system. 1983.
- [17] Pennisi, Oswaldo. *Canalizaciones eléctricas residenciales*. 10ma edición. Caracas Editorial Melvin.2006.

[18] Manual de iluminación. *IES Lighting Handbook*. -- New York. Illuminating Engineering Society. 1981.

[19] Norma ANSI / IEEE Standard 142-2007. IEEE Recommended practice for grounding of industrial and commercial power systems. Institute of electrical and electronics engineers. 2007.

[20] “Philips Lighting” *Capítulo de Lámparas Fluorescentes Tubulares*. -- México. 2010.

[ANEXO N°1]
[Iluminancias en tareas y áreas de trabajo]

TABLA 1C Areas o Actividad en la Industria (Interior)

AREA O ACTIVIDAD	ILUMINANCIA (LUX)			TIPO DE ILUMINANCIA
	A	B	C	
Paneles de control auxiliares	200	300	500	L (2)
Puestos de operador	500	750	1.000	L (2)
Areas de alambrado y mantenimiento	200	300	500	L
Iluminación de operación de emergencia	100	150	200	G
Lectura e instrumentos	200	300	500	L
Sala de válvulas de hidrógeno y dióxido de carbono	100	150	200	G
Laboratorio	500	750	1.000	L
Precipitadores	50	75	100	G
Cuarto de filtros	100	150	200	G
Plataformas de escorias y hollin	100	150	200	G
Cabezales y válvulas reguladoras de vapor	50	75	100	G
Equipos de maniobras y centros de control de motores	200	300	500	L
Salas de equipos telefónicos y de comunicaciones	200	300	500	L

Iluminancias en tareas y áreas de trabajo, extraído de COVENIN 2249-93 [11]

[ANEXO N°2]
[Especificaciones técnicas de las lámparas usadas en el diseño del laboratorio]

Lámpara	Potencia	Lúmenes iniciales	Lúmenes medios	CRI	Temp. de color	Vida Prom. 12 h
MASTER TL 5 HE	28 w	2600	2400	85	4000 K	35.000

Especificaciones técnicas de la lámpara a emplear área de control, Extraído de Philips Lightin [20]

Lámpara	Potencia	Lúmenes iniciales	Lúmenes medios	CRI	Temp. de color	Vida Prom. 12 h
HPI400BUS PLUS/E40	250 W	32500	30000	69	4300 K	20.000

Especificaciones técnicas de la lámpara a emplear área de ensayo, Extraído de Philips Lightin [20]

[ANEXO N°3]
[Poder reflectante de algunos colores y materiales]

	Color	Factor de reflexión (ρ)
Techo	Blanco o muy claro	0.7
	claro	0.5
	medio	0.3
Paredes	claro	0.5
	medio	0.3
	oscuro	0.1
Suelo	claro	0.3
	oscuro	0.1

Poder reflectante de algunos colores y materiales. Extraído de Iluminación de interiores y exteriores [12]

[ANEXO N°4]

[Factores de depreciación por suciedad del cuarto]

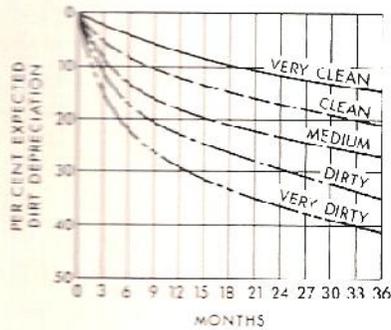


Fig. 9-5. Room Surface Dirt Depreciation Factors

Per Cent Expected Dirt Depreciation	Luminaire Distribution Type																			
	Direct				Semi-Direct				Direct-Indirect				Semi-Indirect				Indirect			
	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40
Room Cavity Ratio																				
1	.98	.96	.94	.92	.97	.92	.89	.84	.94	.87	.80	.76	.94	.87	.80	.73	.90	.80	.70	.60
2	.98	.96	.94	.92	.96	.92	.88	.83	.94	.87	.80	.75	.94	.87	.79	.72	.90	.80	.69	.59
3	.98	.95	.93	.90	.96	.91	.87	.82	.94	.86	.79	.74	.94	.86	.78	.71	.90	.79	.68	.58
4	.97	.95	.92	.90	.95	.90	.85	.80	.94	.86	.79	.73	.94	.86	.78	.70	.89	.78	.67	.56
5	.97	.94	.91	.89	.94	.90	.84	.79	.93	.86	.78	.72	.93	.86	.77	.69	.89	.78	.66	.55
6	.97	.94	.91	.88	.94	.89	.83	.78	.93	.85	.78	.71	.93	.85	.76	.68	.89	.77	.66	.54
7	.97	.94	.90	.87	.93	.88	.82	.77	.93	.84	.77	.70	.93	.84	.76	.68	.89	.76	.65	.53
8	.96	.93	.89	.86	.93	.87	.81	.75	.93	.84	.76	.69	.93	.84	.76	.68	.88	.76	.64	.52
9	.96	.92	.88	.85	.93	.87	.80	.74	.93	.84	.76	.68	.93	.84	.75	.67	.88	.75	.63	.51
10	.96	.92	.87	.83	.93	.86	.79	.72	.93	.84	.75	.67	.92	.83	.75	.67	.88	.75	.62	.50

[ANEXO N°5]

[Porcentaje efectivo para la cavidad de suelo o techo para distintas combinaciones de reflectancias]

Fig. 9-11. Per Cent Effective Ceiling or Floor Cavity Reflectances for Various Reflectance Combinations

Per Cent Base* Reflectance	90										80										70										60										50									
Per Cent Wall Reflectance	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Cavity Ratio																																																		
0.2	89	88	88	87	86	85	85	84	84	82	79	78	78	77	77	76	76	75	74	72	70	69	68	68	67	67	66	66	65	64	60	59	59	58	57	56	56	55	55	53	50	50	49	49	48	48	47	46	46	44
0.4	88	87	86	85	84	83	81	80	79	76	79	77	76	75	74	73	72	71	70	68	69	68	67	66	65	64	63	62	61	58	60	59	58	57	55	54	53	52	50	50	50	49	48	48	47	46	45	45	44	42
0.6	87	86	84	82	80	79	77	76	74	73	78	76	75	73	71	70	68	66	65	63	69	67	65	64	63	61	59	58	57	54	60	58	57	56	55	53	51	51	50	46	50	48	47	46	45	44	43	42	41	38
0.8	87	85	82	80	77	75	73	71	69	67	78	75	73	71	69	67	65	63	61	57	68	66	64	62	60	58	56	55	53	50	59	57	56	55	54	51	48	47	46	43	50	48	47	45	44	42	40	39	38	36
1.0	86	83	80	77	75	72	69	66	64	62	77	74	72	69	67	65	62	60	57	55	68	65	62	60	58	55	53	52	50	47	59	57	55	53	51	48	45	44	43	41	50	48	46	44	43	41	38	37	36	34
1.2	85	82	78	75	72	69	66	63	60	57	76	73	70	67	64	61	58	55	53	51	67	64	61	59	57	54	50	48	46	44	59	56	54	51	49	46	44	42	40	38	50	47	45	43	41	39	36	35	34	29
1.4	85	80	77	73	69	65	62	59	57	52	76	72	68	65	62	59	55	53	50	48	67	63	60	58	55	51	47	45	44	41	59	56	53	49	47	44	41	39	38	36	50	47	45	42	40	38	35	34	32	27
1.6	84	79	75	71	67	63	59	56	53	50	75	71	67	63	60	57	53	50	47	44	67	62	59	56	53	47	45	43	41	38	59	55	52	48	45	42	39	37	35	33	50	47	44	41	39	36	33	32	30	26
1.8	83	78	73	69	64	60	56	53	50	48	75	70	66	62	58	54	50	47	44	41	66	61	58	54	51	46	42	40	38	35	58	55	51	47	44	40	37	35	33	31	50	46	43	40	38	35	31	30	28	25
2.0	83	77	72	67	62	56	53	50	47	43	74	69	64	60	56	52	48	45	41	38	66	60	56	52	49	45	40	38	36	33	58	54	50	46	43	39	35	33	31	29	50	46	43	40	37	34	30	28	26	24
2.2	82	76	70	65	59	54	50	47	44	40	74	68	63	58	54	49	45	42	38	35	66	60	55	51	48	43	38	36	34	32	58	53	49	45	42	37	34	31	29	28	50	46	42	38	36	33	29	27	24	22
2.4	82	75	69	64	58	53	48	45	41	37	73	67	61	56	52	47	43	40	36	33	65	60	54	50	46	41	37	35	32	30	58	53	48	44	41	36	32	30	27	26	50	46	42	37	35	31	27	25	23	21
2.6	81	74	67	62	56	51	46	42	38	35	73	66	60	55	50	45	41	38	34	31	65	59	54	49	45	40	35	33	30	28	58	53	48	43	39	35	31	28	26	24	50	46	41	37	34	30	26	23	21	20
2.8	81	73	66	60	54	49	44	40	36	34	73	65	59	53	48	43	39	36	32	29	65	59	53	48	43	38	33	30	28	26	58	53	47	43	38	34	29	27	24	22	50	46	41	36	33	29	25	22	20	19
3.0	80	72	64	58	52	47	42	38	34	30	72	65	58	52	47	42	37	34	30	27	64	58	52	47	42	37	32	29	27	24	57	52	46	42	37	32	28	25	23	20	50	45	40	36	32	28	24	21	19	17
3.2	79	71	63	56	50	45	40	36	32	28	72	65	57	51	45	40	35	33	28	25	64	58	51	46	40	36	31	28	25	23	57	51	45	41	36	31	27	23	22	18	50	44	39	35	31	27	23	20	18	16
3.4	79	70	62	54	48	43	38	34	30	27	71	64	56	49	44	39	34	32	27	24	64	57	50	45	39	35	29	27	24	22	57	51	45	40	35	30	26	23	20	17	50	44	39	35	30	26	22	19	17	15
3.6	78	69	61	53	47	42	36	32	28	25	71	63	54	48	43	38	32	30	25	23	63	56	49	44	38	33	28	25	22	20	57	50	44	39	34	29	25	22	19	16	50	44	39	34	29	25	21	18	16	14
3.8	78	69	60	51	45	40	35	31	27	23	70	62	53	47	41	36	31	28	24	22	63	56	49	43	37	32	27	24	21	19	57	50	43	38	33	29	24	21	19	15	50	44	38	34	29	25	21	17	15	13
4.0	77	69	58	51	44	39	33	29	25	22	70	61	53	46	40	35	30	26	22	20	63	55	48	42	36	31	26	23	20	17	57	49	42	37	32	28	23	20	18	14	50	44	38	33	28	24	20	17	15	12
4.2	77	62	57	50	43	37	32	28	24	21	69	60	52	45	39	34	29	25	21	18	62	55	47	41	35	30	25	22	19	16	56	49	42	37	32	27	22	19	17	14	50	43	37	32	28	24	20	17	14	12
4.4	76	61	56	49	42	36	31	27	23	20	69	60	51	44	38	33	28	24	20	17	62	54	46	40	34	29	24	21	18	15	56	49	42	36	31	27	22	19	16	13	50	43	37	32	27	23	19	16	13	11
4.6	76	60	55	47	40	35	30	26	22	19	69	59	50	43	37	32	27	23	19	15	62	53	45	39	33	28	24	21	17	14	56	49	41	35	30	26	21	18	16	13	50	43	36	31	26	22	18	15	13	10
4.8	75	59	54	46	39	34	28	25	21	18	68	58	49	42	36	31	26	22	18	14	62	53	45	38	32	27	23	20	16	13	56	48	41	34	29	25	21	18	15	12	50	43	36	31	26	22	18	15	12	09
5.0	75	59	53	45	38	33	28	24	20	16	68	58	48	41	35	30	25	21	18	14	61	52	44	36	31	26	22	19	16	12	56	48	40	34	28	24	20	17	14	11	50	42	35	30	25	21	17	14	12	09
6.0	73	61	49	41	34	29	24	20	16	11	66	55	44	38	31	27	22	19	15	10	60	51	41	35	28	24	19	16	13	09	55	45	37	31	25	21	17	14	11	07	50	42	34	29	23	19	15	13	10	06
7.0	70	58	45	38	30	27	21	18	14	08	64	53	41	35	28	24	19	16	12	07	58	48	38	32	26	22	17	14	11	06	54	43	35	30	24	20	15	12	09	05	49	41	32	27	21	18	14	11	08	05
8.0	68	55	42	35	27	23	18	15	12	06	62	50	38	32	25	21	17	14	11	05	57	46	35	29	23	19	15	13	10	05	53	42	33	28	22	18	14	11	08	04	48	39	29	24	18	15	11	09	07	03
9.0	66	52	38	31	25	21	16	14	11	05	61	49	36	30	23	19	15	13	10	04	56	45	33	27	21	18	14	12	09	04	52	40	31	26	20	16	12	10	07	03	48	39	29	24	18	15	11	09	07	03
10.0	65	51	36	29	22	19	15	11	09	04	59	46	33	27	21	18	14	11	08	03	55	43	31	25	19	16	12	10	08	03	51	39	29	24	18	15	11	09	07	02	47	37	27	22	17	14	10	08	05	02

* Ceiling, floor, or floor of cavity.

Fig. 9-11. Continued

Par Cent Base* Reflectance	40										30										20										10										0									
Per Cent Wall Reflectance	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Cavity Ratio																																																		
0.2	40	40	39	36	33	35	38	37	36	36	31	31	30	30	29	29	29	28	28	27	21	20	20	20	20	20	19	19	19	17	11	11	11	10	10	10	10	00	09	09	02	02	02	01	01	01	01	00	00	00
0.4	41	40	39	38	37	36	34	33	34	34	31	31	30	30	29	28	28	27	26	25	22	21	20	20	20	19	19	18	18	16	12	11	11	11	11	10	10	00	09	08	04	03	03	02	02	02	01	01	01	00
0.6	41	40	39	38	37	36	34	33	32	31	32	31	30	29	28	27	26	26	25	23	23	21	21	20	19	19	18	18	17	15	13	13	13	11	11	10	10	00	08	08	05	05	04	03	03	02	02	01	01	01
0.8	41	40	38	37	35	35	33	32	31	29	32	31	30	29	28	26	25	25	23	22	24	22	21	20	19	19	18	17	16	14	15	14	13	12	11	10	10	00	08	07	07	06	05	04	04	03	02	02	01	01
1.0	42	40	38	37	35	33	32	31	29	27	33	32	30	29	27	25	24	23	22	20	25	23	22	20	19	18	17	16	15	13	16	14	13	12	12	11	10	00	08	07	08	07	06	05	04	03	02	02	01	01
1.2	42	40	38	36	34	32	30	29	27	25	33	32	30	28	27	25	23	22	21	19	25	23	22	20	19	17	17	16	14	12	17	15	14	13	12	11	10	00	07	06	10	08	07	06	05	04	03	02	01	01
1.4	42	39	37	35	33	31	29	27	26	23	34	32	30	28	26	24	22	21	19	18	26	24	22	20	18	17	16	15	13	12	18	16	14	13	12	11	10	00	07	06	11	09	08	07	06	04	03	02	01	01
1.6	42	39	37	35	32	30	27	25	23	22	34	33	29	27	25	23	22	20	18	17	26	24	22	20	18	17	16	15	13	11	19	17	15	14	12	11	09	08	07	06	12	10	09	07	06	05	03	02	01	01
1.8	42	39	36	34	31	29	26	24	22	21	35	33	29	27	25	23	21	19	17	16	27	25	23	20	18	17	15	14	12	10	19	17	15	14	13	11	09	08	06	05	13	11	09	08	07	05	04	03	01	01
2.0	42	39	36	34	31	28	25	23	21	19	35	33	29	26	24	22	20	18	16	14	28	25	23	20	18	16	15	13	11	09	20	18	16	14	13	11	09	08	06	05	14	12	10	09	07	05	04	03	01	01
2.2	42	39	35	33	30	27	24	22	19	18	35	32	29	26	24	22	19	17	15	13	28	25	23	20	18	16	14	12	10	09	21	19	16	14	13	11	09	07	06	05	15	13	11	09	07	06	04	03	01	01
2.4	43	39	35	33	29	27	24	21	18	17	35	32	29	26	24	22	19	16	14	12	29	26	23	20	18	16	14	12	10	08	22	19	17	15	13	11	09	07	06	05	16	13	11	09	08	06	04	03	01	01
2.6	43	39	35	32	29	26	23	20	17	15	35	32	29	25	23	21	18	16	14	12	29	26	23	20	18	16	14	11	09	08	23	20	17	15	13	11	09	07	06	04	17	14	12	10	08	06	05	03	02	01
2.8	43	39	35	32	28	25	22	19	16	14	37	33	29	25	23	21	17	15	13	11	30	27	23	20	18	15	13	11	09	07	23	20	18	16	13	11	09	07	05	03	17	15	13	10	08	07	05	03	02	01
3.0	43	39	35	31	27	24	21	18	16	13	37	33	29	25	22	20	17	15	12	10	30	27	23	20	17	15	13	11	09	07	24	21	18	16	13	11	09	07	05	03	18	16	13	11	09	07	05	03	02	01
3.2	43	39	35	31	27	23	20	17	15	13	37	33	29	25	22	19	16	14	12	10	31	27	23	20	17	15	12	11	09	06	25	21	18	16	13	11	09	07	05	03	19	16	14	11	09	07	05	03	02	01
3.4	43	39	34	30	26	23	20	17	14	12	37	33	29	25	22	19	16	14	11	09	31	27	23	20	17	15	12	10	08	06	25	22	18	16	13	11	09	07	05	03	20	17	14	12	09	07	05	03	02	01
3.6	44	39	34	30	26	22	19	16	14	11	38	33	29	24	21	18	15	13	10	09	32	27	23	20	17	15	12	10	08	05	26	22	19	16	13	11	09	06	04	03	20	17	15	12	10	08	05	04	02	01
3.8	44	38	33	29	25	22	18	16	13	10	38	33	28	24	21	18	15	13	10	08	32	28	23	20	17	15	12	10	07	05	27	23	19	17	14	11	09	06	04	02	21	18	15	12	10	08	05	04	02	01
4.0	44	38	33	29	25	21	18	15	12	10	38	33	28	24	21	18	14	12	09	07	33	28	23	20	17	14	11	09	07	05	27	23	20	17	14	11	09	06	04	02	22	18	15	13	10	08	05	04	02	01
4.2	44	38	33	29	24	21	17	15	12	10	38	33	28	24	20	17	14	12	09	07	33	28	23	20	17	14	11	09	07	04	28	24	20	17	14	11	09	06	04	02	22	19	16	13	10	08	06	04	02	01
4.4	44	38	33	28	24	20	17	14	11	09	39	33	28	24	20	17	14	11	09	06	34	28	24	20	17	14	11	09	07	04	28	24	20	17	14	11	08	06	04	02	23	19	16	13	10	08	06	04	02	01
4.6	44	38	32	28	23	19	16	14	11	08	39	33	28	24	20	17	13	10	08	06	34	29	24	20	17	14	11	09	07	04	29	25	20	17	14	11	08	06	04	02	23	20	17	13	11	08	06	04	02	01
4.8	44	38	32	27	22	19	16	13	10	08	39	33	28	24	20	17	13	10	08	05	35	29	24	20	17	13	10	08	06	04	29	25	20	17	14	11	08	06	04	02	24	20	17	14	11	08	06	04	02	01
5.0	45	38	31	27	22	19	15	13	10	07	39	33	28	24	19	16	13	10	08	05	35	29	24	20	16	13	10	08	06	04	30	25	20	17	14	11	08	06	04	02	25	21	17	14	11	08	06	04	02	01
5.0	44	37	30	25	20	17	13	11	08	05	39	33	27	23	18	15	11	09	06	04	36	30	24	20	16	13	10	08	05	02	31	26	21	18	14	11	08	06	03	01	27	23	18	15	12	09	06	04	02	01
7.0	44	36	29	24	19	16	12	10	07	04	40	33	26	22	17	14	10	08	05	03	36	30	24	20	15	12	09	07	04	02	32	27	21	17	13	11	08	06	03	01	28	24	19	15	12	09	06	04	02	01
8.0	44	35	28	23	18	15	11	09	06	03	40	33	26	21	16	13	09	07	04	02	37	30	23	19	15	12	08	06	03	01	33	27	21	17	13	10	07	05	03	01	30	25	20	15	12	09	06	04	02	01
9.0	44	35	26	21	16	13	10	08	05	02	40	33	25	20	15	12	09	07	04	02	37	29	23	19	14	11	08	06	03	01	34	28	21	17	13	10	07	05	02	01	31	25	20	15	12	09	06	04	02	01
10.0	43	34	25	20	15	12	08	07	05	02	40	32	24	19	14	11	08	05	03	01	37	29	22	18	13	10	07	05	03	01	34	28	21	17	12	10	07	05	02	01	31	25	20	15	12	09	06	04	02	01

* Ceiling, floor, or floor of cavity.

[ANEXO N°6]
[Informe simulación iluminación del laboratorio Obralux]

LAB. SALA CONTROL

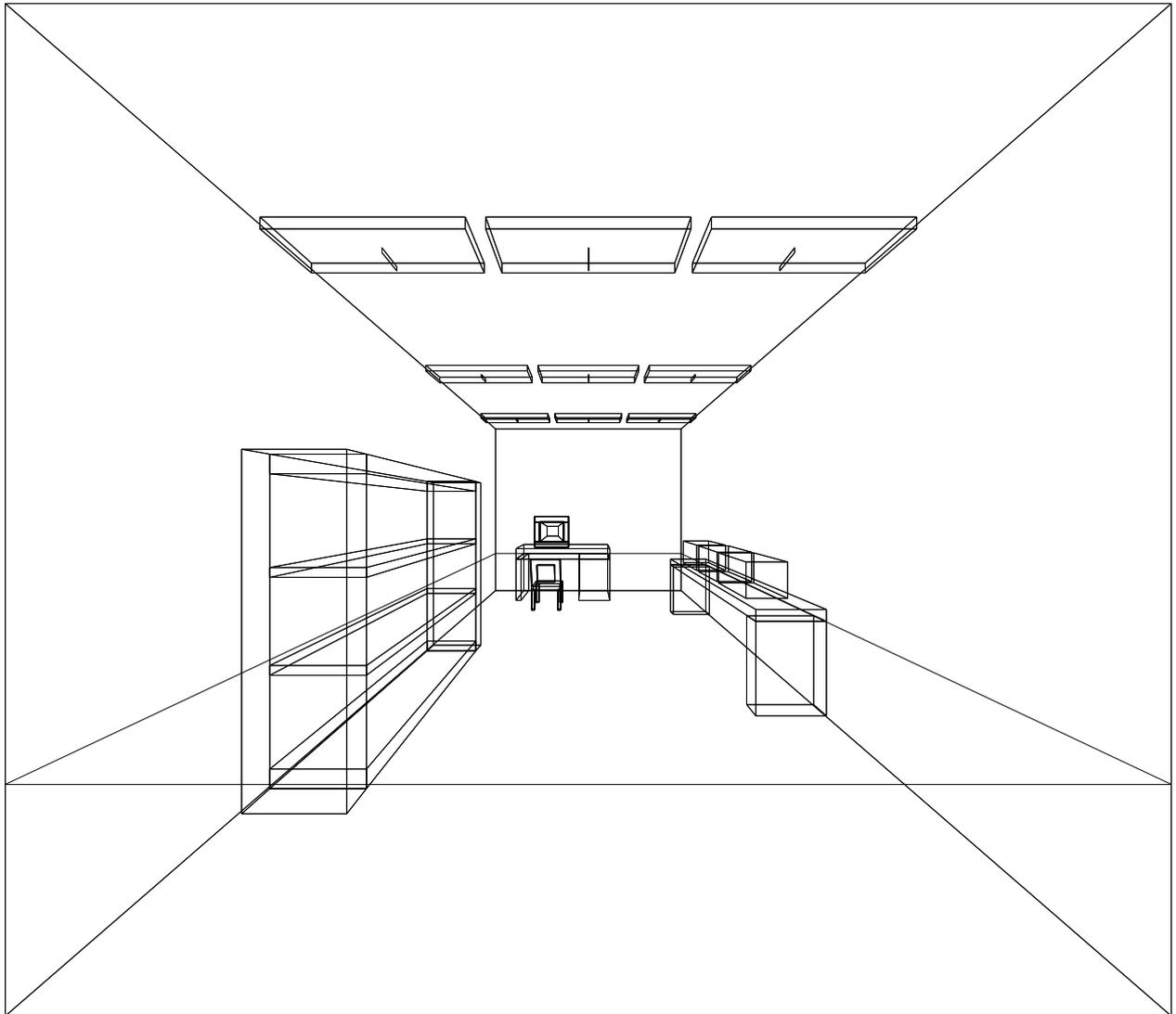
Notas Instalación :

Cliente:

Código Proyecto:

Fecha: 22/06/2012

Notas:



Nombre Proyectista:

Dirección:

Tel.-Fax:

ABELARDO VILA

Ctra.Petare-Sta. Lucía Km.3 Caracas Vzla

Tel.:+58/212/5320595 Fax:+58/212/5323003

Observaciones:

1.1 Información sobre Area/Local

Superficie	Dimensiones [m]	Ángulo[°]	Color	Coefficiente Reflexión	Ilum.Media [lux]	Luminancia Media [cd/m²]
Techo	4.60x4.00	Plano	RGB=255,255,255	70%	373	83.10
Pared 4	3.50x4.60	-90°	RGB=244,164,96	50%	809	128.75
Pared 3	3.50x4.00	-180°	RGB=244,164,96	50%	645	102.60
Pared 2	3.50x4.60	90°	RGB=244,164,96	50%	809	128.75
Pared 1	3.50x4.00	0°	RGB=244,164,96	50%	645	102.60
Suelo	4.00x4.60	Plano	RGB=126,126,126	30%	989	94.40

Dimensiones Paralelepípedo que incluye el Area/Local [m]: 4.00x4.60x3.50
 Rejilla Puntos de Medida del Paralelepípedo [m]: dirección X 0.33 - Y 0.38 - Z 0.29
 Potencia Específica del Plano de Trabajo [W/m2] 41.087
 Potencia Espec. de Iluminación del Pl. de Trab. [W/(m2 * 100lux)] 3.456
 Potencia Total [kW]: 0.756

1.2 Parámetros de Calidad de la Instalación

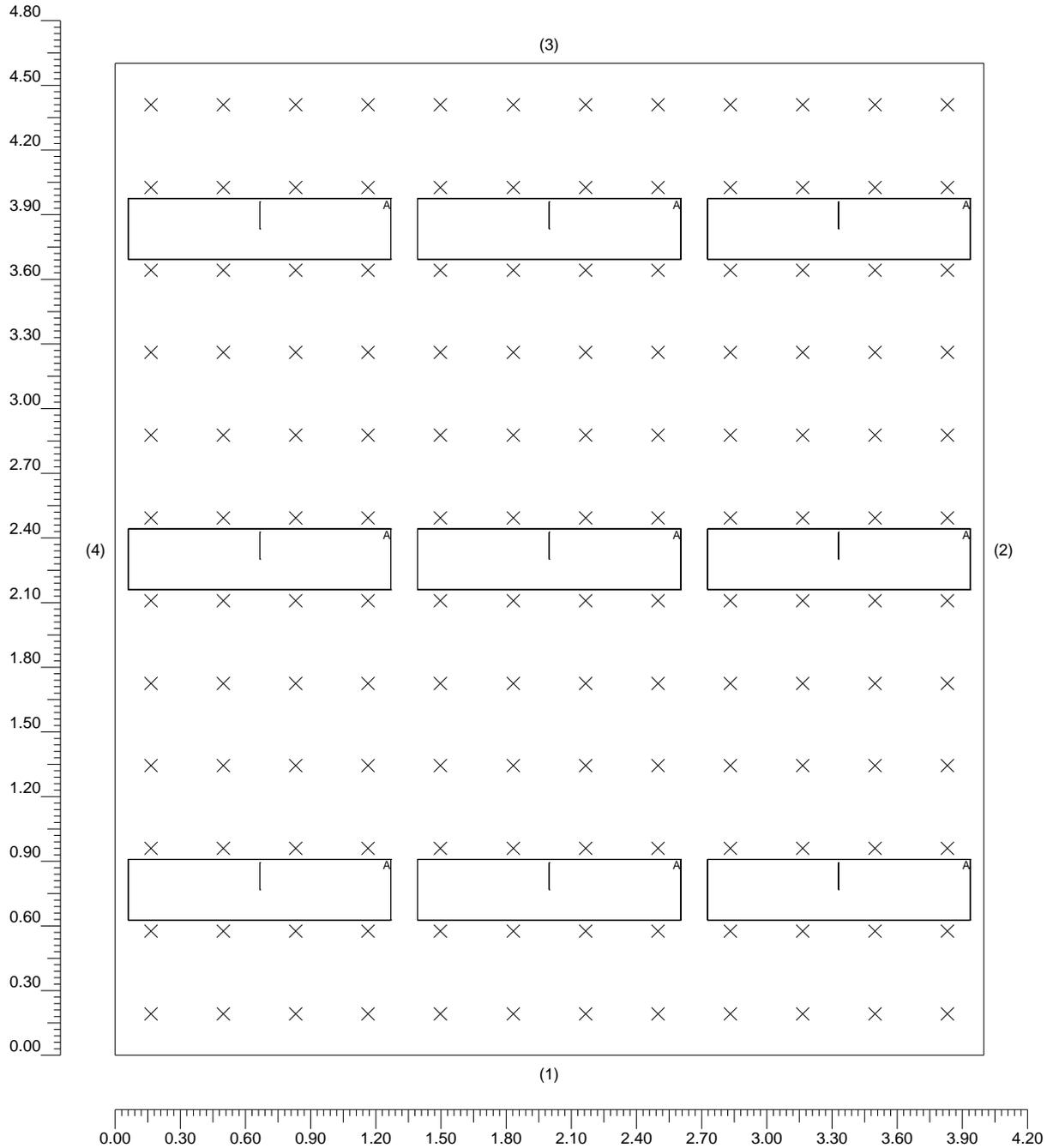
Superficie	Resultados	Medio	Mínimo	Máximo	Mín/Medio	Mín/Máx	Medio/Máx
Plano de Trabajo (h=0.80 m)	Iluminancia Horizontal (E)	1189 lux	783 lux	1519 lux	0.66	0.52	0.78
Suelo	Iluminancia Horizontal (E)	989 lux	717 lux	1216 lux	0.73	0.59	0.81

Tipo Cálculo

Dir.+Indir.(7 Interreflexiones)

2.1 Vista 2D Plano Trabajo y Rejilla de Cálculo

Escala 1/30



3.1 Información Luminarias/Ensayos

Ref.	Línea	Nombre Luminaria (Nombre Ensayo)	Código Luminaria (Código Ensayo)	Luminarias N.	Ref.Lamp.	Lámparas N.
A	Obralux IN	LF-38 STYLUX EMBUT 3X28W T5 (LF-38 STYLUX 3X14W T5 LF)	103803 (STYLUX 3X14)	9	LMP-A	3

3.2 Información Lámparas

Ref.Lamp.	Tipo	Código	Flujo [lm]	Potencia [W]	Color [°K]	N.
LMP-A	FD	TL5 HE sup80 28W/840	2600	28	4000	27

3.3 Tabla Resumen Luminarias

Ref.	Lum.	On	Posición Luminarias X[m] Y[m] Z[m]	Rotación Luminarias X[°] Y[°] Z[°]	Código Luminaria	Factor Cons.	Código Lámpara	Flujo [lm]
A	1	X	0.67;0.77;3.46	0.0;0.0;0.0	103803	0.90	TL5 HE sup80 28W/840	3*2600
	2	X	0.67;2.30;3.46	0.0;0.0;0.0		0.90		
	3	X	0.67;3.83;3.46	0.0;0.0;0.0		0.90		
	4	X	2.00;0.77;3.46	0.0;0.0;0.0		0.90		
	5	X	2.00;2.30;3.46	0.0;0.0;0.0		0.90		
	6	X	2.00;3.83;3.46	0.0;0.0;0.0		0.90		
	7	X	3.33;0.77;3.46	0.0;0.0;0.0		0.90		
	8	X	3.33;2.30;3.46	0.0;0.0;0.0		0.90		
	9	X	3.33;3.83;3.46	0.0;0.0;0.0		0.90		

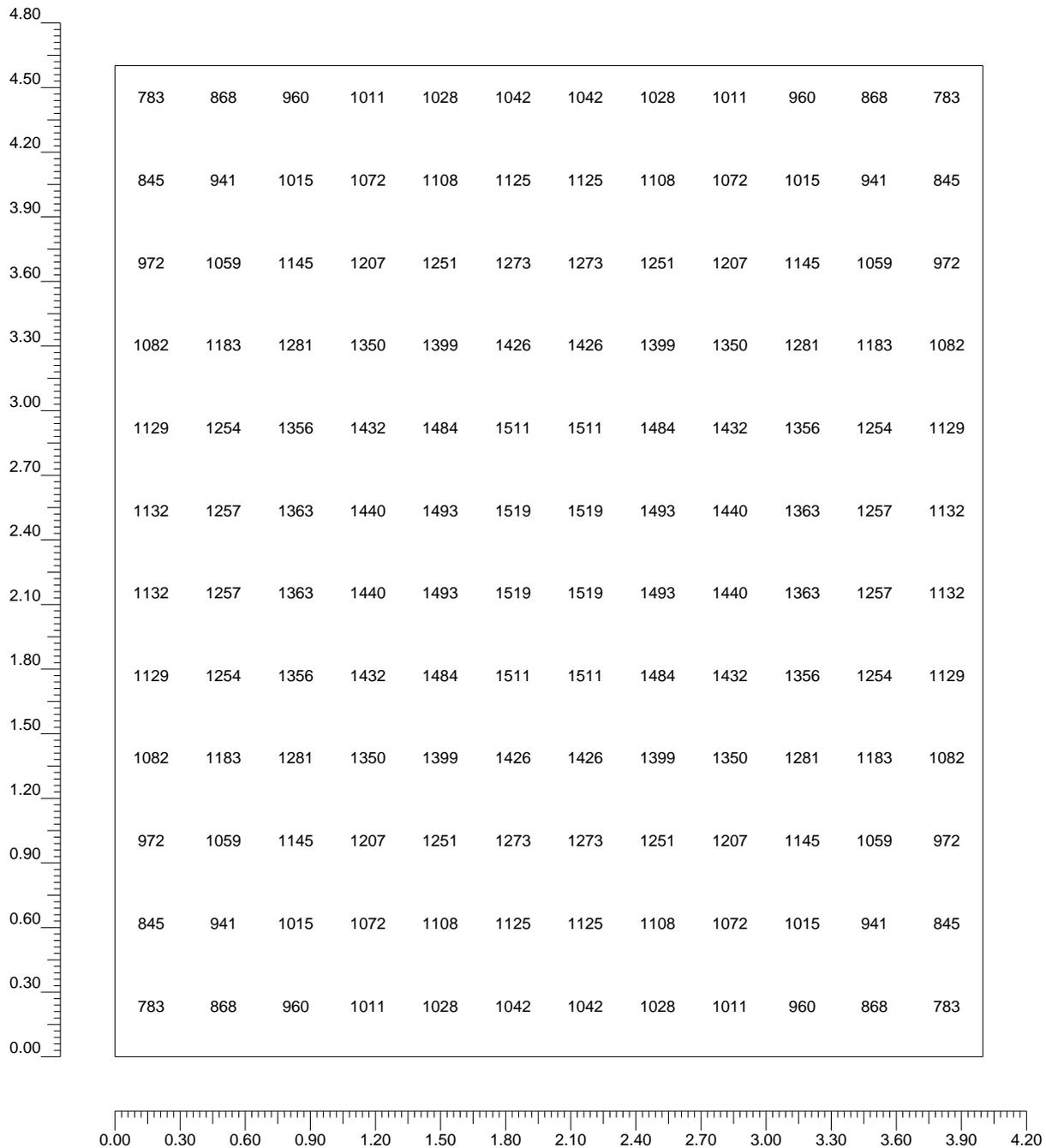
4.1 Valores de Iluminancia Horizontal sobre Plano de Trabajo

O (x:0.00 y:0.00 z:0.80)	Resultados	Medio	Mínimo	Máximo	Mín/Medio	Mín/Máx	Medio/Máx
DX:0.33 DY:0.38	Iluminancia Horizontal (E)	1189 lux	783 lux	1519 lux	0.66	0.52	0.78

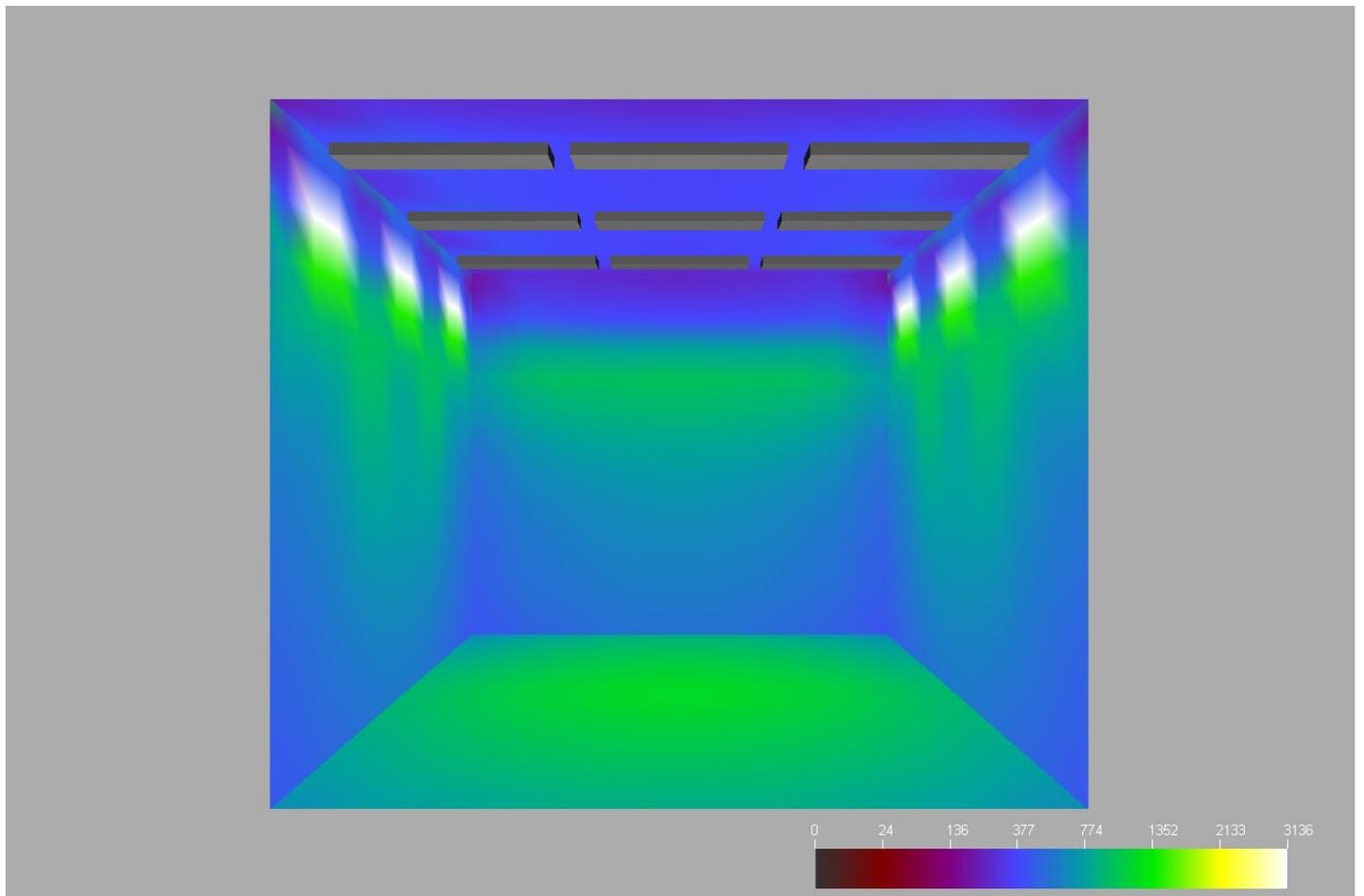
Tipo Cálculo

Dir.+Iindir.(7 Interreflexiones)

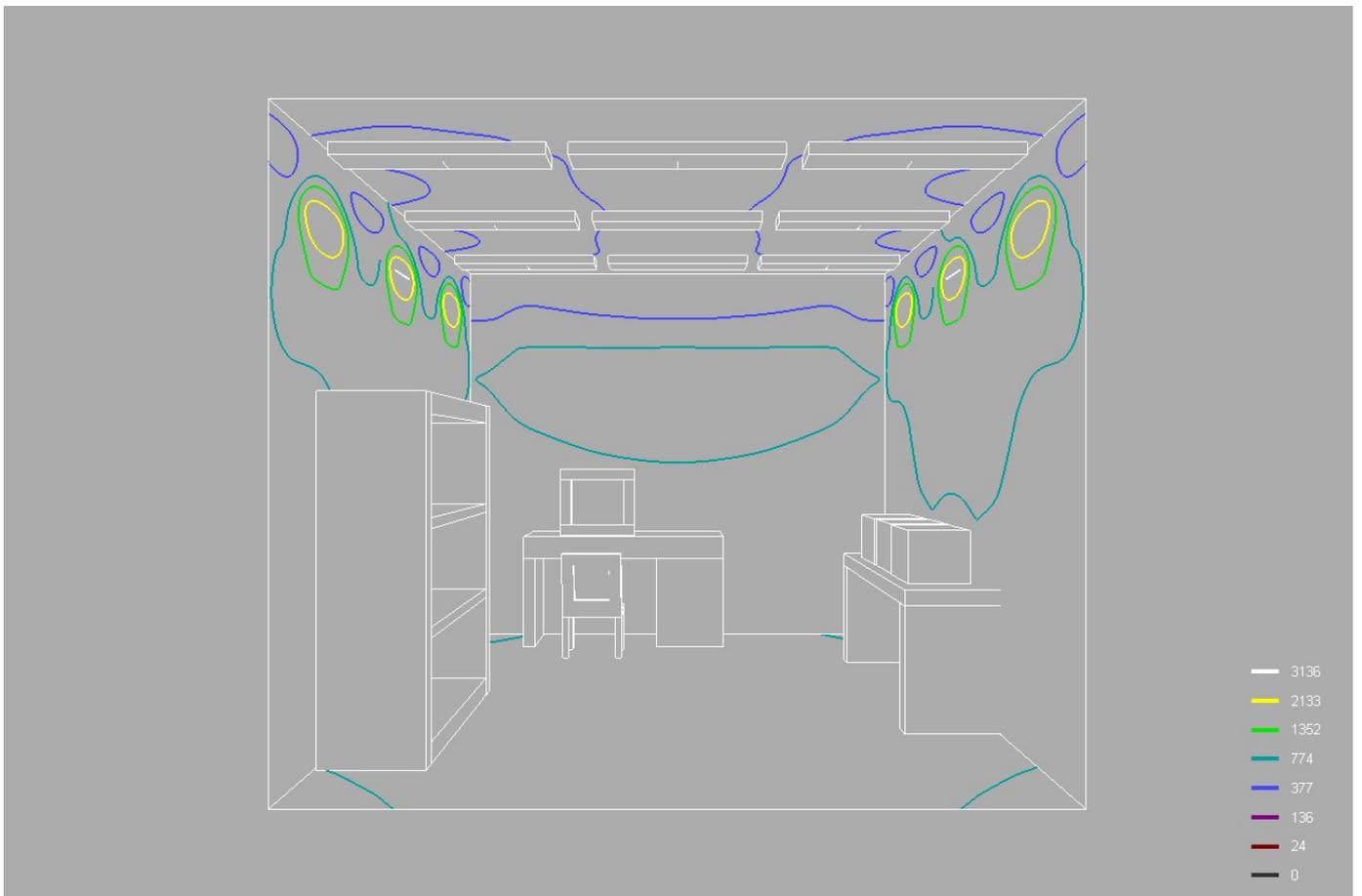
Escala 1/30



5.1 Imagen: Sala de control



5.2 Imagen: Sala de control 1



ILUMINACION AREA MEDICION

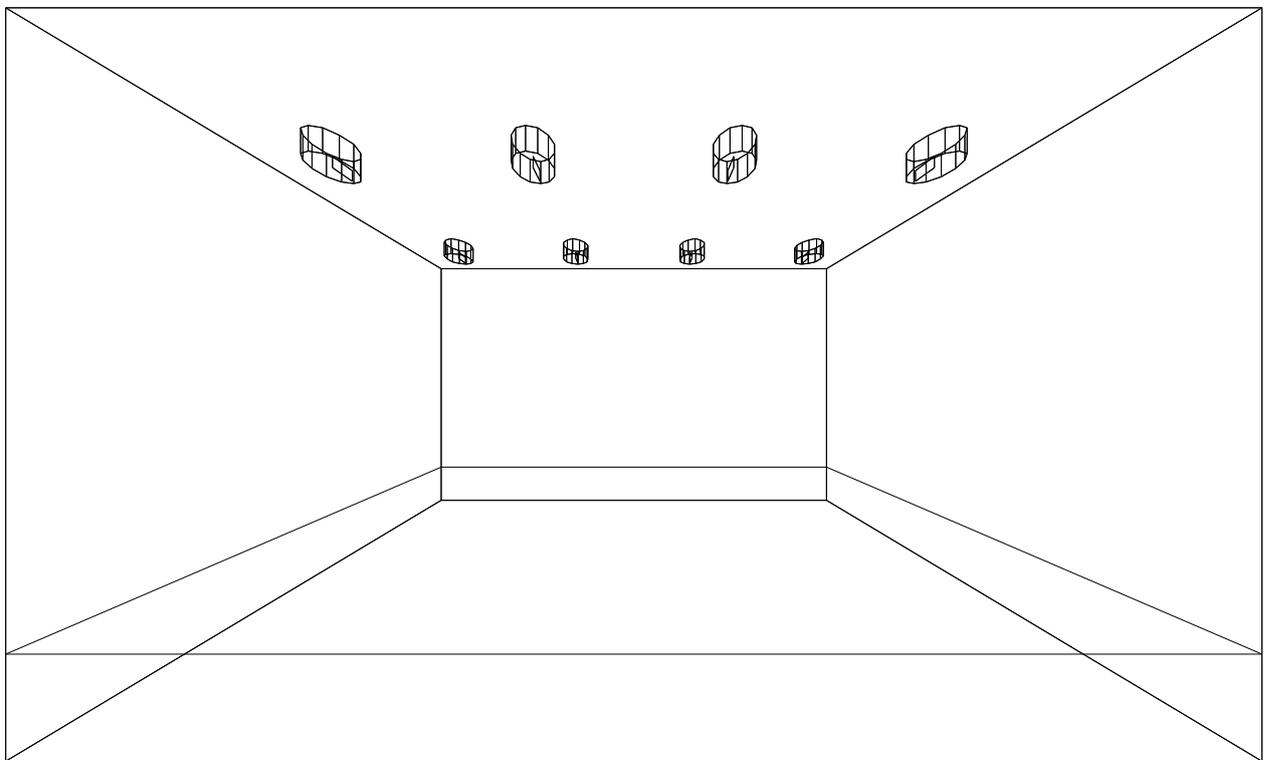
Notas Instalación :

Cliente:

Código Proyecto:

Fecha: 22/12/2012

Notas:



Nombre Proyectista:

ABELARDO VILA

Dirección:

Ctra.Petare-Sta. Lucía Km.3 Caracas Vzla

Tel.-Fax:

Tel.:+58/212/5320595 Fax:+58/212/5323003

Observaciones:

1.1 Información sobre Area/Local

Superficie	Dimensiones [m]	Ángulo[°]	Color	Coefficiente Reflexión	Ilum.Media [lux]	Luminancia Media [cd/m²]
Techo	9.35x4.60	Plano	RGB=0,128,64	20%	430	27.39
Pared 4	5.65x9.35	0°	RGB=192,192,192	60%	853	162.87
Pared 3	5.65x4.60	-90°	RGB=192,192,192	60%	817	156.00
Pared 2	5.65x9.35	-180°	RGB=192,192,192	60%	853	162.87
Pared 1	5.65x4.60	90°	RGB=192,192,192	60%	816	155.85
Suelo	4.60x9.35	Plano	RGB=126,126,126	10%	1261	40.15

Dimensiones Paralelepípedo que incluye el Area/Local [m]: 9.35x4.60x5.65
 Rejilla Puntos de Medida del Paralelepípedo [m]: dirección X 0.78 - Y 0.38 - Z 0.47
 Potencia Específica del Plano de Trabajo [W/m2] 74.401
 Potencia Espec. de Iluminación del Pl. de Trab. [W/(m2 * 100lux)] 5.287
 Potencia Total [kW]: 3.200

1.2 Parámetros de Calidad de la Instalación

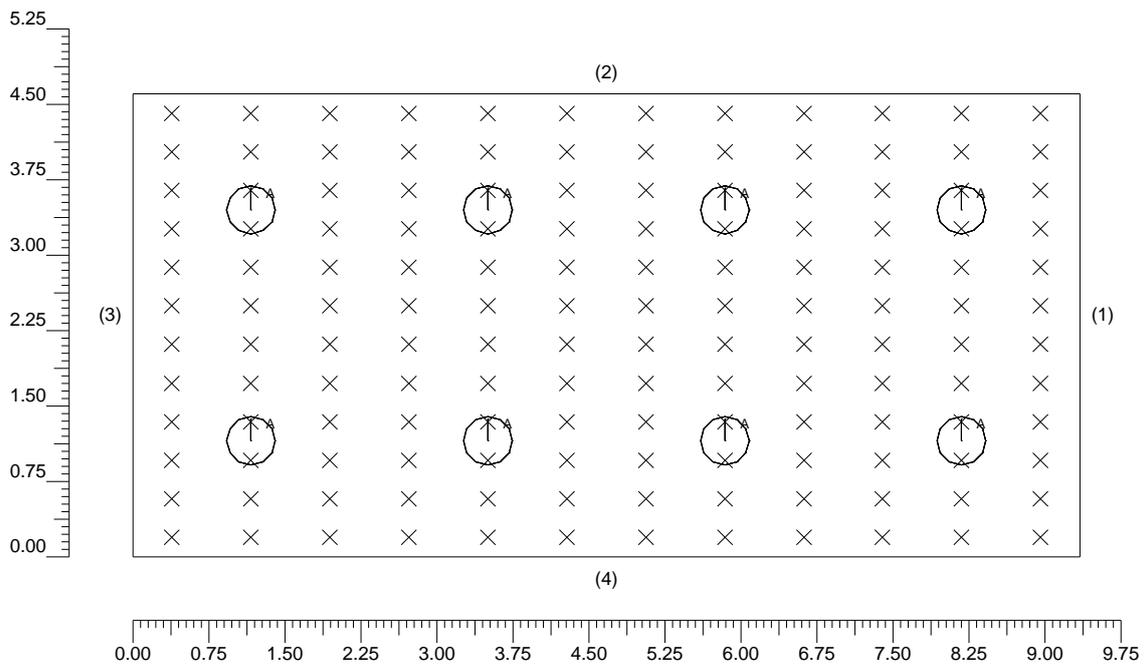
Superficie	Resultados	Medio	Mínimo	Máximo	Mín/Medio	Mín/Máx	Medio/Máx
Plano de Trabajo (h=0.80 m)	Iluminancia Horizontal (E)	1407 lux	923 lux	1704 lux	0.66	0.54	0.83
Suelo	Iluminancia Horizontal (E)	1261 lux	924 lux	1486 lux	0.73	0.62	0.85

Tipo Cálculo

Dir.+Indir.(7 Interreflexiones)

2.1 Vista 2D Plano Trabajo y Rejilla de Cálculo

Escala 1/75



3.1 Información Luminarias/Ensayos

Ref.	Línea	Nombre Luminaria (Nombre Ensayo)	Código Luminaria (Código Ensayo)	Luminarias N.	Ref.Lamp.	Lámparas N.
A	Obralux FL	R - 07 400W MH (POS1) (R - 07 400W MH 220V 1pos)	140713 (140713)	8	LMP-A	1

3.2 Información Lámparas

Ref.Lamp.	Tipo	Código	Flujo [lm]	Potencia [W]	Color [°K]	N.
LMP-A	ME 400	HPI400BUS	32500	400	4300	8

3.3 Tabla Resumen Luminarias

Ref.	Lum.	On	Posición Luminarias X[m] Y[m] Z[m]	Rotación Luminarias X[°] Y[°] Z[°]	Código Luminaria	Factor Cons.	Código Lámpara	Flujo [lm]
A	1	X	1.17;1.15;5.50	0.0;0.0;0.0	140713	0.80	HPI400BUS	1*32500
	2	X	1.17;3.45;5.50	0.0;0.0;0.0		0.80		
	3	X	3.51;1.15;5.50	0.0;0.0;0.0		0.80		
	4	X	3.51;3.45;5.50	0.0;0.0;0.0		0.80		
	5	X	5.84;1.15;5.50	0.0;0.0;0.0		0.80		
	6	X	5.84;3.45;5.50	0.0;0.0;0.0		0.80		
	7	X	8.18;1.15;5.50	0.0;0.0;0.0		0.80		
	8	X	8.18;3.45;5.50	0.0;0.0;0.0		0.80		

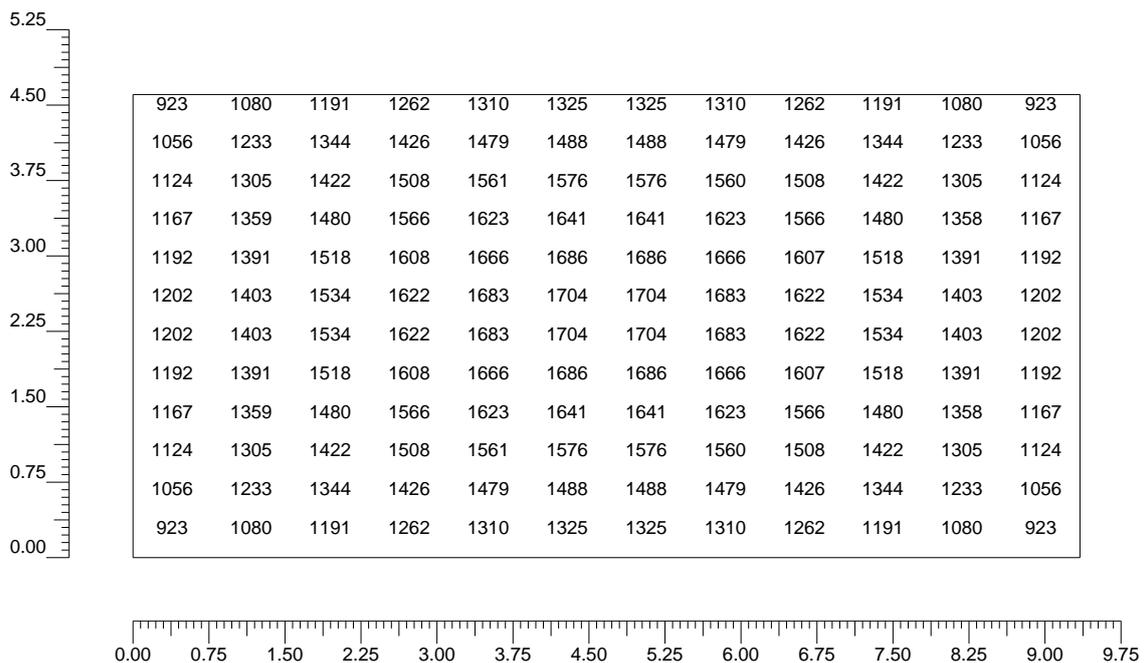
4.1 Valores de Iluminancia Horizontal sobre Plano de Trabajo

O (x:9.35 y:0.00 z:0.80)	Resultados	Medio	Mínimo	Máximo	Mín/Medio	Mín/Máx	Medio/Máx
DX:0.38 DY:0.78	Iluminancia Horizontal (E)	1407 lux	923 lux	1704 lux	0.66	0.54	0.83

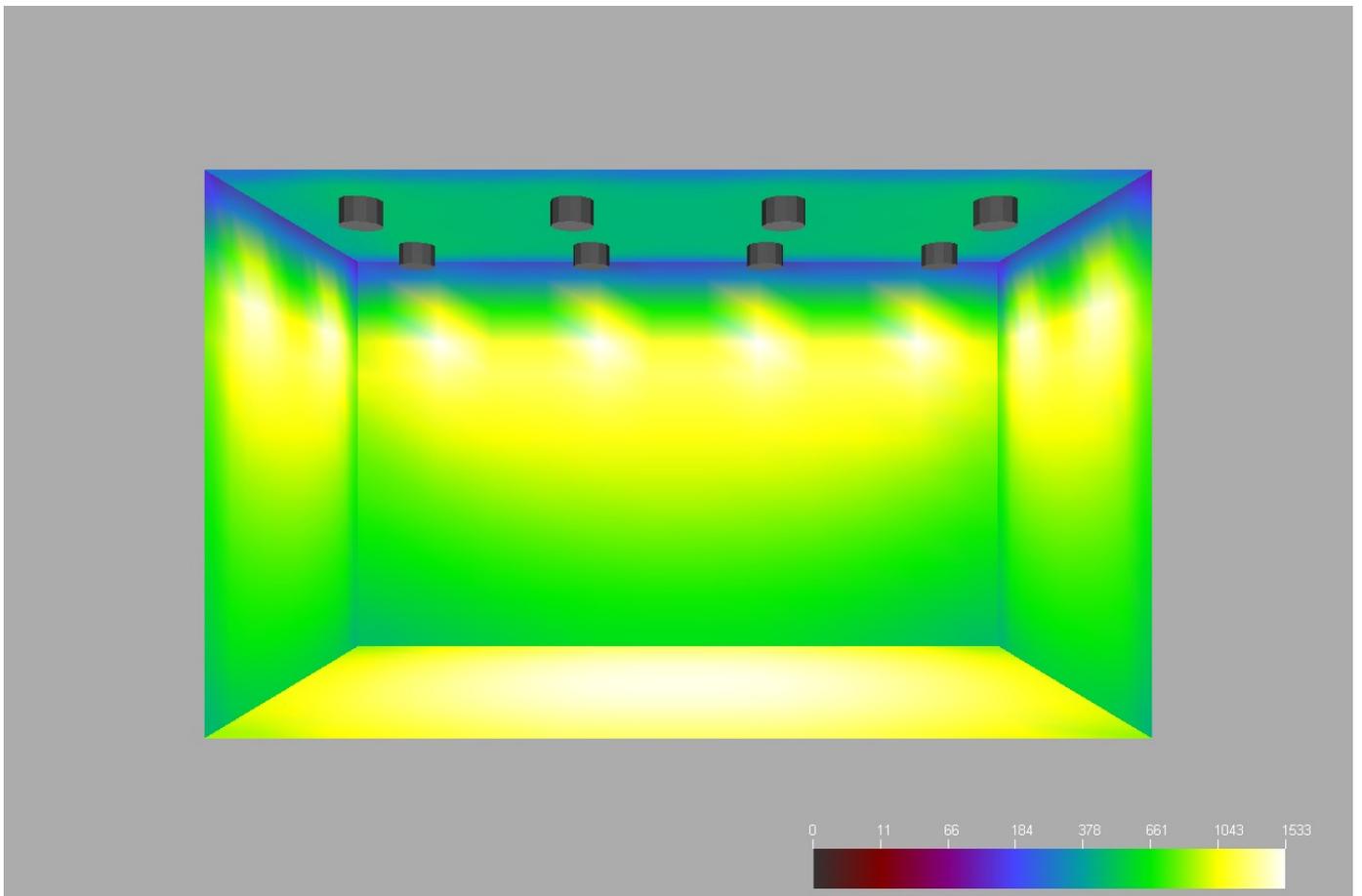
Tipo Cálculo

Dir.+Indir.(7 Interreflexiones)

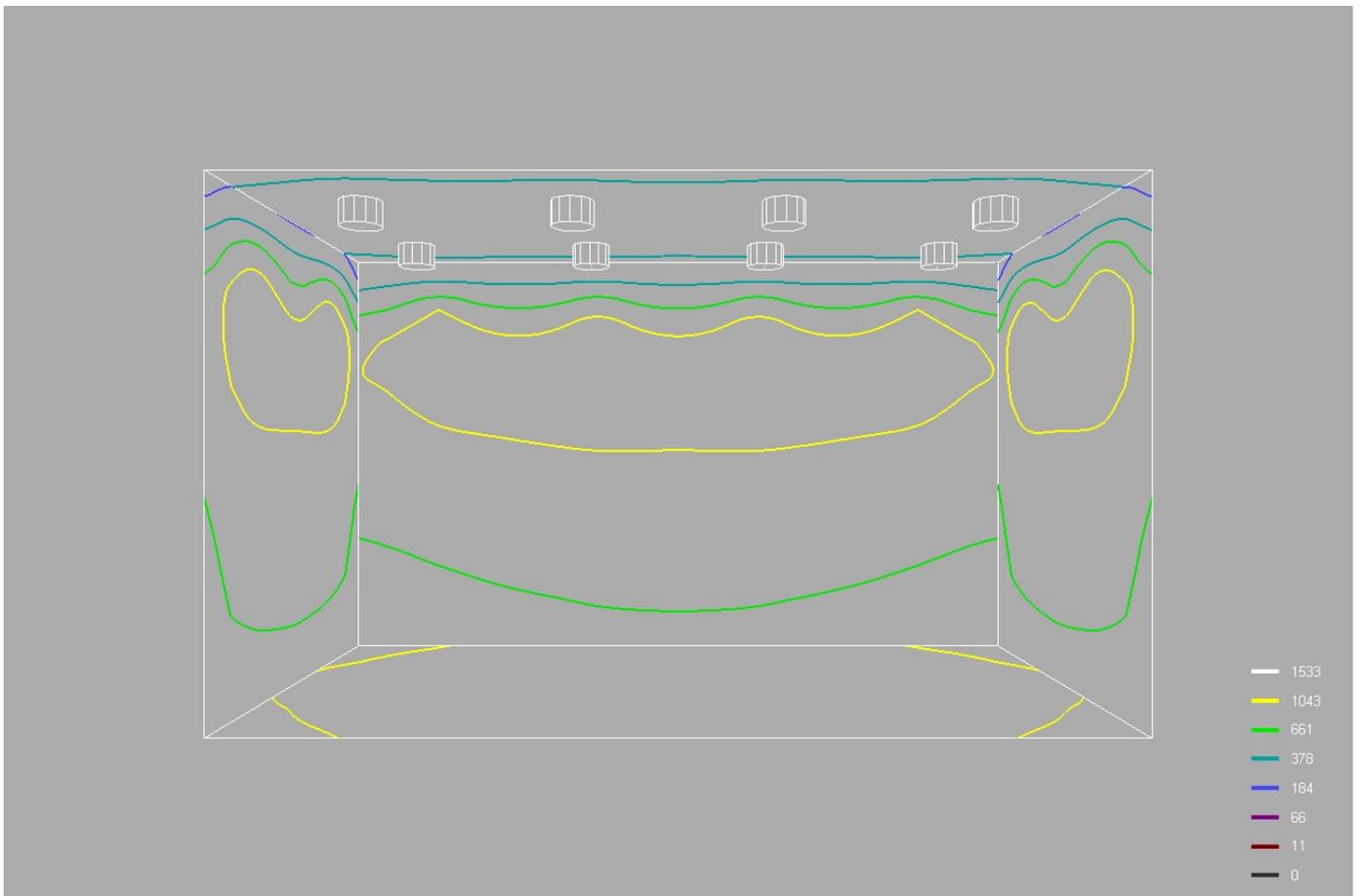
Escala 1/75



5.1 Imagen: Area de Medición



5.2 Imagen: Area de Medición 1



Información General	1
1. Datos Proyecto	
1.1 Información sobre Area/Local	2
1.2 Parámetros de Calidad de la Instalación	2
2. Vistas Proyecto	
2.1 Vista 2D Plano Trabajo y Rejilla de Cálculo	3
3. Datos Luminarias	
3.1 Información Luminarias/Ensayos	4
3.2 Información Lámparas	4
3.3 Tabla Resumen Luminarias	4
4. Tabla Resultados	
4.1 Valores de Iluminancia Horizontal sobre Plano de Trabajo	5
5. Imágenes	
5.1 Imagen: Area de Medición	6
5.2 Imagen: Area de Medición 1	7

[ANEXO N°7]
[resultados de las mediciones de resistividad del terreno]

Sequencer:	2m
Fecha/hora:	6/1/2011 9:21
Sobrecarga:	Sí
Evaluación:	n/a
Rango:	AC 6A
Apagar con trigger:	no
Repetir:	no

Estados:				
N°:	AC 6A	No Data	Trigger	Tiempo
1	6.0A	40.0Hz	-	2.0s
2	6.0A	40.0Hz	-	2.0s
3	6.0A	80.0Hz	-	2.0s
4	6.0A	80.0Hz	-	2.0s
5	3.0A	100.0Hz	-	2.0s
6	3.0A	130.0Hz	-	2.0s
7	2.0A	150.0Hz	-	10.0s

Resultado:								
N° de estado:	I AC sel		V1 AC sel		R, X		Tiempo	Sobrecarga
1	0.012	0.000	0.055	-2.860	6.471	-0.223	2.0s	sí!
2	0.012	0.000	0.055	-2.840	6.474	-0.222	2.0s	sí!
3	0.019	0.000	0.085	-2.900	6.392	-0.223	2.0s	sí!
4	0.019	0.000	0.086	-2.900	6.392	-0.223	2.0s	sí!
5	0.019	0.000	0.085	-2.760	6.437	-0.214	2.0s	Sí
6	0.019	0.000	0.084	-3.180	6.423	-0.246	2.0s	no
7	0.018	0.000	0.079	-3.470	6.413	-0.268	10.0s	no

Average: 0.016 0.070 60.000 6.433 -0.223

