

**PROPUESTA PARA LA ADECUACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA  
DEL LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN DE LA UNIVERSIDAD  
INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**OLIVERIO MEJÍA ANGARITA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
BUCARAMANGA**

**2009**

**PROPUESTA PARA LA ADECUACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA  
DEL LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN DE LA UNIVERSIDAD  
INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**OLIVERIO MEJÍA ANGARITA**

**Trabajo de grado para optar al título de  
Ingeniero Electricista**

**Director**

**JULIO CÉSAR CHACÓN VELASCO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
BUCARAMANGA**

**2009**

A Dios por darme la fortaleza para vencer las adversidades encontradas y permitirme alcanzar una meta más.

A mis padres Oliverio y Marina quienes siempre me animaron y apoyaron incondicionalmente.

A mis hermanos por su apoyo y colaboración.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por las bendiciones concedidas.

Al profesor Julio Cesar Chacón, director de este proyecto por la colaboración, paciencia y orientaciones prestadas durante la realización de este proyecto.

A la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones.

A la Universidad Industrial de Santander.

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. GENERALIDADES	19
1.1 UBICACIÓN DEL LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN DE LA UIS	19
1.2 INSTALACIONES ACTUALES DEL LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN	19
1.2.1 Sala de control	20
1.2.2 Sala de pruebas de alta tensión	20
1.3 SEGURIDAD DEL LABORATORIO	20
2. ADECUACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL LABORATORIO	21
2.1 ALMACÉN DE EQUIPOS	22
2.1.1 Construcción	23
2.2 APANTALLAMIENTO	26
2.2.1 Encerramiento con la jaula de Faraday	27
2.2.2 Recomendaciones en la construcción de la jaula de Faraday	28
2.3 ILUMINACIÓN	30
2.3.1 Iluminación del área de alta tensión	30
2.3.1.1 Valor de la iluminancia media $E_m$ de diseño	31
2.3.1.2 Cálculo del índice local K	31
2.3.1.3 Cálculo de las reflectancias $\rho$	32
2.3.1.4 Tipo de luminaria	33
2.3.1.5 Coeficiente o factor de utilización de las luminarias	35
2.3.1.6 Factor de mantenimiento	35
2.3.1.7 Cálculo del flujo luminoso necesario	37
2.3.1.8 Cálculo del mínimo número de luminarias necesarias (N)	37
2.3.1.9 Cálculo de la iluminancia promedio	38
2.3.1.10 Emplazamiento de las luminarias	38
2.3.1.11 Cálculo del valor de eficiencia energética de la instalación VIEE	39

2.3.1.12 Cálculo del Índice de deslumbramiento unificado (UGR)	39
2.3.2 Iluminación para el almacén	40
2.3.2.1 Valor de la iluminancia media $E_m$ de diseño	40
2.3.2.2 Cálculo del índice local K	40
2.3.2.3 Cálculo de las reflectancias $\rho$	41
2.3.2.4 Luminaria seleccionada para el almacén	42
2.3.2.5 Coeficiente o factor de utilización de las luminarias	44
2.3.2.6 Factor de mantenimiento	44
2.3.2.7 Cálculo del flujo luminoso necesario	45
2.3.2.8 Cálculo del mínimo número de luminarias necesarias (N)	45
2.3.2.9 Cálculo de la iluminancia promedio	45
2.3.2.10 Emplazamiento de las luminarias	46
2.3.2.11 Cálculo del valor de eficiencia energética de la instalación VIEE	46
2.3.2.12 Cálculo del Índice de deslumbramiento unificado (UGR)	47
2.3.3 Iluminación sala de control	47
2.3.3.1 Valor de la iluminancia media $E_m$ de diseño	47
2.3.3.2 Cálculo del índice local K	47
2.3.3.3 Cálculo de las reflectancias $\rho$	48
2.3.3.4 Tipo de luminaria	48
2.3.3.5 Coeficiente o factor de utilización de las luminarias	49
2.3.3.6 Factor de mantenimiento	49
2.3.3.7 Cálculo del flujo luminoso necesario	50
2.3.3.8 Cálculo del mínimo número de luminarias necesarias (N)	50
2.3.3.9 Cálculo de la iluminancia promedio	50
2.3.3.10 Emplazamiento de las luminarias	50
2.3.3.11 Cálculo del valor de eficiencia energética de la instalación VIEE	51
2.3.3.12 Cálculo del Índice de deslumbramiento unificado (UGR)	51
2.3.4 Aspectos a considerar	52
2.4 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	53
2.4.1 Máxima corriente de falla	54

2.4.1.1 Cálculo de la máxima corriente a ser disipada I	55
2.4.1.2 Factor de decremento	62
2.4.1.3 Factor de corrección K	63
2.4.2 Calibre mínimo del electrodo de puesta a tierra	64
2.4.3 Cálculo de la malla puesta a tierra	65
2.4.3.1 Cálculo de los factores $k_1$ , $k_2$	67
2.4.3.2 Resistencia de tierra de una malla horizontal rectangular $R_1$	67
2.4.3.3 Resistencia de un sistema de varillas de tierra $R_2$	68
2.4.3.4 Resistencia mutua malla-varillas $R_m$	68
2.4.3.5 Resistencia del sistema combinado	69
2.4.3.6 Cálculo de la tensión de malla	69
2.4.3.7 Cálculo de la tensión de paso $E_S$	74
2.4.3.8 Cálculo del GPR	76
2.4.3.9 Cálculo de la tensión de toque y de paso tolerable	76
2.4.3.10 Análisis de los resultados	79
2.4.3.11 Cálculo de la resistencia del SPAT usando cemento conductor	79
2.5 ZONA DE CARGA	82
2.5.1 Grúa	82
3. EQUIPOS	84
3.1 EQUIPOS DE MEDIDA Y ENSAYOS	84
3.1.1 Equipos con que cuenta el LAT	84
3.1.2 Equipos que se deben adquirir	85
3.1.2.1 Medidor digital de relación de transformación	86
3.1.2.2 Megóhmetro hasta 5000 V	87
3.1.2.3 Micro-ohmmetro de 10A	88
3.1.2.4 Osciloscopio portátil	89
3.1.2.5 Multímetro	90
3.1.3 Ventajas de estos equipos	91
3.2 COMPUTADORES	93
4. SEGURIDAD DEL LAT	94

5. DESARROLLO DE LA PROPUESTA FINANCIERA DEL PROYECTO	96
5.1 PROPUESTA FINANCIERA	80
5.2 ANÁLISIS FINANCIERO	105
5.2.1 Costo de la adecuación del LAT	105
5.2.2 Expectativas de ingresos por operación el LAT	105
5.2.3 Egresos operativos del LAT	106
5.2.4 Diagrama de Flujo del Proyecto	106
5.2.5 Análisis de rentabilidad del laboratorio	107
5.2.5.1 Valor presente neto VPN	107
5.2.5.2 Tasa interna de retorno TIR	108
5.2.5.3 Relación beneficio-costos RBC	109
CONCLUSIONES	111
RECOMENDACIONES	113
BIBLIOGRAFÍA	114
ANEXOS	117

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Resumen de obras y materiales para el almacén de equipos	25
Tabla 2. Resumen de materiales utilizados para el apantallamiento	29
Tabla 3. Índice de reflexión	32
Tabla 4. Coeficientes de utilización de la luminaria TE 200S E17C	35
Tabla 5: Coeficiente o factor de utilización de la luminaria EJ 2 32 MVOLT	44
Tabla 6: Coeficiente o factor de utilización de la luminaria EJ 2 32 MVOLT	49
Tabla 7. Resumen materiales utilizados en la iluminación.	52
Tabla 8. Factores de decremento	63
Tabla 9. Constantes de materiales	64
Tabla 10. Valores obtenidos y valores de referencia del SPAT	78
Tabla 11. Resumen de obras y materiales utilizados para el SPAT	81
Tabla 12. Resumen de obras y equipos para la zona de carga	83
Tabla 13. Cuadro resumen de equipos	92
Tabla 14. Resumen de equipos de cómputo	93
Tabla 15. Resumen de elementos de seguridad	95
Tabla 16. Costo Proceso de adecuación del LAT	105
Tabla 17. Ingresos por operación del LAT	106
Tabla 18. Gastos mensuales operativos del LAT	106

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Instalaciones actuales del LAT	19
Figura 2. Esquema de la nueva planta física de LAT	21
Figura 3. Almacén de equipos	22
Figura 4. Montaje de la jaula de Faraday	29
Figura 5. Dimensiones del área de alta tensión	31
Figura 6. Cavidad de piso, techo y pared	31
Figura 7. Datos técnicos de la luminaria para la sala de alta tensión	33
Figura 8. Datos técnicos de la lámpara seleccionada	34
Figura 9. Emplazamiento de las luminarias	38
Figura 10. Dimensiones de la bodega	41
Figura 11. Cavidad de piso, techo y pared	41
Figura 12. Características de la luminaria	42
Figura 13. Datos de la lámpara Phillips	43
Figura 14. Emplazamiento de las luminarias	46
Figura 15. Dimensiones de la sala de control	48
Figura 16. Cavidad de piso, techo y pared	48
Figura 17. Emplazamiento de las luminarias	51
Figura 18. Esquema del generador de impulsos	57
Figura 19. Generador de impulsos de tensión	58
Figura 20. Ubicación de la malla del sistema de tierra del LAT	66
Figura 21. Medidor digital de relación de transformador modelo DTR 8500	87
Figura 22. Megóhmetro Modelo 5070	88
Figura 23. Micro-ohmmetro Modelo 6250.	89
Figura 24. Osciloscopio portátil 225C Fluke	90
Figura 25. Multímetro 8846A Fluke	91
Figura 26. Señales de seguridad	95



## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Especificaciones técnicas de las láminas para la construcción de la Jaula de Faraday	118
Anexo B. Licencia de Uso DIALux	119
Anexo C. Cálculos de iluminación de la sala de alta tensión	120
Anexo D. Cálculos de iluminación del almacén de equipos	126
Anexo E. Iluminación de la sala de control del LAT	131
Anexo F. Selección de las luminarias para la bodega y la sala de control	142
Anexo G. Cemento conductor	143
Anexo H. Malla del SPAT usando cemento conductor	144
Anexo I. Plano malla de tierra e iluminación del LAT	147
Anexo J. Especificaciones técnicas	151
Anexo K. Cotizaciones	152

## ABREVIATURAS Y SIGLAS UTILIZADAS

<b>AWG</b>	American wire gage
<b>CIE</b>	Comisión Internacional de Alumbrado
<b>EMI</b>	Interferencia Electromagnética
<b>IEC</b>	International Electro Technical Commission
<b>ISO</b>	International Standard Organization
<b>NTC</b>	Normas Técnicas Colombianas
<b>LAT</b>	Laboratorio de alta tensión
<b>RETIE</b>	Reglamento Técnico Instalaciones eléctricas
<b>RETILAP</b>	Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público
<b>RFI</b>	Interferencia Radio Frecuencia
<b>SPT</b>	Sistema de puesta a tierra
<b>SIC</b>	Superintendencia de Industria y Comercio
<b>Ucc</b>	Caída relativa de tensión

## RESUMEN

**TÍTULO:** PROPUESTA PARA LA ADECUACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DEL LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

**AUTOR:** MEJÍA ANGARITA, Oliverio\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Alta tensión, Adecuación, SPAT, IEEE STD 80-2000, apantallamiento, iluminación, RETILAP.

### DESCRIPCIÓN:

Para obtener la acreditación del laboratorio de alta tensión de la UIS, este debe cumplir con las normas establecidas, respecto a sus instalaciones y equipos, en este trabajo se hace una propuesta para la adecuación del laboratorio de tal forma que realizada la adecuación, en un futuro se pueda realizar dicho trámite.

El laboratorio fue creado en la época de los 70, durante este tiempo de uso, sus instalaciones y equipos se han ido deteriorando, por lo tanto se ve la necesidad de adecuar sus instalaciones. Para desarrollar esta propuesta de adecuación se recopiló información sobre el estado actual de las instalaciones y equipos, y se concluye, que se debe construir un cuarto para el almacenamiento de equipos aledaño a la sala de alta tensión, la construcción de una nueva malla para el sistema de puesta a tierra, este diseño se realiza según la norma IEEE 80 STD 2000, se realiza el diseño del sistema de apantallamiento electromagnético donde se propone la construcción de una jaula de Faraday, mediante el cubrimiento interno de las paredes de la sala de alta tensión con laminas de acero galvanizado, se diseña el sistema de iluminación para todas las locaciones del laboratorio, según el reglamento técnico de iluminación y alumbrado público RETILAP, también se propone realizar mantenimiento al puente grúa existente y adquirir un polipasto para la carga y descarga de maquinas. Para la realización de las pruebas y ensayos se propone la adquisición de equipos de medida especializados.

Por último, se procedió a realizar las respectivas cotizaciones y el desarrollo del presupuesto del proyecto diligenciando el formato de proyectos tipo A para que pueda ser presentada la propuesta a consideración ante la oficina de planeación de la UIS.

---

\* Proyecto de grado.

\*\* Facultad de Ciencias Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director. Julio César Chacón Velasco, ingeniero electricista MPE.

## ABSTRACT

**TITLE:** PROPOSAL OF THE ADAPTING OF THE INFRASTRUCTURE OF THE HIGH TENSION LABORATORY AT UNIVERSITY INDUSTRIAL OF SANTANDER\*

**AUTHOR:** MEJÍA ANGARITA, Oliverio\*\*

**KEY WORDS:** High tension, adapting, SPAT, IEEE STD 80-2000, screening, illumination, RETILAP.

### DESCRIPTION:

To obtain the accreditation of the laboratory of high tension of the UIS, this must comply with established standards regarding installations and equipment, in this work does a proposal for the adapting of the laboratory of such form that realized the adapting in a future can realize said procedure.

The laboratory was established at the age of 70, during this time of use, its facilities and equipment have been deteriorating, because the necessity is seen of adapt their facilities. To develop this proposal adequacy collected information on the current state of facilities and equipment, and concludes that it must build a room for equipment storage adjacent to the high voltage room, the construction of a new mesh for grounding system, this design is done according to standard IEEE 80 STD 2000, Itself realized the design the system of electromagnetic screening, where we propose the building the a cage of Faraday, through the inner covering of the walls of the high tension room of galvanized steel sheets, the design of lighting system for all locations of laboratory, according to the technical regulations lighting and street lighting RETILAP, is also proposed servicing the existing bridge crane and hoist purchase for loading and unloading of machines. To carry out tests and trials is proposed acquisition of specialized measuring equipment.

Last, was performed the respective prices and development from project budget procedure the format type A projects to the proposal may be submitted for consideration at the planning office of the UIS.

---

\* Degree Project.

\*\* Faculty of physical-mechanicals sciences, School of Electrical, Electronic and Telecommunication Engineering. Manager: Julio César Chacón Velasco, Electrical engineer MPE.

## INTRODUCCIÓN

La Universidad Industrial de Santander y sus respectivas escuelas de ingeniería en la búsqueda de la excelencia y del fortalecimiento institucional se han interesado en la modernización y acreditación de todos sus y laboratorios.

La adecuación del LAT tiene como principal finalidad su acreditación, para posicionarlo como el laboratorio más importante en la región nor-oriental de Colombia. La viabilidad del proyecto se basa en estudios realizados<sup>1</sup> y se demuestra la importancia que tendría en el ámbito científico, tecnológico y económico, ya que el laboratorio estaría en condiciones de prestar sus servicios para la demanda existente en la industria y sector eléctrico cumpliendo con las normas vigentes, y los criterios de calidad contemplados en la norma NTC-ISO/IEC 17025, requisitos generales de competencia de laboratorios de ensayos y calibración.

En el estado actual, el laboratorio de alta tensión, cuenta con importantes equipos para las pruebas y los ensayos según su competencia, pero se requiere de la adquisición de algunos equipos de medida, además de las adecuaciones y remodelaciones necesarias en su planta física.

La finalidad de éste trabajo es el de proveer al laboratorio de alta tensión de la UIS de la documentación necesaria, para que puedan ser gestionados los recursos ante la oficina de planeación de la UIS, para la adecuación del laboratorio y posteriormente solicitar la acreditación del laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Industrial de Santander ante la Superintendencia de Industria y Comercio, SIC.

---

<sup>1</sup> ARIZMENDY WEEBER, Rafael Cristóbal, Acreditación del laboratorio de alta tensión (Documentación). Trabajo de investigación para optar al título de Magíster en Ingeniería Eléctrica. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2003.

## 1. GENERALIDADES

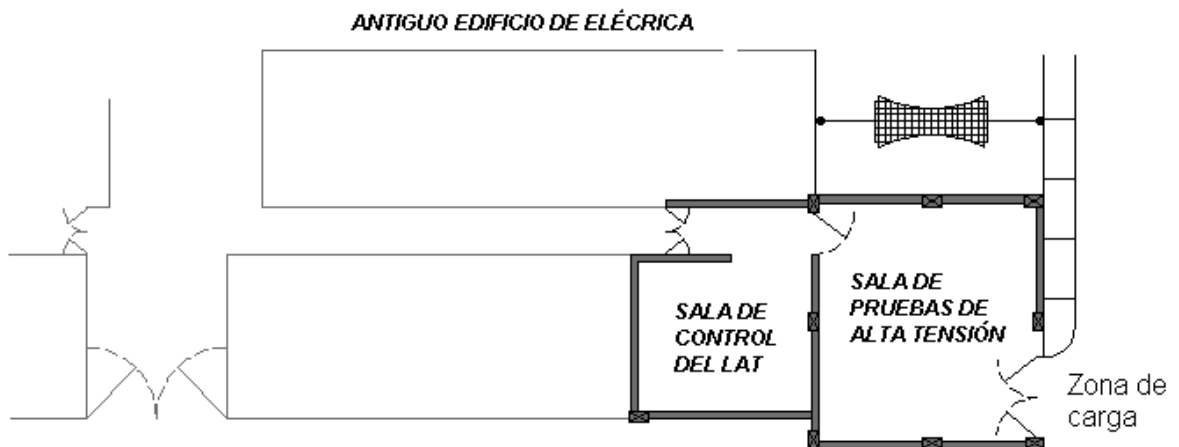
### 1.1 UBICACIÓN DEL LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN DE LA UIS

El laboratorio de alta tensión se encuentra ubicado en el edificio de eléctrica antigua<sup>2</sup>, cerca de la entrada occidental de la Universidad lo que permite un acceso rápido y cómodo para sus usuarios.

### 1.2 INSTALACIONES ACTUALES DEL LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN

Actualmente el laboratorio de alta tensión cuenta con una sala de control, una sala de pruebas y dispone de un espacio aledaño a la sala de pruebas, donde se encuentra ubicada la malla coaxial para la prueba de efecto corona, como se muestra en figura 1.

Figura 1. Instalaciones actuales del LAT



Fuente: Diseño del autor

<sup>2</sup> Edificio N° 27. Laboratorio de alta tensión

**1.2.1 Sala de control.** Esta sala dispone de bancos para los equipos, donde se encuentran la consola de control de tensión alterna, la unidad de control del generador de impulsos, y los demás equipos de medida. Además dispone de un espacio para la inducción de cada práctica del laboratorio de la materia de alta tensión, un espacio para oficina y sistemas.

**1.2.2 Sala de pruebas de alta tensión.** La sala de pruebas dispone de una puerta que da a la zona de carga y una puerta con acceso a la sala de control, en esta sala se encuentra el generador de ondas de impulsos de tensión, con los respectivos accesorios para la realización de las diferentes pruebas, el transformador elevador de alta tensión y el chispómetro para las pruebas en aceites.

### **1.3 SEGURIDAD DEL LABORATORIO**

La seguridad en el LAT presenta algunas falencias, de las cuales las más importantes son:

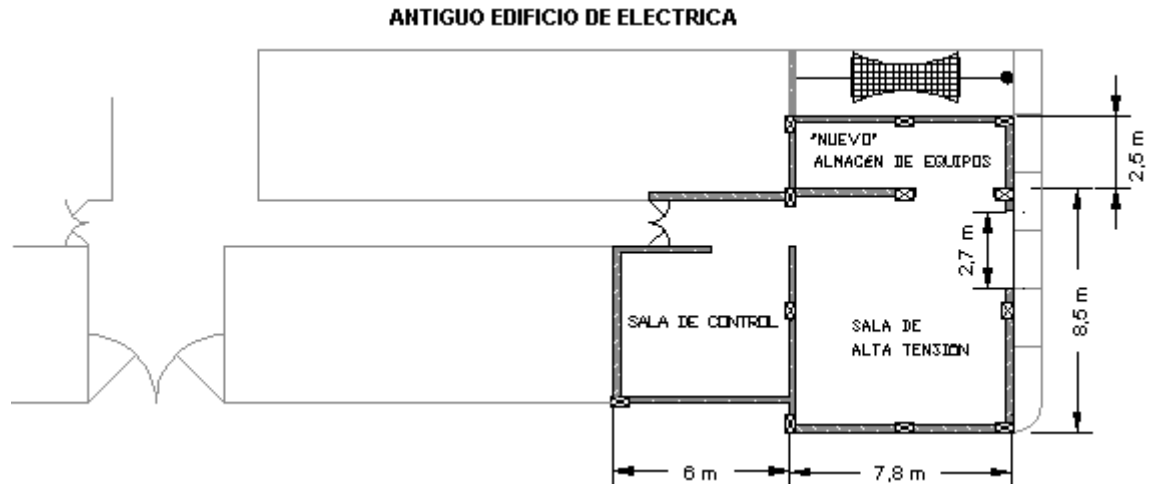
- Ausencia de letreros informativos.
- Inexistencia de un sistema para el apantallamiento contra la radiación electromagnética.
- Deterioro de la malla de puesta a tierra, debido al degradación de sus materiales por el tiempo de uso. La resistencia de tierra medida es de  $7 \Omega$ . Es un valor relativamente grande, ya que para laboratorios de alta tensión esta debe ser menor a  $1 \Omega$ .

## 2. ADECUACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL LABORATORIO

Las instalaciones del laboratorio de alta tensión, deben cumplir con los requerimientos funcionales que surgen del proceso de calidad que se debe implementar.

Para tal caso se presenta una propuesta arquitectónica, donde la inversión requerida sea mínima. Como el laboratorio necesita de una sala para el almacenamiento de los equipos, se propone, su construcción junto a la sala de pruebas, en el espacio donde actualmente se encuentra ubicada la malla coaxial, para las pruebas de laboratorio de efecto corona, la cual se correrá según se muestra en la figura 2.

Figura 2. Esquema de la nueva planta física de LAT



Fuente: Diseño del autor

Para hacer más práctica la manipulación de los equipos o las máquinas a ensayar, conviene reubicar la puerta metálica del LAT, ubicada en la zona de carga, ya que facilitaría el ingreso de los equipos, tanto al almacén, como a la sala de ensayos.

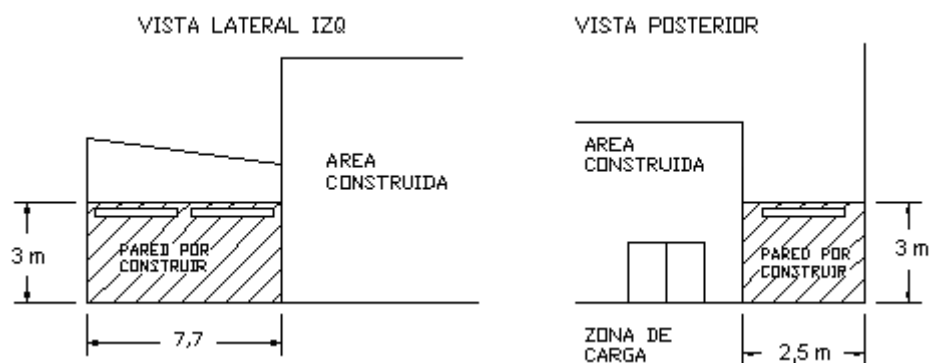
Dentro de las obras preliminares por ejecutar están:

- El desmontaje de la malla coaxial utilizada para la práctica del laboratorio del efecto corona.
- El levantamiento del piso, y las excavaciones necesarias, para el montaje de la nueva malla del sistema de puesta a tierra.
- Excavaciones para los cimientos de las paredes de la nueva sala de almacenamiento de equipos.
- La reubicación de la puerta metálica del LAT de la zona de carga, para hacer más fácil el acceso de los equipos o máquinas a ensayar, al laboratorio y a la bodega.
- La demolición de parte del muro adyacente a la sala de alta tensión en donde se construirá la bodega, para abrir la puerta de acceso a esta.

## 2.1 ALMACÉN DE EQUIPOS

Actualmente el LAT no cuenta con un espacio dedicado al almacenamiento de equipos, por lo que es necesaria la construcción de un cuarto para este fin.

Figura 3. Almacén de equipos



Fuente diseño del autor

**2.1.1 Construcción.** Para la construcción del almacén, se dispone de un terreno de 2,5 m de ancho por 7,75 m de largo, y se propone una altura de tres metros, se deben construir dos paredes, ya que se tienen dos paredes colindantes, el techo debe ser de placa fundida en concreto.

Para su construcción se calcula:

- Pared en ladrillo H:15 se estiman 50,4 m<sup>2</sup>
- Concreto para cimientos y viga de amarre piso 3,25 m<sup>3</sup>
- Concreto para columnas y vigas de amarre 3,23 m<sup>3</sup>
- Placa con espesor de 40 cm (no incluye refuerzo) 37,35 m<sup>2</sup>
- Acero de refuerzo 1204 kg.
- Piso en concreto 103,4 m<sup>2</sup> con un espesor de mínimo 15 cm
- Malla de acero galvanizado 3/8" para el piso 104 m<sup>2</sup>
- Anclajes en bordes de placa existente 25,1 m<sup>2</sup>
- Friso interior 119,16 m<sup>2</sup>
- Friso exterior 119,16 m<sup>2</sup>

El piso en concreto calculado incluye el piso de la sala de alta tensión y el piso del almacén de equipos, este piso debe incluir una malla de refuerzo embebida en el concreto, que puede ser acero galvanizado de 3/8", esta malla además de servir de refuerzo para el piso, se puede usar en la parte correspondiente a la sala de alta tensión como medio de apantallamiento electromagnético, por lo que en esta parte conviene que la malla tenga continuidad eléctrica, además se deben sacar colas de hierro de esta malla para unir las con el sistema de apantallamiento electromagnético a implementar en la sala de alta tensión.

El concreto para el piso además de ser necesario debido al peso de los equipos que se manipulan en el laboratorio, sirve para disminuir las tensiones de toque, de

paso y transferidas que se puedan generar en el sistema de puesta a tierra a diseñar.

Los cimientos se construyen en concreto, reforzado con una armadura interna de hierro, al igual que las columnas y las respectivas vigas de amarre.

Para el almacén de equipos se recomienda la instalación de unas ventanas en la parte superior de las paredes como se muestra en la figura 3 que pueden ser de 0,3 m de altura por 2 m de largo, de tal forma que se brinden seguridad y además sean fuente de luz natural para el almacén.

Para los acabados de la sala se necesita:

- Pintura Interior en vinilo 119,16 m<sup>2</sup>
- Pintura exterior en pinturama 119,16 m<sup>2</sup>
- Pintura para carpintería metálica 5 m<sup>2</sup>
- Piso en baldosín de cemento 103,4 m<sup>2</sup>

A continuación se detallan los trabajos a realizar, los materiales y las cantidades que se necesitan para la construcción de la sala para el almacenamiento de equipos con los respectivos valores incluyendo la mano de obra.

Tabla 1. Resumen de obras y materiales para el almacén de equipos

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UN	CANT	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
<b>1.</b>	<b>PRELIMINARES</b>				
1.1	Demoliciones de pisos y muros	Global	1	700.000	700.000
1.2	Excavaciones a mano para muros	m	12	40.000	480.000
	SUMA				1.180.000
	AIU(25%)				295.000
	<b>TOTAL</b>				<b>1.475.000</b>
<b>2.</b>	<b>ESTRUCTURA</b>				
2.1.	Concreto cimientos y viga de amarre piso	m <sup>3</sup>	3,3	400.000	1.300.000
2.2.	Concreto columnas y vigas de amarre	m <sup>3</sup>	3,2	400.000	1.292.000
2.3.	Placa e: 40 cm. (no incluye refuerzo)	m <sup>2</sup>	37,4	240.000	8.964.000
2.4.	Acero de refuerzo	Kg	1204	2.500	3.010.000
2.5.	Piso en concreto e: 15 cm. (Dos áreas)	m <sup>2</sup>	103,4	50.000	5.169.500
2.6.	Anclajes en bordes de placa existente	m <sup>2</sup>	25,1	50.000	1.255.000
2.7.	Malla electrosoldada M84 6x2.35 m	Un	12	63.063,4	756.761
2.8.	Mano de obra	Global	1	14.000.000	14.000.000
	SUMA				35.747.261
	AIU(25%)				8.747.625
	<b>TOTAL</b>				<b>44.494.886</b>
<b>3.</b>	<b>MAMPOSTERÍA</b>				
3.1.	Muro en H:15	m <sup>2</sup>	119,2	30.000	3.574.800
3.2.	Friso interior	m <sup>2</sup>	119,2	8.000	953.280
3.3.	friso exterior	m <sup>2</sup>	119,2	8.000	953.280
3.4.	Mano de obra	Global	1	6.000.000	6.000.000
	SUMA				11.481.360
	AIU(25%)				2.870.340
	<b>TOTAL</b>				<b>14.351.700</b>
<b>4.</b>	<b>CARPINTERÍA METÁLICA Y PINTURA DE VARIOS</b>				
4.1.	Traslado puerta metálica 2,7 m x 3 m	Un	1	250.000	250.000
4.2.	Pintura interior en vinilo	m <sup>2</sup>	119,2	2.500	297.900
4.3.	Pintura exterior en pinturama	m <sup>2</sup>	119,2	2.500	297.900
4.4.	Pintura para puertas y ventanas metálica	m <sup>2</sup>	5	5.000	25.000
4.5.	Piso en baldosín de cemento	m <sup>2</sup>	103	25.000	2.575.000
4.6.	Mano de obra	Global	1	3.500.000	3.500.000
	SUMA				6.945.800
	AIU(25%)				1.736.450
	<b>TOTAL</b>				<b>8.682.250</b>
	<b>VALOR TOTAL</b>				<b>69.003.836</b>

## 2.2 APANTALLAMIENTO

Es necesario contar con un sistema de apantallamiento electromagnético para garantizar que no se presenten perturbaciones en las señales a medir, y atenuar las señales hacia el exterior del LAT, evitando la interferencia con los equipos ubicados en otros laboratorios.

El blindaje electromagnético se define como el alojamiento metálico colocado alrededor de un circuito o componente para suprimir un campo eléctrico o magnético dentro de la región circundada.

Se debe implementar un blindaje electromagnético en los sitios donde existan equipos sensibles, y que necesitan captar señales con gran precisión libres de perturbaciones electromagnéticas.

El blindaje electromagnético se puede implementar mediante la construcción de una jaula de Faraday, muchos laboratorios han optado por la utilización de mallas metálicas, que tienen poca rigidez mecánica y pueden ser relativamente pesadas, por lo que tienen que ser soportadas en armazones robustos que hace impráctico y costoso el apantallamiento de todo el local (por lo general se cubren las paredes a media altura y no se cubren los techos) , se debe tener en cuenta que la construcción de una jaula de Faraday completa es necesaria cuando se realizan mediciones sensibles a descargas parciales.

Para la construcción de la jaula de Faraday es necesario que el material sea un buen conductor y de alta permeabilidad magnética.

El LAT de la UIS, además de su finalidad pedagógica y de investigación pretende prestar sus servicios a particulares y a empresas de la región, lo que implica un

incremento en el número de ensayos con sus respectivos registros de medida que deben ser de calidad.

Para el laboratorio de alta tensión de la UIS se propone el apantallamiento parcial de la sala.

**2.2.1 Encerramiento con la jaula de Faraday.** La propuesta consiste en la utilización de de láminas de acero galvanizado (tejas de acero STEELTEC), que están siendo utilizadas para el diseño de encerramientos y cubiertas en industrias de la región.

Ventajas:

- Se suministra en longitudes variables según necesidades.
- Ahorro de material en estructuras de soporte por su bajo peso y alta resistencia mecánica.

Se propone:

- Cubrir las paredes del LAT con estas láminas que pueden ser de calibre 26 o superior, en disposición vertical, con una altura de 3 m.
- Cubrir las ventanas con una malla preferiblemente que sea de alambre de acero galvanizado ya que este presenta buena conducción para las ondas perjudiciales. La malla puede tener un reticulado de máximo 5 cm de lado, con alambre de 2,5 mm de diámetro. Una malla con estas dimensiones además de tener solides permite tener una buena visibilidad sobre los ensayos a realizar.
- Implementar la malla en el piso de concreto, descrita en el numeral 2.1.1 y conectarla con las láminas de las paredes.

### **2.2.2 Recomendaciones en la construcción de la jaula de Faraday**

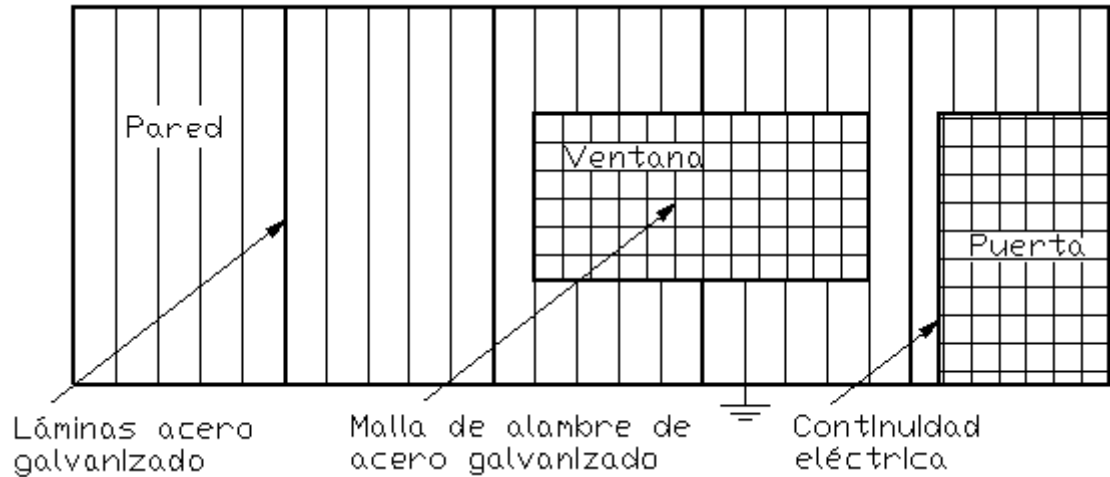
- Se deben realizar las uniones de las láminas para el apantallamiento de las paredes con las colas dejadas de la malla empotrada en el piso<sup>3</sup>
- Las láminas en las paredes se unen entre sí por remaches de acero PAA62 de 3/16” de diámetro y 3,2 mm, garantizando que exista continuidad eléctrica entre ellas y se aseguran a la pared mediante pernos de presión de 3/2”.
- Se debe garantizar la continuidad eléctrica y óhmica en toda la estructura o sea entre las láminas de las paredes y entre estas y las puertas, los marcos de las mallas de las ventanas, y la malla empotrada en el concreto del piso.
- La jaula de Faraday debe quedar unida al sistema de puesta a tierra del laboratorio.
- En los sitios donde la jaula de Faraday pueda ser atacada por la corrosión, debido a la humedad, o el contacto con el suelo, se debe cubrir con pintura anticorrosiva.
- “Para las ventanas ubicadas en el costado norte del área de alta tensión se recomienda cambiar totalmente el marco metálico, conectándolo apropiadamente al apantallamiento o suprimirlas con un muro que empalme con el que existe adyacente a las ventanas”.<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup> Ver numeral 2.1.1

<sup>4</sup> Cantor R. Jhon J., Ramírez A. Néstor J. tesis de grado Manual de seguridad en el laboratorio de alta tensión de la UIS.

Figura 4. Montaje de la jaula de Faraday



Fuente: Diseño del autor

En la siguiente tabla se resumen los materiales que se necesitan para el apantallamiento de la sala de alta tensión, los accesorios necesarios como remaches, pernos, están incluidos dentro del valor de las láminas.

Tabla 2. Resumen de materiales utilizados para el apantallamiento

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNID	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
<b>1.</b>	<b>APANTALLAMIENTO</b>				
1.1.	Lámina de acero galvanizado tipo teja galbalum	m <sup>2</sup>	100	23.800	2.380.000
1.2.	Estructura metálica tubo cuadrado	m	350	19.500	6.825.000
1.3.	Malla eslabonada	m <sup>2</sup>	35	28.000	980.000
1.4.	Marco en ángulo y platina para malla	Global	1	1.440.000	1.440.000
	SUMA				11.625.000
	IVA (16%)				1.860.000
	<b>TOTAL</b>				<b>13.485.000</b>

## 2.3 ILUMINACIÓN

Según el RETILAP en los lugares de trabajo se debe asegurar el cumplimiento de los niveles de iluminancia de la tabla 440.1<sup>5</sup> (Índice UGR máximo y Niveles de iluminancia exigibles para diferentes áreas y actividades) adaptados de la norma ISO 8995.

“El valor medio de iluminancia, relacionado en la citada tabla, debe considerarse como el objetivo de diseño.

En cualquier momento durante la vida útil del proyecto la medición de iluminancia promedio no podrá ser superior al valor máximo, ni inferior al valor mínimo establecido en la Tabla 440.1. En la misma tabla se encuentran los valores máximos permitidos para el deslumbramiento (UGR)<sup>6</sup>”.

**2.3.1 Iluminación del área de alta tensión.** Es importante tener en cuenta que un sistema de iluminación con fuentes de descarga, podría interferir con los equipos de medida y falsear los resultados, por interferencia de radiofrecuencia RFI y la interferencia electromagnética EMI que se puedan presentar, aunque en estudios realizados en laboratorios de alta tensión con lámparas de descarga en el techo y fluorescentes convencionales no se produjeron alteraciones en los resultados obtenidos en las medidas<sup>7</sup>. Los fabricantes recomiendan instalar las lámparas a una distancia mínima de 3 m de los equipos e instalar blindajes para radiofrecuencia y filtros de radio interferencia.

---

<sup>5</sup> Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público – RETILAP – Agosto 6 2009 resolución No 181331

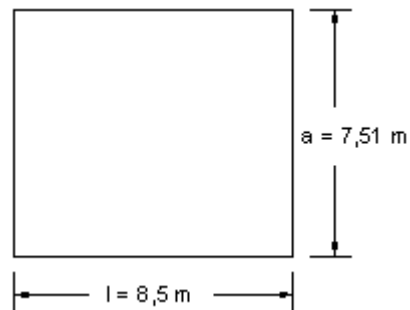
<sup>6</sup> *Ibíd.*

<sup>7</sup> CAVALLIUS Nils Hyltén, High Voltaje Laboratory Planning. Emile Haefely & Co Ltda., Basel / Switzerland 1986

**2.3.1.1 Valor de la iluminancia media  $E_m$  de diseño.** Según el RETILAP los valores de iluminancia para laboratorios aceptados son mínimo 300 lx, medio 500lx y máximo 750 lx, se debe considerar para el diseño el valor de 500 lx.

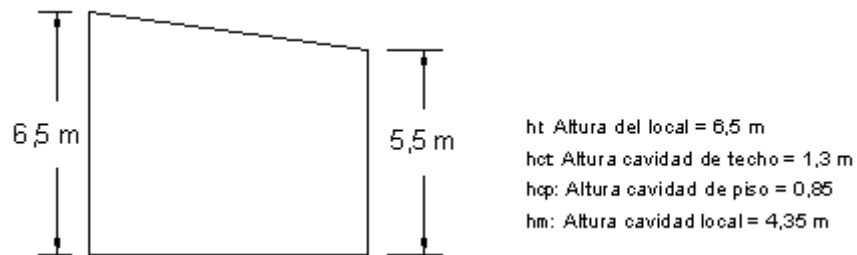
**2.3.1.2 Cálculo del índice local  $K$ .** Para el cálculo de los niveles de iluminación se tendrá en cuenta el volumen del LAT que se puede apreciar en las figuras 5 y 6.

Figura 5. Dimensiones del área de alta tensión



Fuente: Diseño del autor

Figura 6. Cavidad de piso, techo y pared



Fuente: diseño del autor

El índice del local  $K$ , se utiliza para caracterizar la geometría del espacio en el cálculo de la iluminación y esta dado por la siguiente expresión.

$$K = 5 h_m \frac{a+l}{a l} \tag{2.3.1}$$

Donde:

$h_m$  = Altura de la cavidad del local.

$a$  = Ancho del local.

$l$  = Longitud del local.

Evaluando la ecuación (2.3.1) para el salón de alta tensión cuyas dimensiones son: ancho  $a = 7,51$  m y largo  $l = 8,5$  m se obtiene un valor de  $K = 6,08$

**2.3.1.3 Cálculo de las reflectancias  $\rho$ .** Según el RETILAP la reflectancia de una superficie se define como la razón entre el flujo luminoso reflejado por la superficie y el flujo que incide sobre ella. Generalmente para las tablas de coeficiente de utilización se utiliza una reflexión de piso del 20% y se parametrizan los correspondientes a techo y paredes.

Tabla 3. Índice de reflexión

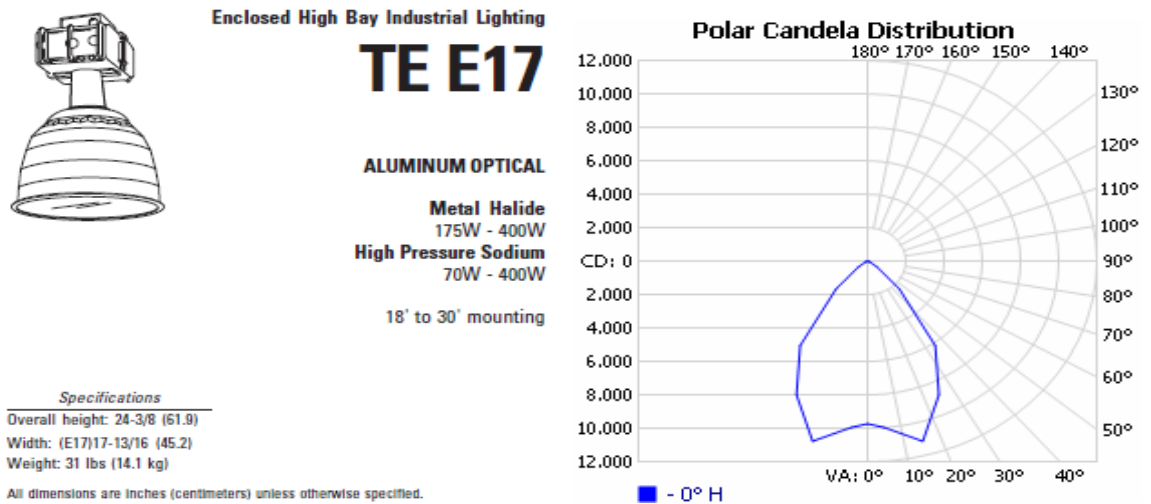
	COLOR	FACTOR DE REFLEXIÓN $\rho$
TECHO	BLANCO O MUY CLARO	0,7
	CLARO	0,5
	MEDIO	0,3
PAREDES	CLARO	0,5
	MEDIO	0,3
	OSCURO	0,1
SUELO	CLARO	0,3
	MEDIO	0,2
	OSCURO	0,1


Para el salón de alta tensión conservando el color del techo (color blanco)  $\rho_c = 0,7$ , Pared considerando un color claro  $\rho_w = 0,5$  y Piso medio claro  $\rho_f = 0,2$

**2.3.1.4 Tipo de luminaria.** El tipo de alumbrado a implementar en la sala de alta tensión es de tipo general directo el cual provee una iluminación uniforme, en todo el espacio, aunque conduce a un mayor uso de energía (menor al general indirecto), brinda un ambiente de aspecto amplio y ordenado.

Para el área de alta tensión se propone la instalación de luminarias con lámparas de halogenuros metálicos HID, referencia TE 200S E17C A cuyos datos técnicos se presentan en la figura 7, se escoge esta lámpara por que cumple con los requisitos luminotécnicos que requiere el laboratorio.

Figura 7. Datos técnicos de la luminaria para la sala de alta tensión



TEST #:	13443	 <a href="#">Product Page</a> <a href="#">Specification Sheet</a>
ISSUE DATE:	1/31/2008	
CATALOG #:	TE 200S E17 C (SC=1.1)	
LUMINAIRE:	ENCLOSED ALUMINUM OPTICAL, 200 HPS W/ CONCENTRATING DISTRIBUTION	
LAMP CAT #:	LU200	
LAMP:	ONE 200-WATT CLEAR BT-37 METAL HALIDE, VERTICAL BASE-UP POSITION.	
LAMP OUTPUT:	1 lamp(s), rated Lumens/lamp: 22000	
INPUT WATTAGE:	245	
LUMINOUS OPENING:	(L: 0ft, W: -1.4ft, H: 0ft)	
Efficiency:	67%	
TER Category:	Highbay, Nonlinear	
TER Value:	40	
CIE Class:	Direct	
Max Cd:	11,143.0 at Horizontal: 0°, Vertical: 15°	
Spacing Criterion	@ 0 = 1.13 @ 90 = 1.13	

Fuente: LITHONIA LIGHTING Catálogo de productos 2ª edición

La luminaria utiliza una lámpara de Metal Halide MASTER HPI-T Plus 250 W, E40 20500 lm<sup>8</sup>.

Figura 8. Datos técnicos de la lámpara seleccionada

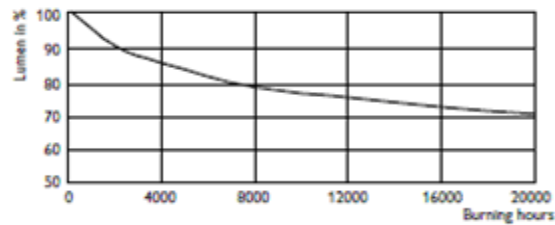
### Light data

Type	Luminous Flux Lamp EM (lm)	Luminous Efficacy Lamp EM (lm/W)	Colour Designation	Colour Temperature (K)	Colour Rendering Index (Ra)	Chromaticity Coordinate X	Chromaticity Coordinate Y	Operating Position
MASTER HPI-T Plus 250W/645 E40 SLV	20500	84	Cool White	4500	65	362	373	p20
MASTER HPI-T Plus 400W/645 E40 SLV	35000	89	Cool White	4500	65	362	370	p20

### Technical data

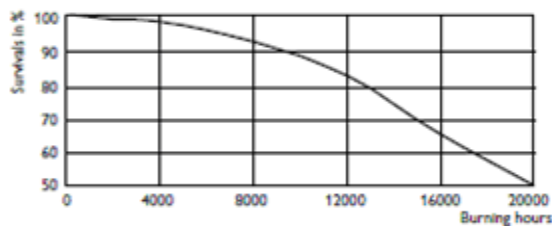
Type	Lamp Current EM (A)	Lamp Wattage EM (W)	Lamp Voltage (V)	Rated Lamp Wattage	Dimmable	Ignition Peak Voltage (V)	Ignition Supply Voltage (V)	Life to 50% failures (hrs)
MASTER HPI-T Plus 250W/645 E40 SLV	2.10	245	128	250	No	5000	198	20000
MASTER HPI-T Plus 400W/645 E40 SLV	3.4	382	125	400	No	5000	198	20000

### Lumen maintenance diagram



HPLT 250W/400W /643/645

### Life expectancy diagram



HPI-T 250W/400W /643/645

<sup>8</sup>[http://www.lighting.philips.com/es\\_es/tools\\_downloads/catalogos\\_folletos/index.php?main=es\\_es&parent=1&id=es\\_es\\_tols\\_downloads&lang=es](http://www.lighting.philips.com/es_es/tools_downloads/catalogos_folletos/index.php?main=es_es&parent=1&id=es_es_tols_downloads&lang=es).

Fuente: www.philips.com/OEM

**2.3.1.5 Coeficiente o factor de utilización de las luminarias.** Se halla según las reflectancias de superficie consideradas para el laboratorio y las tablas dadas por el fabricante de las luminarias en este caso Lithonia Lighting.

Tabla 4. Coeficientes de utilización de la luminaria TE 200S E17C

Coefficients Of Utilization - Zonal Cavity Method																		
Effective Floor Cavity Reflectance: 20%																		
RCC %:	80				70				50			30			10			0
RW %:	70	50	30	0	70	50	30	0	50	30	20	50	30	20	50	30	20	0
RCC: 0	.79	.79	.79	.79	.77	.77	.77	.67	.74	.74	.74	.71	.71	.71	.68	.68	.68	.67
1	.75	.73	.71	.69	.73	.72	.70	.61	.69	.67	.66	.66	.65	.64	.64	.63	.62	.61
2	.71	.67	.64	.61	.69	.66	.63	.56	.64	.61	.59	.62	.60	.58	.60	.58	.57	.56
3	.67	.62	.58	.55	.65	.61	.57	.52	.59	.56	.54	.57	.55	.53	.56	.54	.52	.51
4	.63	.57	.53	.50	.61	.56	.52	.47	.55	.51	.49	.53	.50	.48	.52	.50	.48	.46
5	.59	.53	.48	.45	.58	.52	.48	.43	.51	.47	.44	.50	.46	.44	.48	.46	.44	.42
6	.55	.49	.44	.41	.54	.48	.44	.40	.47	.43	.41	.46	.43	.40	.45	.42	.40	.39
7	.52	.45	.41	.38	.51	.45	.41	.37	.44	.40	.37	.43	.40	.37	.42	.39	.37	.36
8	.49	.42	.38	.35	.48	.42	.38	.34	.41	.37	.34	.40	.37	.34	.40	.36	.34	.33
9	.47	.39	.35	.32	.46	.39	.35	.32	.38	.35	.32	.38	.34	.32	.37	.34	.32	.31
10	.44	.37	.33	.30	.43	.37	.32	.29	.36	.32	.30	.35	.32	.29	.35	.32	.29	.28

Fuente: LITHONIA LIGHTING Catálogo de productos 2ª edición

El valor del factor de utilización se obtiene por interpolación lineal de la tabla anterior de coeficientes de utilización,  $CU = 0,48$

**2.3.1.6 Factor de mantenimiento.** El Factor de Mantenimiento ( $F_M$ ) desde el punto de vista de diseño de iluminación de la instalación, se puede considerar como el sobre dimensionamiento que se debe considerar en los valores iniciales de iluminancia horizontal de la edificación, para poder cumplir con los valores de iluminancia promedio horizontal mínimo mantenidos durante su funcionamiento”.

El factor de mantenimiento depende del ambiente y del mantenimiento realizado en la instalación, del tipo de lámpara y luminaria utilizada, según el RETILAP el factor de mantenimiento está determinado por:

$$F_M = F_E DLB F_b \quad (2.3.2)$$

En donde:

$F_M$  = Factor de mantenimiento de la instalación.

$F_E$  = Depreciación de la luminaria por ensuciamiento.

$DLB$  = depreciación por descendimiento del flujo luminoso de la bombilla.

$F_b$  = Factor de balasto.

El factor de depreciación de la luminaria por ensuciamiento  $F_E$ , se obtiene de la tabla 720.2.5 D) (Factores de ensuciamiento de las Luminarias, según el nivel de polución, índice de hermeticidad y el período de limpieza utilizado) del RETILAP, para el caso de la luminaria escogida  $F_E = 0,9$

La depreciación por descendimiento del flujo luminoso de la lámpara  $DLB$ , según la curva suministrada por el fabricante, para una vida útil de 12000 horas es:  
 $DLB = 0,76$

El factor de balasto  $F_b$  se define como la relación entre el flujo luminoso de la bombilla funcionando con el balasto de producción y el flujo luminoso de la misma bombilla funcionando con el balasto de referencia.

Para las bombillas de descarga de alta intensidad (HID) este factor de balasto, todavía no se encuentra normalizado<sup>9</sup>. No obstante, bajo la consideración que el balasto debe garantizar las condiciones nominales de funcionamiento de la bombilla se podrá aproximar tal factor a 1 para dar confiabilidad al diseño tomamos un valor de 0,95.

---

<sup>9</sup> RETILAP, numeral 720.2.6 Factor de balasto (FB), pagina 220.

Aplicando la formula (2.3.2) se obtiene un factor de mantenimiento  $F_M = 0,65$

**2.3.1.7 Cálculo del flujo luminoso necesario.** El flujo luminoso se define como la cantidad de luz emitida por una fuente luminosa en todas las direcciones por unidad de tiempo, su unidad es el lumen.

Según el RETILAP el flujo luminoso total necesario para producir una iluminancia promedio requerida se calcula así:

$$\Phi_T = \frac{E_M S}{F_M CU} \quad (2.3.3)$$

$E_m$  = Iluminancia media.

$S$  = Área en  $m^2$

$F_M$  = Factor de mantenimiento

$CU$  = Coeficiente de utilización

Desarrollando la ecuación (2.3.3) se halla un flujo luminoso  $\Phi_T = 102300lm$

**2.3.1.8 Cálculo del mínimo número de luminarias necesarias (N).** Para el cálculo del mínimo número de luminarias  $N$ , se tiene en cuenta el flujo luminoso total, el número de lámparas por luminaria, y el flujo de cada lámpara.

$$N = \frac{\Phi_T}{n \Phi_L} \quad (2.3.4)$$

Donde:

$\Phi_T$  = Flujo total requerido.

$\Phi_L$  = Flujo luminoso de una lámpara.

$n$  = número de bombillas por luminaria.

Desarrollando la ecuación (2.3.4) el número total de luminarias requerido es  $N = 4,99$  Luminarias, luego se deben instalar 6 luminarias en el área de alta tensión para garantizar uniformidad en la iluminación.

**2.3.1.9 Cálculo de la iluminancia promedio.** Para comprobar los resultados se puede utilizar la fórmula para calcular la iluminancia promedio, aunque por lo general se usa para estimar el número de luminarias a instalar de acuerdo con un nivel de iluminancia requerido:

$$E_m = \frac{N n \Phi_L CU F_M}{S} \geq E_{TABLAS} \quad (2.3.5)$$

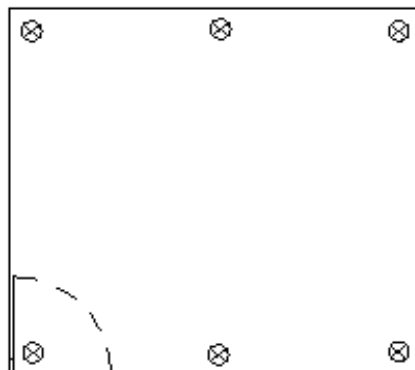
$$E_m = \frac{(6)(20500)(0,48)(0,65)}{(7,51)(8,5)}$$

$$E_m = 601 \text{ lx} \geq 500 \text{ lx}$$

El valor de la iluminancia promedio da mayor que el valor de las tablas de referencia de RETILAP lo que indica que los cálculos realizados cumplen con los requisitos de iluminancia requerida para la sala de alta tensión.

**2.3.1.10 Emplazamiento de las luminarias.** Las luminarias en el área de alta tensión se ubicarán a una altura de 5,5 m, en cada una de las esquinas y en el centro de las paredes más largas, como se muestra en la figura 9, a una distancia de 20 centímetros de la pared, aprovechando el cableado de las luminarias existentes.

Figura 9. Emplazamiento de las luminarias



Fuente: diseño del autor

### 2.3.1.11 Cálculo del valor de eficiencia energética de la instalación VEEI.

Según el RETILAP la eficiencia energética de una instalación de iluminación de una zona, se evaluará mediante el indicador denominado Valor de Eficiencia Energética de la instalación VEEI expresado en ( $W/m^2$ ) por cada 100 luxes, mediante la siguiente expresión:

$$VEEI = \frac{100 P}{S E_m} \quad (2.3.5)$$

Donde:

$P$  = Potencia total instalada en las bombillas más los equipos auxiliares, incluyendo sus pérdidas [W]

$S$  = Superficie iluminada [ $m^2$ ]

$E_m$  = iluminancia promedio horizontal mantenida [lx]

Reemplazando los valores de potencia, área iluminada e iluminancia en la ecuación (2.3.5) se obtiene el valor de eficiencia energética.

$$VEEI = 3,83 W/m^2 /100 lx$$

Según la tabla 440.3 del RETILAP, donde se indican los Valores Límite de Eficiencia Energética de la Instalación (VEEI) que deben cumplir los recintos interiores de las edificaciones, el valor límite para laboratorios es de 4,0

**2.3.1.12 Cálculo del Índice de deslumbramiento unificado (UGR).** Es el índice de deslumbramiento molesto procedente directamente de las luminarias de una instalación de iluminación interior, según el RETILAP en los cálculos se debe presentar el índice deslumbramiento unificado UGR para el observador.

Según la tabla 440.1 del RETILAP el valor de UGR máximo para laboratorios es de 19.

Según cálculos realizados con DIALux 4.4 no se presenta deslumbramiento ya que los valores obtenidos están por debajo del valor de referencia máximo permitido.

**2.3.2 Iluminación para el almacén.** El tipo de alumbrado a implementar en el almacén es de tipo general directo, utilizando luminarias con tubos fluorescentes T8 y balastro de encendido rápido, que ofrece algunas ventajas, sobre otro tipo de luminarias.<sup>10,11</sup>

**2.3.2.1 Valor de la iluminancia media  $E_m$  de diseño.** Se debe cumplir con lo estipulado en el RETILAP para almacenes, bodegas mínimo 100 lx, medio 150 lx, máximo 200 lx. Donde valor medio de iluminancia debe considerarse como el objetivo de diseño 150 lx.

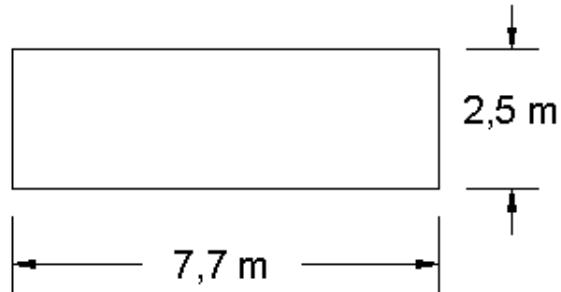
**2.3.2.2 Cálculo del índice local K.** Para el cálculo de los niveles de iluminación se tendrá en cuenta el volumen del LAT que se puede apreciar en las figuras 10 y 11.

---

<sup>10</sup> MINMINAS. Proyecto: reglamento técnico de iluminación y alumbrado público Anexo: fundamentos sobre la luz, la visión y las fuentes luminosas PDF.

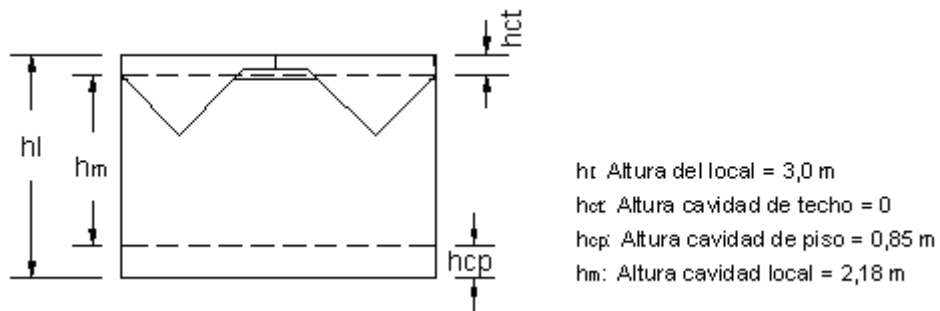
<sup>11</sup> [http://www.sylvania.com.ar/docs/sylvania%. Catalogo Silvana.](http://www.sylvania.com.ar/docs/sylvania%20Catalogo%20Silvana.pdf)

Figura 10. Dimensiones de la bodega



Fuente: diseño del autor

Figura 11. Cavity de piso, techo y pared



Fuente: diseño del autor

Las dimensiones contempladas para el almacén son: ancho  $a = 2,5$  m, y largo  $l = 7,7$  m.

Utilizando la ecuación (2.3.1) y reemplazando los valores se tiene que el índice local para la bodega es  $K = 5,77$

**2.3.2.3 Cálculo de las reflectancias  $\rho$ .** Utilizando la tabla 1 se tienen las siguientes reflectancias para el almacén conservando el color del techo (color blanco)  $\rho_C = 0,7$


Pared color claro  $\rho_W = 0,5$

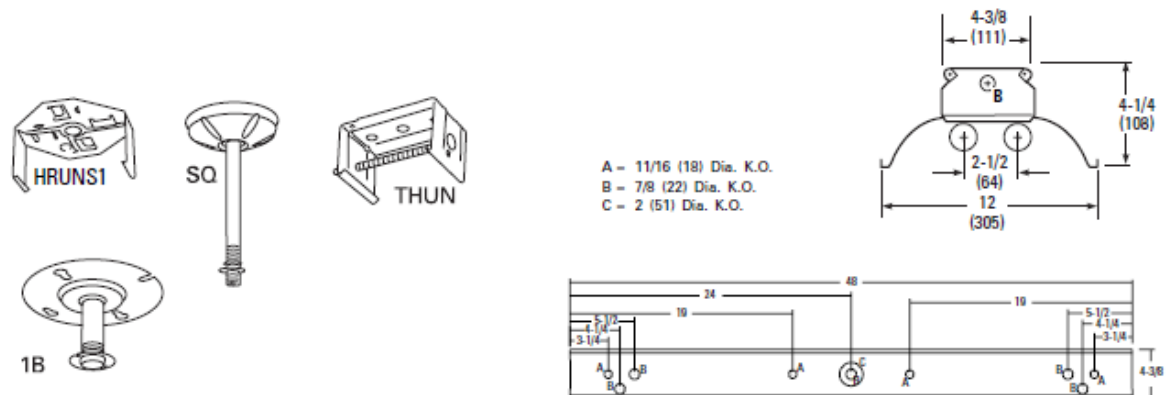
Piso medio claro  $\rho_F = 0,2$

**2.3.2.4 Luminaria seleccionada para el almacén.** Entre las aplicaciones más frecuentes de los tubos fluorescentes están la iluminación comercial de almacenes, oficinas, supermercados, áreas industriales, aulas y laboratorios, con altura máxima de instalación de 5 m, por la excelente fidelidad cromática y alta eficacia.

La luminaria escogida para el almacén es de tipo industrial para uso general marca Lithonia Lighting EJ 2 32 MVOLT GEB10IS<sup>12</sup>.

Figura 12. Características de la luminaria

TEST #:	LTL5747	 <p><a href="#">Product Page</a> <a href="#">Specification Sheet</a></p>
CATALOG #:	EJ 2 32 MVOLT GEB10IS	
LUMINAIRE:	GENERAL PURPOSE INDUSTRIAL 12" X 4' 2 LAMP T8 ELEC	
LAMP:	TWO 32-WATT T8 LINEAR FLUORESCENT.	
LAMP OUTPUT:	2 lamp(s), rated Lumens/lamp: 2900	
BALLAST:	BF: .93	
INPUT WATTAGE:	58	
LUMINOUS OPENING:	Rectangle (L: 4ft, W: 0.98ft)	
Efficiency:	87%	
TER Category:	Linear Industrial	
TER Value:	56	
CIE Class:	Direct	
Max Cd:	1,493.0 at Horizontal: 90°, Vertical: 10°	
Spacing Criterion	@ 0 = 1.26 @ 90 = 1.5	



Fuente: LITHONIA LIGHTING Catálogo de productos 2ª edición.

<sup>12</sup> LITHONIA LIGHTING Catálogo de productos 2ª edición.

La luminaria utiliza dos tubos fluorescentes T8 de 32 W, las lámparas pueden ser marca philips referencia MASTER TL-D Eco 32W/865 con 2850 o 3000 lm<sup>13</sup>. También se puede utilizar lámpara SYLVANIA referencia FO32 T8, 32 W.<sup>14</sup>

Para los cálculos se utilizará la lámpara marca Phillips:

Figura 13. Datos de la lámpara Phillips

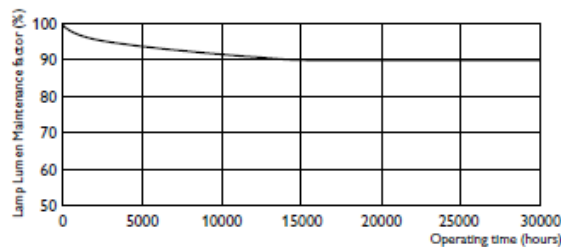
### Technical data

Type	Lamp Voltage EM (V)	Lamp Current EM (A)	Lamp Wattage EM (W)	Rated Lamp Wattage	Energy Efficiency Label	Dimmable	Life to 10% failures Preheat EL (hrs)	Life to 50% failures Preheat EL (hrs)
MASTER TL-D Eco 32W	92	0.448	32.2	32	A	Yes	17000	20000
MASTER TL-D Eco 51W	95	0.700	51.4	51	A	Yes	17000	20000

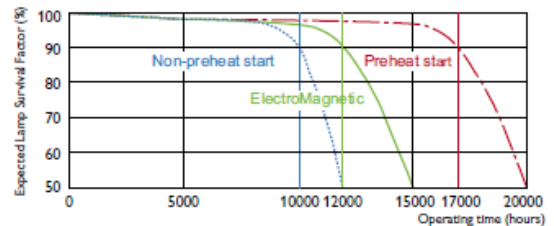
### Light data

Type	Luminous Flux EM lamp at 30°C (lm)	Colour Designation	Colour Temperature (K)	Colour Rendering Index (Ra)	Chromaticity Coordinate X	Chromaticity Coordinate Y
MASTER TL-D Eco 32W/830	3000	Warm White	3000	85	440	410
MASTER TL-D Eco 32W/840	3000	Cool White	4000	85	381	379
MASTER TL-D Eco 32W/865	2850	Cool Daylight	6500	85	316	340

### Lumen maintenance diagram



### Life expectancy diagram



TL-D

Life Expectancy 3h cycle

Fuente: [www.philips.com/OEM](http://www.philips.com/OEM)

<sup>13</sup>[http://www.lighting.philips.com/es\\_es/tools\\_downloads/catalogos\\_folletos/index.php?main=es\\_es&parent=1&id=es\\_es\\_tols\\_downloads&lang=es](http://www.lighting.philips.com/es_es/tools_downloads/catalogos_folletos/index.php?main=es_es&parent=1&id=es_es_tols_downloads&lang=es)

<sup>14</sup> [http://www.sylvania.com.ar/docs/sylvania%](http://www.sylvania.com.ar/docs/sylvania%20)

**2.3.2.5 Coeficiente o factor de utilización de las luminarias.** Se halla según las reflectancias de superficie consideradas para el laboratorio y las tablas dadas por el fabricante de las luminarias en este caso Lithonia Lighting.

Tabla 5: Coeficiente o factor de utilización de la luminaria EJ 2 32 MVOLT

Coefficients Of Utilization - Zonal Cavity Method																		
Effective Floor Cavity Reflectance: 20%																		
RCC %:	80				70				50			30			10			0
RW %:	70	50	30	0	70	50	30	0	50	30	20	50	30	20	50	30	20	0
RCR: 0	1.04	1.04	1.04	1.04	1.02	1.02	1.02	.87	.97	.97	.97	.93	.93	.93	.89	.89	.89	.87
1	.95	.90	.86	.83	.92	.88	.85	.73	.85	.82	.79	.81	.79	.77	.78	.76	.74	.72
2	.86	.78	.72	.67	.83	.76	.71	.61	.73	.68	.64	.70	.66	.63	.68	.64	.61	.59
3	.78	.68	.60	.55	.75	.67	.60	.51	.64	.58	.53	.61	.56	.52	.59	.55	.51	.49
4	.71	.60	.52	.46	.69	.59	.51	.43	.56	.50	.45	.54	.49	.44	.52	.47	.43	.41
5	.65	.53	.45	.39	.63	.52	.44	.37	.50	.43	.38	.48	.42	.38	.47	.41	.37	.35
6	.60	.47	.39	.33	.58	.47	.39	.32	.45	.38	.33	.43	.37	.33	.42	.37	.32	.30
7	.55	.43	.35	.29	.53	.42	.35	.28	.41	.34	.29	.39	.33	.29	.38	.33	.28	.27
8	.51	.39	.31	.26	.50	.38	.31	.25	.37	.30	.26	.36	.30	.25	.35	.29	.25	.24
9	.48	.36	.28	.23	.46	.35	.28	.23	.34	.27	.23	.33	.27	.23	.32	.27	.23	.21
10	.45	.33	.26	.21	.43	.32	.25	.20	.31	.25	.21	.30	.25	.21	.30	.24	.20	.19

Fuente: LITHONIA LIGHTING Catálogo de productos 2ª edición

El valor del factor de utilización se obtiene por interpolación lineal de la tabla anterior de coeficientes de utilización  $CU = 0,48$

**2.3.2.6 Factor de mantenimiento.** El factor de mantenimiento al igual que en el caso de la sala de alta tensión esta dado por la ecuación (2.3.2).

$$F_M = F_E DLB F_b$$

El factor de depreciación de la luminaria por ensuciamiento  $F_E$ , se obtiene de la tabla 720.2.5 D) para el caso de la luminaria escogida  $F_E = 0,9$

La depreciación por descendimiento del flujo luminoso de la bombilla DLB, según la curva suministrada por el fabricante, para una vida útil de 15000 horas es  $DLB = 0,9$

El factor de balasto  $F_b$  mínimo exigido, para balasto electrónico de lámparas fluorescentes, a la entrada en vigencia del RETILAP es de 0,75, luego de 36 meses será de 0,85 y a los 48 meses de 0,95<sup>15</sup>.

El factor de balasto suministrado por el fabricante es  $F_b = 0,93$

Aplicando la formula se obtiene un factor de mantenimiento  $F_M = 0,75$

### 2.3.2.7 Cálculo del flujo luminoso necesario

$$\Phi_T = \frac{E_m * S}{F_M * CU}$$

Aplicando la ecuación (2.3.3) con sus correspondientes valores se obtiene que el flujo luminoso necesario para la bodega  $\Phi_T = 8021lm$

### 2.3.2.8 Cálculo del mínimo número de luminarias necesarias (N)

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

Según la ecuación (2.3.4) para dos lámparas por luminaria se necesitan  $N = 1,3$  luminarias, por lo que se deben instalar 2 luminarias en el almacén.

**2.3.2.9 Cálculo de la iluminancia promedio.** Utilizando la ecuación (2.3.5) verificamos los datos obtenidos.

$$E_m = \left( n \Phi_L CU F_M \right) S \geq E_{TABLAS}$$

$$E_m = 216,9 lx \geq 150 lx$$

---

<sup>15</sup> RETILAP, 23.1.1. Balastos para bombillas fluorescentes

La iluminancia promedio dio mayor que la iluminancia de referencia de las tablas del RETILAP por lo que se consideran favorables los cálculos realizados.

### 2.3.2.10 Emplazamiento de las luminarias

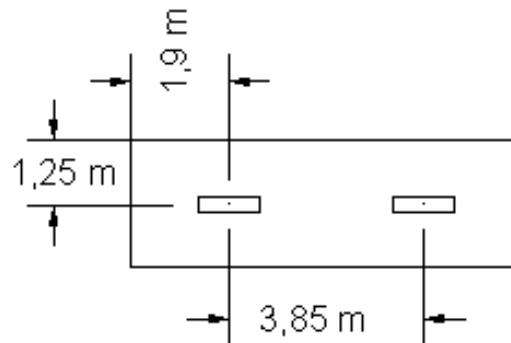
a. A lo largo

- Separación entre luminarias  $7,7/2 = 3,85\text{ m}$
- Separación a la pared  $3,85/2 = 1,925\text{ m}$

b. A lo ancho

- Separación a la pared  $2,5/2 = 1,25\text{ m}$

Figura 14. Emplazamiento de las luminarias



Fuente: diseño del autor

### 2.3.2.11 Cálculo del valor de eficiencia energética de la instalación VIEE

$$VEEI = \frac{100 P}{S E_m}$$

Reemplazando los valores de potencia, área iluminada e iluminancia en la ecuación (2.3.5) se obtiene el valor de eficiencia energética

$$VEEI = 2,6\text{ W/m}^2 / 100\text{ lx}$$

Según la tabla 440.3 del RETILAP, donde se indican los Valores Límite de Eficiencia Energética de la Instalación (VEEI) que deben cumplir los recintos interiores de las edificaciones, el valor límite para almacenes es de 5

**2.3.2.12 Cálculo del Índice de deslumbramiento unificado (UGR).** Según la tabla 440.1 del RETILAP el valor de UGR máximo para almacenes, bodegas es de 25

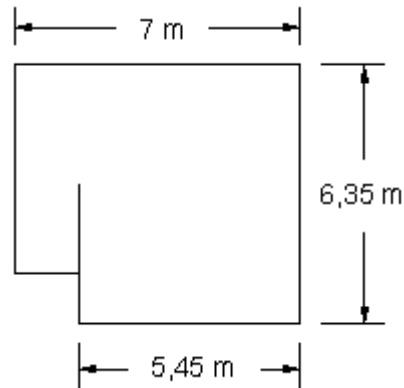
Según cálculos realizados con DIALux 4.4 se presenta deslumbramiento menor a 25, luego el diseño cumple con el requisito UGR.

**2.3.3 Iluminación sala de control.** El tipo de alumbrado a implementar en la sala de control es de tipo general directo, utilizando el mismo tipo de luminarias utilizado en el almacén.

**2.3.3.1 Valor de la iluminancia media  $E_m$  de diseño.** Se debe cumplir con lo estipulado en el RETILAP para laboratorios mínimo 300 lx, medio 500 lx, máximo 750 lx, la iluminancia de diseño es de 500 lx.

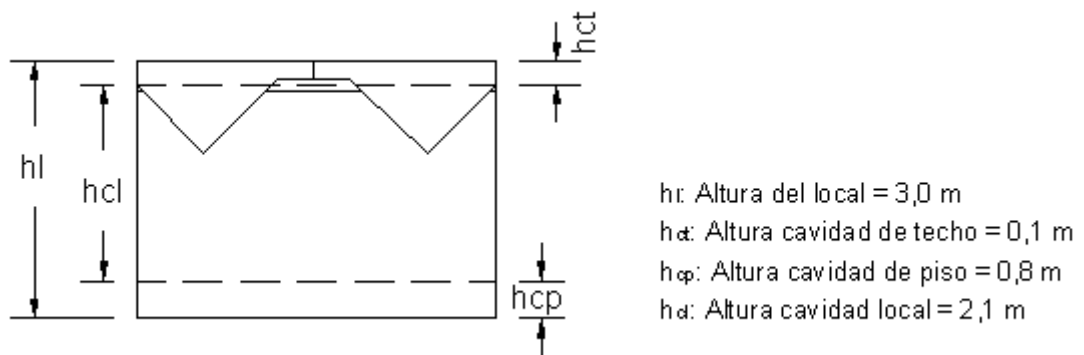
**2.3.3.2 Cálculo del índice local K.** Se procederá igual que en el almacén y la sala de alta tensión

Figura 15. Dimensiones de la sala de control



Fuente: diseño del autor

Figura 16. Cavity de piso, techo y pared



Fuente: diseño del autor

Según la ecuación (2.3.1) el índice del local es  $K = 3,58$

**2.3.3.3 Cálculo de las reflectancias  $\rho$ .** Para el cuarto de control conservando el color se tiene: techo (color blanco)  $\rho_C = 0,7$ , Pared color claro  $\rho_W = 0,5$  y Piso medio claro  $\rho_F = 0,2$ .

**2.3.3.4 Tipo de luminaria.** Se recomienda la utilización del mismo tipo de luminaria usada para el almacén.

Luminaria tipo industrial para uso general marca Lithonia Lighting EJ 2 32 MVOLT GEB10IS.

**2.3.3.5 Coeficiente o factor de utilización de las luminarias.** Se halla según las reflectancias de superficie consideradas para la sala de control y las tablas dadas por el fabricante de las luminarias.

Tabla 6: Coeficiente o factor de utilización de la luminaria EJ 2 32 MVOLT

Coefficients Of Utilization - Zonal Cavity Method																		
Effective Floor Cavity Reflectance: 20%																		
RCC %:	80				70				50			30			10			0
RW %:	70	50	30	0	70	50	30	0	50	30	20	50	30	20	50	30	20	0
RCR: 0	1.04	1.04	1.04	1.04	1.02	1.02	1.02	.87	.97	.97	.97	.93	.93	.93	.89	.89	.89	.87
1	.95	.90	.86	.83	.92	.88	.85	.73	.85	.82	.79	.81	.79	.77	.78	.76	.74	.72
2	.86	.78	.72	.67	.83	.76	.71	.61	.73	.68	.64	.70	.66	.63	.68	.64	.61	.59
3	.78	.68	.60	.55	.75	.67	.60	.51	.64	.58	.53	.61	.56	.52	.59	.55	.51	.49
4	.71	.60	.52	.46	.69	.59	.51	.43	.56	.50	.45	.54	.49	.44	.52	.47	.43	.41
5	.65	.53	.45	.39	.63	.52	.44	.37	.50	.43	.38	.48	.42	.38	.47	.41	.37	.35
6	.60	.47	.39	.33	.58	.47	.39	.32	.45	.38	.33	.43	.37	.33	.42	.37	.32	.30
7	.55	.43	.35	.29	.53	.42	.35	.28	.41	.34	.29	.39	.33	.29	.38	.33	.28	.27
8	.51	.39	.31	.26	.50	.38	.31	.25	.37	.30	.26	.36	.30	.25	.35	.29	.25	.24
9	.48	.36	.28	.23	.46	.35	.28	.23	.34	.27	.23	.33	.27	.23	.32	.27	.23	.21
10	.45	.33	.26	.21	.43	.32	.25	.20	.31	.25	.21	.30	.25	.21	.30	.24	.20	.19

Fuente: LITHONIA LIGHTING Catálogo de productos 2ª edición

El factor de utilización hallado es  $CU = 0,623$

**2.3.3.6 Factor de mantenimiento.** Los factores de depreciación, y de balasto al igual que la depreciación del flujo luminoso de la bombilla, corresponden a los mismos valores hallados para el almacén:

$$F_E = 0,9$$

$$F_b = 0,93$$

$$DLB = 0,9$$

Luego el factor de mantenimiento será de  $F_M = 0,75$

### 2.3.3.7 Cálculo del flujo luminoso necesario

$$\Phi_T = \frac{E_m S}{F_M CU}$$

$$\Phi_T = \frac{600 \cdot 6,35 \cdot 6,45}{0,75 \cdot 0,623}$$

$$\Phi_T = 37033lm$$

### 2.3.3.8 Cálculo del mínimo número de luminarias necesarias (N)

$$N = \frac{\Phi_T}{n \Phi_l}$$

$N = 6,17$  Luminarias, luego se deben instalar 6 luminarias en la sala de control.

### 2.3.3.9 Cálculo de la iluminancia promedio

$$E_m = \frac{N \Phi_L CU F_M}{S} \geq E_{TABLAS}$$

$$E_m = \frac{6 \cdot 400 \cdot 0,623 \cdot 0,75}{6,35 \cdot 6,45}$$

$$E_m = 518lx \geq 500lx \text{ de la tabla (RETIE)}$$

### 2.3.3.10 Emplazamiento de las luminarias

a. A lo largo

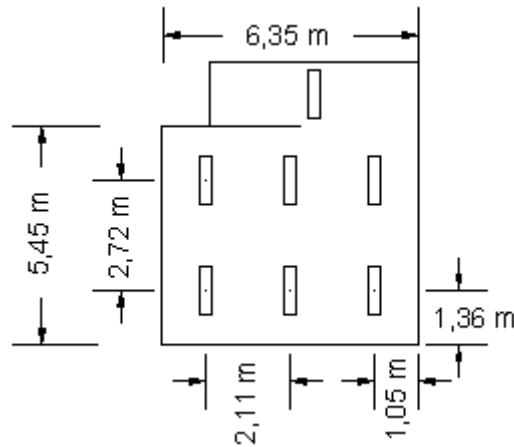
- Separación entre luminarias  $6,35/3 = 2,1167m$
- Separación a la pared  $2,1167/2 = 1,058m$

b. A lo ancho

- Separación entre luminarias  $5,45/2 = 2,725m$
- Separación a la pared  $2,725/2 = 1,3625m$

La luminaria que se encuentra en el pasillo se puede dejar ubicada en el lugar actual, aunque se recomienda cambiarla por una luminaria de igual referencia a las calculadas para la sala de control.

Figura 17. Emplazamiento de las luminarias



Fuente: diseño del autor

### 2.3.3.11 Cálculo del valor de eficiencia energética de la instalación VIEE

$$VEEI = \frac{100 P}{S E_m}$$

Reemplazando los valores de potencia, área iluminada e iluminancia en la ecuación (2.3.5) se obtiene el valor de eficiencia energética  $VEEI = 2,22$

Según la tabla 440.3 del RETILAP, donde se indican los Valores Límite de Eficiencia Energética de la Instalación (VEEI) que deben cumplir los recintos interiores de las edificaciones, el valor límite para la sala de control del laboratorio es de 4,0.

**2.3.3.12 Cálculo del Índice de deslumbramiento unificado (UGR).** Según la tabla 440.1 del RETILAP el valor de UGR máximo para laboratorios, es de 19.

Según cálculos realizados con DIALux 4.4 se presenta deslumbramiento menor a 19, luego el diseño cumple con el requisito UGR.

#### 2.3.4 Aspectos a considerar

- Los productos utilizados que estén contemplados en la Tabla 110-3.1 del RETILAP deben demostrar su conformidad con este reglamento, mediante un certificado de producto.
- Las luminarias de descarga para la sala de alta tensión se deben inclinar hacia el centro de la sala unos 10° para obtener los niveles de iluminancia requeridos, una mayor inclinación podría afectar a la lámpara en su vida útil ya que estas vienen diseñadas para trabajar en posición vertical.
- Las luminarias de la sala de alta tensión, como las de la sala de control deben distribuirse respectivamente en dos circuitos, que permita el control de la iluminación, para el ahorro de energía, cuando se disponga de la iluminación natural.

A continuación se describe la lista de materiales más representativos para la iluminación de la sala de alta tensión, el almacén de equipos y la sala de control del laboratorio de alta tensión

Tabla 7. Resumen materiales utilizados en la iluminación.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNID	CANT	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
<b>1.</b>	<b>ILUMINACIÓN</b>				
1.1.	Lámpara industrial completa 2 x 32 T8	Un	8	75.500	604.000
1.2.	Lámpara HID de Halogenuros metálicos 200S E17S	TE Un	6	318.990	1.913.400
	SUMA				2.517.400
	IVA (16 %)				402.784
	<b>TOTAL</b>				<b>2.920.184</b>

## 2.4 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

Toda instalación eléctrica, con muy pocas excepciones debe disponer de un sistema de puesta a tierra (SPT), de tal forma que en cualquier punto del interior o exterior, normalmente accesible a personas que puedan transitar o permanecer allí, no estén sometidas a tensiones de paso, de contacto o transferidas, que superen los umbrales de soportabilidad del ser humano cuando se presente una falla.

Los puntos a tener en cuenta en un sistema de puesta a tierra son:

- a. la seguridad de las personas
- b. la protección de las instalaciones
- c. la compatibilidad electromagnética.

Las funciones de un sistema de puesta a tierra son:

- a. Garantizar condiciones de seguridad a los seres vivos.
- b. Permitir a los equipos de protección despejar rápidamente las fallas.
- c. Servir de referencia común al sistema eléctrico.
- d. Conducir y disipar con suficiente capacidad las corrientes de falla, originadas en el LAT.
- e. Realizar una conexión de baja resistencia con la tierra y con puntos de referencia de los equipos.

Las conexiones se realizan por cables de baja inductancia, o por cintas de cobre que pueden ser de 100 x 0,6 mm, las cuales conectan todos los componentes del circuito de alta tensión que tienen que ser puestos a tierra, con una sola toma de tierra.

Las conexiones de tierra tienen que ser realizadas sin puenteo. También la superficie de blindaje, los objetos de prueba y los instrumentos de medición tienen que ser conectados al mismo punto de puesta a tierra, situado dentro de la red de seguridad.<sup>16</sup>

La resistencia de puesta a tierra debe ser inferior a  $1\Omega$ .

Las mediciones realizadas de la resistencia de la malla de tierra del LAT es de aproximadamente  $7\Omega$ ,<sup>17</sup> lo cual no cumple con las normas (NTC2050, IEEE.std 80). Considerando el tiempo de servicio del SPT actual y su valor de medición se recomienda la construcción de una nueva malla de puesta a tierra.

A continuación se describen los elementos a tener en cuenta para el diseño del nuevo sistema de puesta a tierra para el LAT.

**2.4.1 Máxima corriente de falla.** La máxima corriente de falla  $I_G$  debe considerar la peor falla en el sistema y está dada por la ecuación

$$I_G = K D_f I \quad (2.4.1)$$

Donde:

$I_G$  = Corriente máxima de falla, incluye la componente dc, [A].

$I$  = Corriente máxima simétrica.

$D_f$  = Factor de decremento debido al tiempo de despeje de la falla en [s].

$K$  = Factor correctivo de proyección para el incremento relativo de la corriente de falla durante el período de vida del laboratorio.

---

<sup>16</sup> HV 9000 Juego Modular de Entrenamiento de Alta Tensión <http://www.terco.se>

<sup>17</sup> Cantor R. Jhon J., Ramírez A. Néstor J. tesis de grado Manual de seguridad en el laboratorio de alta tensión de la UIS.

Para esta propuesta se tiene en cuenta la futura construcción de una sala, un segundo piso sobre la bodega, que podría utilizarse para el laboratorio de pruebas de aceites dieléctricos. Pero no se contempla una expansión en cuanto a equipos que manejen un nivel de tensión superior a los existentes ya que el nivel de tensión de los equipos del LAT es comparativamente alto para las pruebas realizadas.

**2.4.1.1 Cálculo de la máxima corriente a ser disipada I.** Para el cálculo de la máxima corriente de falla  $I$  a ser disipada y que servirá para el diseño del SPT, se tendrá en cuenta la corriente generada durante los ensayos realizados en el LAT, principalmente por los equipos como el generador de impulsos, el chispómetro para las pruebas en aceite dieléctrico y la corriente de falla para el transformador de tensión alterna

- **Chispómetro**

El chispómetro usado para la determinación de la tensión de ruptura dieléctrica en líquidos aislantes, dispone de un transformador que según las normas NTC 2975 y NTC 3218, debe tener una corriente de cortocircuito, en donde en el circuito bajo ensayo está este en el intervalo de 1 mA/kV a 10 mA/kV de la tensión aplicada. Para efectos de diseño esta corriente no es apreciable.

- **Generador de impulsos**

El laboratorio cuenta con un generador de ondas de impulsos de tensión marca HAEFELY SGS 800/20. Consta de 8 etapas, que pueden generar las formas de onda para las pruebas de impulso atmosférico 1,2/50  $\mu$ s, y ondas para impulso tipo maniobra 250/2500  $\mu$ s con polaridades positivas como negativas.

Este equipo puede generar ondas de impulso del orden de magnitud entre los 10 kV y los 800 kV con una energía almacenada de hasta 20 kJ.

Cada etapa tiene una capacidad de 500 nF y puede generar ondas de impulso de hasta 100 kV y almacenar una energía de 2,5 kJ.

La energía del generador se puede estimar de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$W = \frac{1}{2} n C_1 V_0^2 \quad (2.4.2)$$

Donde:

$W$  = Energía del generador de impulsos

$C_1$  = Capacitancia por etapa

$V_0$  = Tensión por etapa

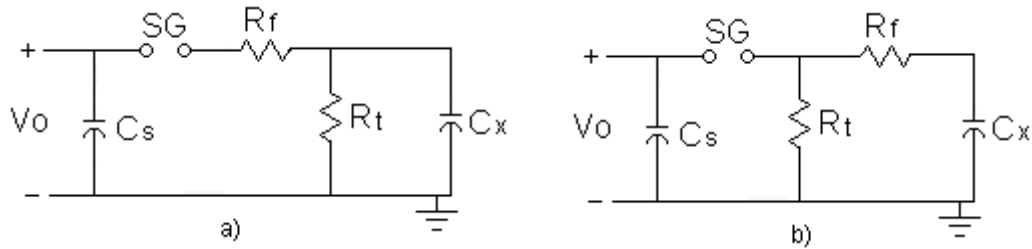
$n$  = Número de etapas

La energía almacenada en los condensadores del generador en un determinado instante de tiempo  $w(t)$ , se puede estimar integrando la potencia instantánea  $p(t)$ , donde  $p(t)$  es el producto entre la tensión  $v(t)$  y la corriente  $i(t)$  del generador.

$$w(t) = \int_0^t p(t) dt \quad (2.4.3)$$

La figura 18 muestra el esquema eléctrico general del generador de impulsos, la cual se analizará para obtener una expresión para la corriente y así hallar la máxima corriente que se puede generar.

Figura 18. Esquema del generador de impulsos



Fuente: Rugeles J. J. Conceptos básicos en la técnica de la alta tensión

Con  $C_s$  cargado por una tensión continua, el proceso de descarga se inicia en el instante en cual se establece entre las esferas del espinterómetro SG un arco eléctrico y la tensión se transfiere a  $C_x$ , que representa básicamente el objeto bajo prueba.

Una expresión analítica para el voltaje de impulso en  $C_x$  tiene la forma.

$$V_{C_x}(t) = V_0 K (e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}) \quad (2.4.4)$$

Donde:

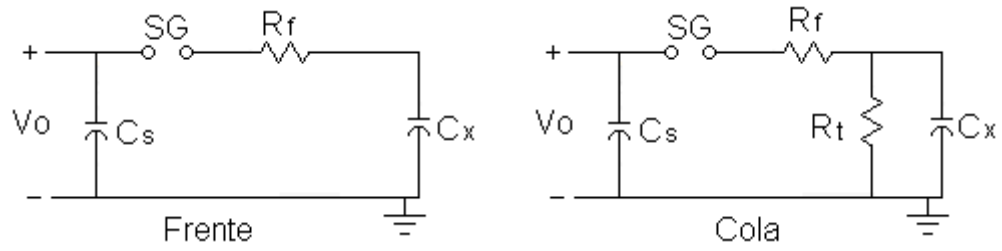
$V_0$  = es la tensión de carga del condensador  $C_s$

$K$  = una constante que depende del circuito a) o b) de la figura 18

$\alpha$  y  $\beta$  = son las raíces de la ecuación característica del sistema, cuyos inversos son las constantes de tiempo del mismo.

Para el análisis completo se utiliza la transformada de Laplace, pero como los parámetros capacitivos y resistivos son constantes y los valores de  $\alpha$  y  $\beta$  de la expresión  $V_{C_x}(t)$  son relativamente diferentes entre sí, entonces se pueden analizar separadamente los dos circuitos: el del frente de onda y el de la cola de la onda.

Figura 19. Generador de impulsos de tensión



Fuente: Rugeles J. J. Conceptos básicos en la técnica de la alta tensión

Considerando el circuito del frente de onda en el momento en que ocurre la descarga entre las esferas del espinterómetro SG, el condensador  $C_x$  se carga con la constante de tiempo  $T_1$ :

$$-\frac{1}{\beta} = T_1 = R_f \frac{C_s C_x}{C_s + C_x} \quad (2.4.5)$$

Definida como el producto de la resistencia de frente  $R_f$  con la capacitancia equivalente serie de los dos condensadores  $C_s$  y  $C_x$ , generalmente, se asume que  $C_s \gg C_x$  por lo que la relación se puede simplificar a:

$$-\frac{1}{\beta} = T_1 \cong R_f C_x \quad (2.4.6)$$

Que indica que la duración del frente de la onda de tensión en el condensador  $C_x$  es directamente proporcional a la resistencia de frente  $R_f$  y a la capacitancia del objeto de prueba  $C_x$ .

Haciendo un proceso análogo en circuito de cola, en el instante en el cual la transferencia de carga de  $C_s$  a  $C_x$  es cero, los condensadores se descargan en la resistencia  $R_t$  con una constante de tiempo  $T_2$  igual a:

$$-\frac{1}{\alpha} = T_2 = R_t (C_s + C_x) \quad (2.4.7)$$

Y simplificando asumiendo que  $C_s \gg C_x$ , se tiene que:

$$-\frac{1}{\alpha} = T_2 \cong R_t C_s \quad (2.4.8)$$

Luego el circuito de cola de la onda depende proporcionalmente de la resistencia de cola  $R_t$  y la capacitancia  $C_s$ .

Tomando el circuito de cola de la figura 19, la corriente será la suma de la corriente de la rama de  $R_t$  y  $C_x$  cuya tensión esta dada por la ecuación (2.4.4)

$$i(t) = i_{C_x} + i_{R_t} \quad (2.4.9)$$

$$i(t) = C_x \frac{dV_{C_x}(t)}{dt} + \frac{V_{C_x}(t)}{R_t} \quad (2.4.10)$$

Con la onda de impulso atmosférico los ensayos se realizan para sistemas con tensiones nominales menores o iguales a 230 kV.

Tomando los valores de resistencias y capacitancias disponibles en el LAT y para una tensión de 230 kV, utilizando 4 etapas y considerando una eficiencia del equipo de 0,96 se tiene:

$$V_{\text{entrada}} = 239,58 \text{ kV}$$

$$C_s = 125 \text{ nF}$$

$$C_x = 652,3 \text{ pF}$$

$$R_f = 690 \text{ } \Omega$$

$$R_t = 552 \text{ } \Omega$$

$$V_{\text{CARGA}} = 59,9 \text{ kV}$$

Con estos valores hallamos las constantes  $\beta$  y  $\alpha$  de las ecuaciones (2.4.6) y (2.4.8) respectivamente y reemplazando en la ecuación (2.4.4) se obtiene la ecuación para la tensión  $V_{c_x}(t) = 230000(e^{-14492,8 t} - e^{-2221792,7 t}) \text{ V}$ , y desarrollando la ecuación (2.4.10) se obtiene la expresión para la corriente generada  $i(t) = 414,5 e^{-2221792,7 t} (e^{2207300 t} - 0,2) \text{ A}$ , de la cual se obtiene una corriente máxima de 402 A.

Para ondas de impulso tipo maniobra los ensayos se realizan para tensiones superiores a los 230 kV.

Para la máxima tensión del generador de impulsos, teniendo en cuenta la eficiencia del 96% del equipo, se pueden generar 760 kV, utilizando 8 etapas (máxima capacidad), y utilizando los valores de capacitancias y resistencias disponibles en el laboratorio se tiene:

$$C_s = 62,5 \text{ nF}$$

$$C_x = 652,3 \text{ pF}$$

$$R_f = 75 \text{ k}\Omega$$

$$R_t = 76,8 \text{ k}\Omega$$

$$V_{\text{CARGA}} = 99 \text{ kV}$$

Según estos valores y aplicando el mismo procedimiento para el caso de ondas de impulso tipo atmosférico se halla una corriente máxima de 9,46 A.

Estos valores pueden tener un alto grado de error ya que se trabajó con una fórmula aproximada, pero que proporciona la información de la magnitud de la corriente en los ensayos de ondas de impulso atmosférico 1,2/50  $\mu$ s, y de ondas de impulso tipo maniobra 250/2500  $\mu$ s, aunque se pueden presentar corrientes mucho más altas en el tipo de onda de impulso de tensión recortada, esta corriente se disipa en un tiempo de 2 a 6  $\mu$ s que es un tiempo considerablemente bajo, por lo que no influiría en el diseño de la malla de tierra.

- **Transformador de tensión alterna**

El laboratorio esta dotado de un transformador de alta tensión marca Foster de 20 kVA, 220 V en el primario y máxima tensión en el secundario de 300 kV<sup>18</sup>.

$$I_{Falla} = \frac{100}{V_{cc}} I_n \quad (2.4.11)$$

$$I_n = \frac{S_n}{V_n} \quad (2.4.12)$$

En la práctica, las caídas relativas de tensión  $V_{cc}$  para los transformadores industriales menores a 1000 kVA, tienen un valor comprendido entre 1 y 6%<sup>19</sup>.

La corriente nominal para el transformador de tensión alterna es de 0,0667 A, con un valor de  $V_{cc} = 3\%$ , y desarrollando la ecuación (2.4.11) se tendrá una corriente

---

<sup>18</sup> Cantor R. Jhon J., Ramírez A. Néstor J. tesis de grado Manual de seguridad en el laboratorio de alta tensión de la UIS.

<sup>19</sup> FRAILE MORA, Jesús, Máquinas Eléctricas McGraw-Hill/Interamericana de España México, S.A.U. 2003.

de falla  $I_{Falla} = 222,33$  A, la protección instalada es un breaker totalizador electromagnético, que en caso de falla se acciona en un tiempo de 0,05 ms.

Para efectos del cálculo de la malla del sistema de puesta a tierra según el análisis realizado de las corrientes de falla de los diferentes equipos del LAT se toma una corriente de falla máxima de 222,33 A que corresponde al transformador de tensión alterna, ya que considerando el tiempo de despeje de la falla del equipo de protección es la más crítica.

**2.4.1.2 Factor de decremento.** Este factor de decremento  $D_f$  se produce por el desplazamiento de la componente de corriente directa y por la atenuación de las componentes transitorias de corriente alterna y directa de la corriente de falla. Debido a la forma aleatoria de las fallas se hace necesario suponer la onda de corriente de falla a tierra asimétrica desplazada 100% durante el tiempo de falla. Este factor se puede hallar por medio de la expresión siguiente.

$$D_f = \frac{I_F}{I_f} \quad (2.4.13)$$

$$I_F = \sqrt{\frac{1}{t_f} \int_0^{t_f} [i_f(t)]^2 dt} \quad (2.4.14)$$

Donde:

$I_F$  = Es el valor eficaz RMS de la corriente asimétrica durante la falla en A.

$i_f$  = es la corriente asimétrica de falla, en cualquier instante de t

$t_f$  = Es el tiempo de duración de la falla.

$t$  = Tiempo (variable) después de iniciada la falla en s.

$$i_{f(t)} = \sqrt{2} V_m Y_{ac} \left[ \text{sen}(\omega t + \alpha - \theta) - e^{-\frac{t}{T_a}} \text{sen}(\alpha - \theta) \right] \quad (2.4.15)$$

Donde:

$V_m$  = tensión de prefalla

$Y_{ac}$  = Admitancia equivalente del sistema

$T_a$  = constante de tiempo de offset dc  $T_a = X / (\omega R)$

De la aplicación de la formula (2.4.14) se pueden hallar los siguientes valores de decremento  $D_f$

Tabla 8. Factores de decremento

DURACIÓN DE LA FALLA Y DEL CHOQUE ELÉCTRICO T [s]	FACTOR DE DECREMENTO $D_f$
0,08	1,65
0,10	1,25
0,20	1,20
0,25	1,10
0,50 O MAS	1,00

Fuente: RAÚLL MARTÍN, José, Diseño de subestaciones eléctricas, McGraw-Hill/Interamericana de México, S.A. 1992.

El tiempo de despeje de la falla, para el cálculo de la malla del SPT, se tomará igual a 0,05 ms por lo tanto el factor de decremento  $D_f$  será igual a 1,65.

**2.4.1.3 Factor de corrección K.** Factor de corrección debido a cambios futuros en el laboratorio en el laboratorio. No se contempla una expansión en cuanto a equipos que manejen un nivel de tensión superior a los existentes o que puedan incrementar la corriente de falla por lo tanto se tomará un valor de K igual a uno. Según los datos hallados y resolviendo la ecuación (2.4.1) la máxima corriente de falla será:

$$I_G = 1 \times 1,65 \times 222,33$$

$$I_G = 367 \text{ [A]}$$

**2.4.2 Calibre mínimo del electrodo de puesta a tierra.** El calibre de los electrodos de puesta a tierra, al igual que el conductor que une la puesta a tierra con el barraje principal de puesta a tierra se calculan teniendo en cuenta la magnitud de la corriente que va a circular por ellos, la duración de la falla, y la temperatura de fusión del material.

$$A_{mm^2} = \frac{I K_f \sqrt{t_c}}{1,9737} \quad (2.4.16)$$

$A_{mm^2}$  = Sección del conductor en  $mm^2$

$I$  = Corriente de falla a tierra en kA, que corresponde a la corriente hallada  $I_G$

$T_m$  = Temperatura de fusión del material del conductor utilizado.

$K_f$  = Constante del material.

$t_c$  = Es el tiempo de despeje de la falla a tierra.

Tabla 9. Constantes de materiales

MATERIAL	CONDUCTIVIDAD (%)	$T_m$ (°C)	$K_F$
Cobre blando	100	1083	7
Cobre duro cuando se utiliza soldadura exotérmica	97	1084	7,06
Cobre duro cuando se utiliza conector mecánico	97	250	11,78
Alambre de acero recubierto de cobre	40	1084	10,45
Alambre de acero recubierto de cobre	30	1084	14,64
Varilla de acero recubierta de cobre	20	1084	14,64
Aluminio grado EC	61	657	12,12
Aleación de aluminio 5005	53,5	652	12,41
Aleación de aluminio 6201	52,5	654	12,47
Alambre de acero recubierto de aluminio	20,3	657	17,2
Acero 1020	10,8	1510	15,95
Varilla de acero recubierta en acero inoxidable	9,8	1400	14,72
Varilla de acero con baño de cinc (galvanizado)	8,5	419	28,96
Acero inoxidable 304	2,4	1400	30,05

Fuente: Tabla 24 del RETIE resolución 181294 (6-Agosto-2008)

Como en la construcción de la malla se utilizará soldadura exotérmica según la tabla 6 se toma un valor de  $K_f = 7,06$

Desarrollando la ecuación (2.4.16) se tiene que el área del conductor debe ser igual o mayor a  $0,00928 \text{ mm}^2$

Teniendo en cuenta las razones mecánicas, el área mínima hallada para el electrodo de puesta a tierra y que los terrenos de alta resistividad son muy poco corrosivos se propone usar cable calibre 6 AWG, para el electrodo de la malla del SPAT del laboratorio.

**2.4.3 Cálculo de la malla puesta a tierra.** El sistema de puesta a tierra para el LAT se diseñará según la norma IEEE 80 siguiendo las ecuaciones de Schwarz, S. J. y Kerckel, S. W.

Schwarz desarrolló estas ecuaciones en 1954 y hasta hoy, son de uso frecuente, en estas expresiones introdujo los factores  $k_1$  y  $k_2$  que dependen de la geometría del terreno, también diseñó las curvas para hallar dichos factores. En 1981 Kerckel presentó las ecuaciones analíticas para el cálculo de  $k_1$  y  $k_2$ , ecuaciones que se utilizarán en este diseño, ya que este valor de  $k_1$  y  $k_2$  es más exacto que el que se halla por medio de las curvas.

El cálculo es válido para suelo homogéneo e incluye la resistencia de la malla horizontal, la resistencia del sistema de varillas enterradas y la resistencia mutua entre la malla y las varillas.

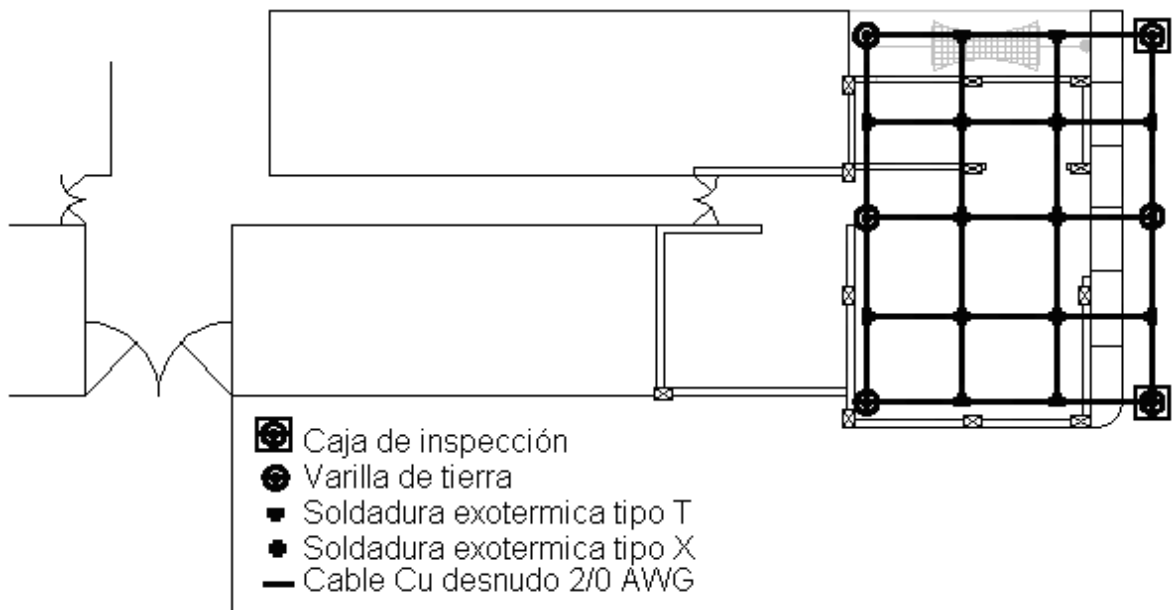
La malla de puesta a tierra estará conformada por electrodos de cobre calibre 6 AWG, y con varillas de cobre duro de 5/8" de diámetro, las uniones se realizarán con soldadura exotérmica.

Para el diseño se tendrán en cuenta los siguientes datos:

- Cálculo de tensiones de toque y de paso para personas de 50 kg
- Resistividad aparente del terreno es de  $\rho$ : 132 [ $\Omega$ .m.] suelo homogéneo.
- Terreno disponible: 13,3 x 18,7 [m]
- Profundidad de la malla: 50 [cm]
- Número de varillas de cobre 5/8" y 1,5 m de longitud: 4 Unidades
- Corriente máxima de falla a tierra: 367 [A]
- Tiempo de despeje de la falla a tierra: 0,05 [ms]
- No se utilizará una capa superficial de alta resistividad sobre el terreno de la malla

En la figura 20 se muestra el esquema general del SPAT del LAT, donde se detalla la forma y magnitud de la malla y la ubicación de las varillas.

Figura 20. Ubicación de la malla del sistema de tierra del LAT



Fuente: diseño del autor

### 2.4.3.1 Cálculo de los factores $k_1$ , $k_2$

$$k_1 = 0,92\sqrt{a.b} \left[ \frac{1}{a} \ln \frac{a + \sqrt{a^2 + b^2}}{b} + \frac{1}{b} \ln \frac{b + \sqrt{a^2 + b^2}}{a} + \frac{a}{3b^2} + \frac{b}{3a^2} - \frac{a^2 + b^2}{3a^2b^2} \sqrt{a^2 + b^2} \right] \quad (2.4.17)$$

$$k_2 = \ln \frac{4(a+b)}{b} + 2K_1 \frac{a+b}{\sqrt{ab}} - \ln \frac{a + \sqrt{a^2 + (b/2)^2}}{b/2} - \frac{1}{2} \ln \frac{b/2 + \sqrt{a^2 + (b/2)^2}}{-b/2 + \sqrt{a^2 + (b/2)^2}} \quad (2.4.18)$$

Donde:

$a$  = es el ancho de la malla 9 [m]

$b$  = es el largo de la malla 12 [m]

Desarrollando las ecuaciones (2.4.17) y (2.4.18) se tiene:

$$k_1 = 1,2792$$

$$k_2 = 5,2957$$

**2.4.3.2 Resistencia de tierra de una malla horizontal rectangular  $R_1$ .** La resistencia del sistema de de electrodos (en este caso unidos mediante soldadura exotérmica) que conforman la malla horizontal, sin tener en cuenta las varillas enterradas está dada por la ecuación (2.4.19).

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi L_c} \left[ \ln \frac{2L_c}{\sqrt{2hr_c}} + \frac{k_1 L_c}{\sqrt{A}} - k_2 \right] \quad (2.4.19)$$

En donde:

$\rho$  = Resistividad del terreno [ $\Omega$  m]

$L_c$  = Longitud total de los electrodos (cable de cobre) de puesta a tierra [m]

$r_c$  = Radio del conductor [m]

$h$  = Profundidad de enterramiento de la malla [m]

$A$  = Es el área de la malla [ $m^2$ ]

$k_1$  y  $k_2$  = Constantes de las ecuaciones (2.4.17) y (2.4.18) respectivamente.

$$R_1 = 6,51 \Omega$$

**2.4.3.3 Resistencia de un sistema de varillas de tierra  $R_2$ .** La expresión (2.4.20) se utiliza para el cálculo de la resistencia del sistema de varillas enterradas, no se tiene en cuenta la malla horizontal.

$$R_2 = \frac{\rho}{2 \pi m l} \left[ \ln \left( \frac{8l}{d} \right) - 1 + \frac{2 K_1 l}{\sqrt{A}} \left( \sqrt{m} - 1 \right)^2 \right] \quad (2.4.20)$$

En donde:

$\rho$  = Resistividad del terreno [ $\Omega$  m]

$l$  = Longitud de cada varilla de cobre en [m]

$d$  = Diámetro de la varilla en m.

$A$  = Es el área de la malla [ $m^2$ ]

$m$  = Número de varillas enterradas en el área  $A$

$k_1$  = Constante de la ecuación (2.4.17)

$$R_2 = 14,95 \Omega$$

**2.4.3.4 Resistencia mutua malla-varillas  $R_m$ .** Para el cálculo de la resistencia mutua que se presenta por la interacción entre el sistema de varillas enterradas y la malla horizontal se utiliza la ecuación (2.4.21), este valor de resistencia es inferior al valor de la resistencia del sistema de varillas, o de la malla horizontal, pero superior al valor de la resistencia en paralelo de los dos.

$$R_m = \frac{\rho}{\pi L_c} \left[ \ln \frac{2L_c}{l} + \frac{K_1 L_c}{\sqrt{A}} - K_2 + 1 \right] \quad (2.4.21)$$

En donde:

$\rho$ ,  $L_c$ ,  $l$ ,  $A$ ,  $k_1$  y  $k_2$  están definidos en las ecuaciones (2.4.19) y (2.4.20)

$$R_m = 5,41 \Omega$$

**2.4.3.5 Resistencia del sistema combinado.** La resistencia del sistema combinado esta dado por la expresión (2.4.22) en donde se combina la resistencia de la malla horizontal  $R_1$ , la resistencia del sistema de varillas  $R_2$  y la resistencia mutua  $R_m$  existente entre  $R_1$  y  $R_2$ .

$$R_{TOTAL} = \frac{R_1 R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2 R_m} \quad (2.4.22)$$

$$R_{TOTAL} = R_G = 6,39 \Omega$$

**2.4.3.6 Cálculo de la tensión de malla.** La tensión de malla  $E_m$  es la máxima tensión de contacto que se puede presentar en el área de localización de una malla de puesta a tierra, esta depende de la resistividad del terreno, la forma de la malla, del espaciamiento del reticulado, la longitud efectiva del electrodo de la malla y la corriente de falla,  $E_m$  se calcula con la siguiente ecuación.

$$E_m = \frac{\rho K_m K_i I_G}{L_M} \quad (2.4.23)$$

Donde:

$$E_m = \text{Tensión de malla.}$$

$\rho$  = resistividad del Terreno.

$K_m$  = Factor de separación para la tensión de malla.

$K_i$  = Factor corrección.

$I_G$  = Máxima corriente que fluye entre la malla de tierra y la tierra circundante

$L_M$  = Longitud efectiva de los electrodos de tierra.

• **Cálculo del factor de separación para la tensión de malla.** El factor de separación  $K_m$  tiene en cuenta el efecto de la separación de la cuadrícula de los electrodos y la profundidad de la malla de tierra para el cálculo de la tensión de malla, este factor se halla según la siguiente ecuación:

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[ \ln \left[ \frac{D^2}{16hd} + \frac{D+2h}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right] + \frac{K_{ii}}{K_h} \ln \left[ \frac{8}{\pi n^{n-1}} \right] \right] \quad (2.4.24)$$

Donde:

$D$  = espaciamiento entre conductores paralelos [m].

$h$  = profundidad de los conductores de la malla [m].

$d$  = diámetro de los conductores de la malla [m].

$K_{ii}$  = Factor ponderado de corrección para ajustar el efecto de los conductores internos sobre la retícula esquinera.

$K_h$  = factor ponderado de corrección que enfatiza los efectos de la profundidad de la malla.

$n$  = factor geométrico compuesto de los factores  $n_a, n_b, n_c, n_d$

#### - Cálculo del factor geométrico $n$

El factor Geométrico  $n$  depende de los factores  $n_a, n_b, n_c, n_d$  y se halla según la siguiente ecuación:

$$n = n_a n_b n_c n_d \quad (2.4.25)$$

A continuación se calculará el valor de cada uno de los factores de  $n$

$n_a$  = Relación entre dos veces la longitud del conductor  $L_C$  y la longitud del perímetro de la malla  $L_p$ .

$$n_a = \frac{2 L_C}{L_p} \quad (2.4.26)$$

Según los datos del numeral 2.4.3.  $n_a = 4,43$

$n_b$  = Es la raíz cuadrada de la razón entre la longitud del perímetro de la malla  $L_p$  y cuatro veces la raíz cuadrada del área  $A$ , según la siguiente ecuación:

$$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4 \sqrt{A}}} \quad (2.4.27)$$

Según los datos del numeral 2.4.3.  $n_b = 1,0052$

$n_c$  = según la ecuación (2.4.28) tiene en cuenta el área de la malla  $A$ , la longitud máxima de la malla en la dirección horizontal  $L_X$ , la longitud máxima de la malla en la dirección vertical  $L_Y$ .

$$n_c = \left[ \frac{L_X L_Y}{A} \right]^{\frac{0,7 A}{L_X L_Y}} \quad (2.4.28)$$

Según los datos del numeral 2.4.3.  $n_c = 1$

$n_d$  = Corresponde a la razón entre la máxima distancia entre dos puntos cualesquiera sobre la malla  $D_m$  y la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de la longitud máxima de la malla en la dirección horizontal  $L_X$  y la longitud máxima de la malla en la dirección vertical  $L_Y$ .

$$n_d = \frac{D_m}{\sqrt{L_X^2 + L_Y^2}} \quad (2.4.29)$$

Según los datos del numeral 2.4.3.  $n_d = 1$

Reemplazando los valores obtenidos en las ecuaciones (2.4.26) a la ecuación (2.4.29) en la ecuación (2.4.25) se obtiene un valor de  $n = 4,45$

- **Cálculo del factor ponderado de corrección para ajustar el efecto de los conductores internos sobre la retícula esquinera  $k_{ii}$ .** Para mallas sin electrodos verticales o con solo unos pocos, no localizados en las esquinas o el perímetro,  $K_{ii}$  se calcula de acuerdo a la ecuación (2.4.30)

$$K_{ii} = \frac{1}{\frac{2}{n}} \quad (2.4.30)$$

Para mallas con varillas verticales a lo largo del perímetro, o en las esquinas de la malla, o a lo largo del perímetro y a través de ellas  $K_{ii}$  esta definido según la ecuación (2.4.31).

$$K_{ii} = 1 \quad (2.4.31)$$

Para el diseño de la malla del LAT se plantea el uso de varillas verticales en las esquinas y el perímetro como se muestra en la figura 20, por lo tanto se toma el valor de  $K_{ii} = 1$

**- Cálculo del factor ponderado de corrección que enfatiza los efectos de la profundidad de la malla  $K_h$**

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}}, \quad h_0 = 1 \text{ m, (Profundidad de referencia de la malla).} \quad (2.4.32)$$

En donde:

$h$  = profundidad de los conductores de la malla [m].

Según los datos del numeral 2.4.3.  $K_h = 1,225$

Con los datos obtenidos en el numeral 2.4.3 y reemplazando los valores obtenidos para las ecuaciones (2.4.25), (2.4.31) y (2.4.32) en la ecuación (2.4.24) se obtiene el valor del factor de separación  $K_m = 0,7886$

• **Cálculo del factor de corrección  $K_i$ .** Factor de corrección  $K_i$  tiene en cuenta el error introducido por las suposiciones adoptadas en el cálculo de  $K_m$

$$K_i = 0,644 + 0,148n \quad (2.4.33)$$

Reemplazado el valor de  $n$  obtenido para la ecuación (2.4.25) en la ecuación (2.4.33) se tiene que  $K_i = 1,303$

- **Longitud efectiva de los electrodos de tierra  $L_M$ .** Para mallas sin electrodos verticales o con solo unos pocos, no localizados en las esquinas o el perímetro  $L_M$  se define según la ecuación (2.4.34)

$$L_M = L_C + L_R \quad (2.4.34)$$

Para mallas con varillas verticales a lo largo del perímetro, o en las esquinas de la malla, o a lo largo del perímetro y a través de ellas, la expresión para  $L_M$  será la expresada en la ecuación (2.4.35).

$$L_M = L_C + \left[ 1,55 + 1,22 \left[ \frac{l_r}{\sqrt{L_X^2 + L_Y^2}} \right] \right] L_R \quad (2.4.35)$$

En donde:

$L_R$  = Longitud total de todas las varillas.

$L_r$  = Longitud de una varillas.

$L_C$  = Longitud total de los conductores de la malla

El diseño de la malla del SPAT del LAT incluye varillas verticales a lo largo del perímetro y en las esquinas de la malla por lo tanto para el cálculo de  $L_M$  aplica la ecuación (2.4.35), evaluando esta ecuación se obtiene el valor de  $L_M = 118,131$

Con los factores hallados evaluamos en la ecuación (2.4.23) obteniendo el valor de la Tensión de malla  $E_m = 460,64 \text{ V}$

**2.4.3.7 Cálculo de la tensión de paso  $E_S$ .** La tensión de paso  $E_S$  se define como la diferencia de potencial que durante una falla se presenta entre dos puntos de la superficie del terreno, separados por un paso (aproximadamente un metro), esta

depende de la resistividad del terreno, la forma de la malla, espaciamento del reticulado, la longitud efectiva del electrodo de la malla y la corriente de falla, factores dados para tensión de paso.

$$E_s = \frac{\rho K_S K_i I_G}{L_S} \quad (2.4.36)$$

$K_S$  = Factor de espaciamento para voltaje de paso.

$K_i$  = Factor corrección.

$L_S$  = Longitud efectiva del electrodo de tierra para la tensión de paso.

$I_G$  = Máxima corriente de falla

A continuación se desarrolla el cálculo de los factores para el cálculo de  $E_s$

- **Factor de espaciamento para voltaje de paso  $K_S$ .** El factor de separación  $K_S$  tiene en cuenta el efecto de la separación de la cuadrícula de los electrodos y la profundidad de la malla de tierra para el cálculo de la tensión de paso, este factor se halla según ecuación (2.4.37).

$$K_S = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} \left( -0,5^{n-2} \right) \right] \quad (2.4.37)$$

Con  $D$  y  $h$  definidos en la ecuación (2.4.24)

Según los datos de diseño y el valor de  $n$  hallado en la ecuación (2.4.25) se obtiene el valor de  $K_S = 0,496$

- **Factor de corrección  $K_i$ .** Para  $K_i$  se toma el valor hallado en la ecuación (2.4.33), luego  $K_i = 1,303$

- **Longitud efectiva del electrodo de tierra  $L_S$ .** Para el cálculo de la tensión de paso la longitud efectiva del electrodo de tierra se halla según la ecuación (2.4.38).

$$L_S = 0,75 L_C + 0,85 L_R \quad (2.4.38)$$

Con  $L_R$  y  $L_C$  definidos en la ecuación (2.4.35), y reemplazando en la ecuación (2.4.38) se obtiene la longitud efectiva del electrodo de tierra  $L_S = 81,99$

Reemplazando los factores hallados para el cálculo de la tensión de paso  $E_S$  en la ecuación (2.4.36) se tiene  $E_S = 404,45$  V

**2.4.3.8 Cálculo del GPR.** El GPR, del inglés *Ground Potential Rise*, es un caso especial de la tensión de contacto donde se presenta un máximo nivel de potencial del sistema de puesta a tierra con respecto a una tierra remota, cuando fluye a través de la primera una corriente desde o hacia el terreno. El GPR está determinado como el producto de la máxima corriente de falla que fluye por la malla de tierra y la resistencia de la malla de tierra.

$$\text{GPR} = I_G \times R_g \quad (2.4.39)$$

$$\text{GPR} = 367 \times 3,79 = 2347,2 \text{ V}$$

**2.4.3.9 Cálculo de la tensión de toque y de paso tolerable.** Se debe garantizar que ningún punto del interior o exterior de la instalación normalmente accesible a personas que puedan transitar o permanecer allí, este sometido a tensiones de paso, de contacto o transferidas, que superen los umbrales de soportabilidad del ser humano cuando se presente una falla.

- **La máxima tensión de toque tolerable.** Con la siguiente expresión se halla la máxima tensión de toque que se puede presentar teniendo en cuenta una capa superficial de alta resistividad.

$$E_{touch50} = 19653 + 1,5 C_s \rho_s \sqrt{t_s} \quad (2.4.40)$$

Donde:

$E_{touch50}$  = Es la tensión de contacto para una persona de 50 kg de peso, en V

$C_s$  = Es el factor para tener presente el efecto de la capa superficial

$\rho_s$  = Es la resistividad del material de la capa superficial en  $\Omega.m$

- **Cálculo del factor  $C_s$ .** Para obtener el efecto de la capa superficial de triturado

$$C_s = 1 - \frac{0,09 \left( 1 - \frac{\rho}{\rho_s} \right)}{2 h_s + 0,09} \quad (2.4.41)$$

Donde:

$\rho$  = Es la resistividad del terreno tomado como homogéneo en  $\Omega.m$

$h_s$  = Es el espesor de la capa superficial en m

$t_s$  = Es la duración de la corriente de falla en s

No se considera una capa superficial de alta resistividad luego  $C_s=1$  y  $\rho_s = \rho$  reemplazando estos valores en la ecuación (2.4.40) se tiene que la máxima tensión de toque tolerable  $E_{touch} = 19653$  V

- **La máxima tensión de paso tolerable.** La máxima tensión de paso tolerable teniendo en cuenta las condiciones del terreno como son: la resistividad del

terreno, el tiempo de despeje de la falla y el efecto de la capa superficial de alta resistividad, está determinada por la ecuación (2.4.42).

En el diseño la máxima tensión de paso tolerable  $E_{step50}$  debe ser superior al valor de la tensión de paso  $E_S$

$$E_{step50} = \left( 1000 + 6 C_s \rho_s \right)^{0,116} \sqrt{t_s} \quad (2.4.42)$$

En donde:

$E_{step50}$  = Es la máxima tensión de paso tolerable para una persona de 50 kg de peso, en V

Desarrollando la ecuación (2.4.42) se tiene que la máxima tensión de paso tolerable es  $E_{step} = 29398$  V

En la siguiente tabla se pueden comparar los valores obtenidos versus los valores de referencia para el sistema de puesta a tierra.

Tabla 10. Valores obtenidos y valores de referencia del SPAT

	VALOR OBTENIDO	VALOR DE REFERENCIA			CONSIDERACIÓN	CONCLUSIÓN
		$V_{touch}$	$V_{step}$	$RETIE$ $\Omega.m$		
$E_m$	460,64	19653			$E_m < V_{touch}$	Cumple
$GPR$	2347,2	19653			$GPR < V_{touch}$	Cumple
$E_S$	404,42		29398		$E_S < V_{step}$	Cumple
$R$	6,39			1	$R \leq R (RETIE)$	Ver análisis de resultados

#### 2.4.3.10 Análisis de los resultados

- Según el RETIE “el proceso de transformación se entenderá como el aplicado a las subestaciones donde se transforman algunas componentes de potencia tales como tensión, corriente, frecuencia, factor de potencia. Igualmente se debe hacer distinción entre los diferentes tipos de subestaciones por su uso o por su nivel de tensión y potencia que manejen.” Según esto el LAT se clasifica como una subestación de alta tensión donde se puede tomar como referencia un valor máximo de resistencia de puesta a tierra de  $1 \Omega$ .
- El GPR y la tensión de toque cumplen ya que están por debajo de la tensión de contacto tolerable, igualmente la tensión de paso calculada esta por debajo de la tensión de paso tolerable
- Un buen diseño de puesta a tierra debe garantizar el control de las tensiones de paso, de contacto y transferidas.
- De los parámetros considerados para el diseño del SPAT el valor mínimo de resistencia de puesta a tierra alcanzado para la malla es de  $6,25 \Omega$  que es un valor relativamente alto comparado con el valor de referencia, pero se puede aceptar ya que el sistema de puesta a tierra, cumple con la finalidad de proteger a las personas que se encuentran dentro y fuera del laboratorio, contra tensiones de paso, toque o transferidas que se puedan originar en caso de falla.

**2.4.3.11 Cálculo de la resistencia del SPAT usando cemento conductorio.** Los cementos conductivos<sup>20</sup> como los fabricados a base de marconita tienen un agregado carbonáceo que reemplaza el agregado normal usado en la mezcla del concreto. Provocan poca corrosión con metales como el cobre debido al bajo contenido de sulfatos y cloruros y tienen baja resistividad. Cuando el conductor

---

<sup>20</sup>[http://www.arena.org/eseries/scriptcontent/custom/e\\_arena/library/2000\\_Conference\\_Proceedings/00057.pdf](http://www.arena.org/eseries/scriptcontent/custom/e_arena/library/2000_Conference_Proceedings/00057.pdf)

sale del cemento, y entra en el terreno se produce un efecto galvánico debido al cambio de resistividades de los medios, que puede llegar a oxidar el conductor, razón por la cual el conductor debe ir aislado en ese punto. Los cementos conductores mantienen su humedad aún bajo condiciones muy secas.

Debido a que con respecto a los tratamientos químicos y los suelos artificiales, aún no existe un consenso suficiente que haya permitido la elaboración de una norma internacional, solo es posible hacer algunas recomendaciones acerca de sus características mínimas:

- \_ Tener preferiblemente una resistividad inferior a 5  $\Omega$ -m.
- \_ Un pH entre 8 y 10.
- \_ Debe ser capaz de absorber y retener la humedad (higroscópico).
- \_ Debe tener un bajo nivel de corrosión.
- \_ Alta conductividad.
- \_ Bajo nivel de lixiviación y alta estabilidad.
- \_ No debe ser tóxico, ni contaminar el medio ambiente.

A continuación se calcula el valor de la resistencia de la malla de tierra, si se trata con cemento conductor, para ello se utilizara la siguiente formulación.

La resistencia de cualquier electrodo de puesta a tierra para un suelo tratado con tierra artificial es:<sup>21</sup>

$$R = \frac{1}{2\pi L} \left[ \rho \left( \ln \left( \frac{8L}{2r_1} \right) - 1 \right) + \rho_1 \left( \ln \left( \frac{8L}{2r} \right) - 1 \right) - \rho_1 \left( \ln \left( \frac{8L}{2r_1} \right) - 1 \right) \right] \Omega \quad (2.4.43)$$

---

<sup>21</sup> SAAVEDRA C. Vladimir , CASTRO S. NILSON A. Diseño De Instalaciones Eléctricas Para Cargas Sensibles Y Protección Contra Rayos De Las Edificaciones Administración, Laboratorios Pesados (Civil) Y Luís Arias De La Universidad Industrial De Santander

Donde:

$\rho$  = Resistividad del suelo

$\rho_1$  = Resistividad del suelo mejorado ( $100 \Omega^* \text{ cm}$ )

$L$  = Longitud del electrodo

$r$  = Diámetro del electrodo

$r_1$  = diámetro del volumen mejorado

Desarrollando la ecuación (2.4.43), con un diámetro del volumen mejorado de 5 cm y la longitud del electrodo de la malla incluidas las varillas 295,8 m se obtiene una resistencia de  $R = 0,65 \Omega$ . (Los datos de la malla se encuentran en el anexo 8)

A continuación se listan las obras y materiales necesarios para la construcción del sistema de puesta a tierra con sus respectivos valores.

Tabla 11. Resumen de obras y materiales utilizados para el SPAT

**a. Sin usar cemento conductivo**

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
1.	<b>Sistema de puesta a tierra</b>				
1.1.	Excavación de a=0,5 m, l= 218,94 m, h= 0,6 m	m <sup>3</sup>	23,25	40.000	930.000
1.2.	Tapado de la zanja	m <sup>3</sup>	23,25	40.000	930.000
	SUMA				1.860.000
	AIU(25%)				465.000
	<b>TOTAL</b>				<b>2.325.000</b>

1.3.	Cable de cobre desnudo 6 AWG	m	93	2.700	251.100
1.4.	Varillad de cobre 5/8" x 2,4 m	Un	6	72.000	432.000
1.5.	Conector cooperweld	Un	1	14.250	14.250
1.6.	Soldadura exotérmica 90 g	Un	14	8.950	125.300
1.7.	Soldadura exotérmica 115 g	Un	6	10.700	64.200
1.8.	Mano de obra soldadura	Pto	20	10.000	200.000
	SUMA				1.086.850
	IVA (16 %)				173.896
	<b>TOTAL</b>				<b>1.260.746</b>

	<b>VALOR TOTAL</b>				<b>3.585.746</b>
--	--------------------	--	--	--	------------------

## b. Usando cemento conductor

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
<b>1.</b>	<b>Sistema de puesta a tierra</b>				
1.1.	Excavación de a=0,5 m, l= 218,94 m, h= 0,6 m	m <sup>3</sup>	65,68	40.000	2.627.200
1.2.	Tapado de la zanja	m <sup>3</sup>	65,68	40.000	2.627.200
	SUMA				5.254.400
	AIU(25%)				1.313.600
	<b>TOTAL</b>				<b>6.568.000</b>

1.3.	Cable de cobre desnudo 2/0 AWG	m	220	11.125	2.447.500
1.4.	Varillad de cobre 5/8" x 2,4 m	Un	33	72.000	2.376.000
1.5.	Conector cooperweld	Un	1	14.250	14.250
1.6.	Soldadura exotérmica 90 g	Un	16	8.950	143.200
1.7.	Soldadura exotérmica 115 g	Un	33	10.700	353.100
1.8.	Cemento conductor	Un	139	60.000	8.340.000
1.9.	Mano de obra soldadura	Pto	48	10.000	480.000
	SUMA				14.154.050
	IVA (16 %)				2.264.648
	<b>TOTAL</b>				<b>16.418.698</b>

	<b>VALOR TOTAL</b>				<b>22.986.698</b>
--	--------------------	--	--	--	-------------------

## 2.5 ZONA DE CARGA

La zona a la entrada del LAT destinada para la carga y la descarga de las máquinas a ensayar también debe ser de concreto con refuerzo en la parte correspondiente al andén, y así evitar el deterioro del piso debido al peso de los equipos.

**2.5.1 Grúa.** Es necesario implementar un sistema para la carga y descarga de las maquinas que se ensayan en el LAT, para lo cual hay que adecuar el pórtico que existe en el laboratorio, el cual necesita mantenimiento y pintura, además se debe adquirir un diferencial que puede ser de cinco toneladas ya que las maquinas a ensayar están por debajo de este peso.

En la siguiente tabla se resumen las obras y equipos necesarios para la zona de carga.

Tabla 12. Resumen de obras y equipos para la zona de carga

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNID	CANT	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
<b>1.</b>	<b>GRÚA TIPO PÓRTICO</b>				
1.1.	Adecuación y pintura del pórtico existente	Gl	1	250.000	250.000
	<b>TOTAL</b>				<b>250.000</b>
1.2.	Diferencial de 5 toneladas x 5mts de cadena marca yale	Un	1	1.724.138	1.724.138
	SUMA				1.974.138
	IVA (16 %)				275.863
	<b>TOTAL</b>				<b>2.000.000</b>
	<b>VALOR TOTAL</b>				<b>2.250.000</b>

## 3. EQUIPOS

### 3.1 EQUIPOS DE MEDIDA Y ENSAYOS

Es importante para las empresas de energía y del sector industrial tener un diagnóstico sobre el estado de las máquinas y equipos eléctricos, de sus instalaciones, principalmente de los transformadores, que les permitan hacer un mantenimiento preventivo de estos y mantenerlos en óptimas condiciones de operación, las diferentes medidas realizadas en los transformadores como la relación de fase, corriente de excitación, reactancia de dispersión, resistencia de los devanados, relación de transformación, pruebas de impulso, ensayo de tensión aplicada, entre otros, permiten detectar oportunamente una condición de operación crítica del mismo.

Además de cumplir con los requerimientos de las instalaciones, se debe tener en cuenta que el proceso de acreditación del laboratorio está ligado a los ensayos y medidas que se pretendan realizar para ello se debe contar con equipos debidamente certificados por laboratorios de calibración y medida.

**3.1.1 Equipos con que cuenta el LAT.** El laboratorio cuenta con los siguientes equipos de generación de tensión.

- Un Transformador de pruebas, marca FOSTER 1 $\phi$  de 300000 / 500 V, 20 kVA.
- Un Generador de Impulsos de tensión, HAEFELY SGS hasta 800 kV.
- Un chispometro, Siemens, hasta 60 kV

Además dispone de los siguientes equipos para medición:

- Un Osciloscopio, fluke 100 kHz.
- Divisores de tensión ohmico y capacitivo.
- Un Espinterometro con esferas de 25 cm de diámetro.

**3.1.2 Equipos que se deben adquirir.** Actualmente el laboratorio carece de algunos de los equipos de medida y los existentes se encuentran deteriorados.

Para la realización de las diferentes medidas y ensayos a máquinas o equipos, se debe realizar un montaje que comprende, por lo general, de una fuente de alimentación de tensión ca o dc, los respectivos equipos de medición, y el equipo o máquina bajo prueba.

Respecto a los equipos de medición el montaje se puede realizar por medio de la utilización de los diferentes instrumentos individuales de medida (voltímetros, amperímetros, vatímetros etc.) conectados convenientemente para la realización del ensayo, o utilizando un equipo de medida compacto, especializado para la prueba respectiva.

La medición mediante la utilización de los diferentes instrumentos individuales de medida no se consideró viable por las siguientes razones:

- El costo de estos instrumentos no representaba una economía representativa vs. el costo de los equipos de medida compactos.
- El montaje es tedioso con un considerable número de cableado, que puede llevar a cometer errores en las conexiones.
- El montaje con estos instrumentos de medida ocupa un mayor espacio que el considerado para los nuevos equipos, además de no poderse trasladar.
- Para instrumentos de medida, se hace necesario el montaje y desmontaje de estos según el ensayo y medida a realizar.
- Los empalmes de las conexiones de los instrumentos y el cableado, pueden ocasionar imprecisión en las mediciones.

Según los anteriores inconvenientes para esta propuesta se optó por la adquisición de equipos de medida especializados, que cumplen con las normas vigentes para laboratorios de ensayos y que se listan a continuación.

**3.1.2.1 Medidor digital de relación de transformación.** El medidor de relación de transformación digital viene diseñado para la medición de transformadores de potencia, de voltaje y de corriente. Estos equipos como el mostrado en la figura 21 Modelo DTR 8500, realiza las siguientes funciones:

- Mide con exactitud la razón de espiras primarias a secundarias.
- Muestra simultáneamente la polaridad y la corriente de excitación.
- Revisa si hay espiras y conexiones abiertas.
- Revisa si existen cortocircuitos.
- Muestra si hay exceso de corriente de excitación.
- Detecta cables de prueba mal colocados y polaridad invertida<sup>22</sup>.

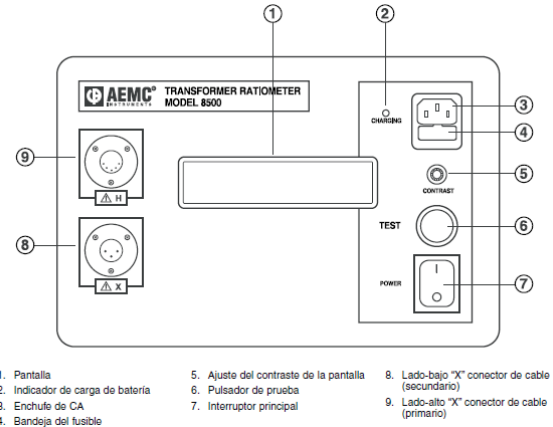
Características del equipo:

- Es totalmente automático y utiliza un método de prueba según ANSI/IEEE.
- Realiza las pruebas, a baja tensión para seguridad del operador
- No requiere de calibración, selección de rango, ni balanceos tediosos por parte del usuario.
- En cada medición se auto calibra automáticamente.
- Trabajan con baterías NiCd o con la red de AC.

---

<sup>22</sup> AEMC Instrument Asistencia técnica (800) 343-1391. Disponible en internet, URL: <http://www.aemc.com>

Figura 21. Medidor digital de relación de transformador modelo DTR 8500



Fuente: AEMC Instrument Asistencia técnica, <http://www.aemc.com>

**3.1.2.2 Megóhmetro hasta 5000 V.** Este equipo es utilizado para medir la resistencia de aislamiento de las maquinas y dispositivos eléctricos, el megóhmetro como el mostrado en la figura 22, viene diseñado con un alto nivel de seguridad y mide resistencias de aislamiento de los 30 kΩ hasta 10 TΩ, con escalas de tensión de 500 V, 1000 V, 2500 V, 5000 V, y la corriente de fuga durante el ensayo, además muestra la tensión de ensayo y la capacitancia del elemento ensayado, la tensión de descarga se muestra al finalizar el ensayo, también realiza el cálculo y presentación automática de la relación de absorción dieléctrica (DAR), el índice de polarización (PI) y el valor de descarga dieléctrica (DD)<sup>23</sup>.

Entre sus principales aplicaciones están el ensayo de aislamiento en cables, transformadores, motores, generadores, aisladores y cableado de instalaciones, también realiza, la medición temporizada de resistencias entre otras.

<sup>23</sup> Ibíd.

Opera con una batería incorporada o con alimentación directa de la red eléctrica. Viene con un puerto RS-32 que permite su programación y funcionamiento remoto desde un PC.

Figura 22. Megóhmetro Modelo 5070



Fuente: AEMC Instrument Asistencia técnica, <http://www.aemc.com>

**3.1.2.3 Micro-ohmmetro de 10A.** El micro-ohmmetro se utiliza para realizar medidas de resistencias muy bajas, en la figura 23, se muestra un micro-ohmmetro marca AEMC modelo 6250<sup>24</sup>, este equipo robusto mide resistencias con una exactitud de 0,05 %, las mediciones de resistencia se calculan y presentan automáticamente, considerando el valor de la medición, la temperatura ambiente, la temperatura de referencia y el coeficiente de temperatura del metal.

La temperatura de la muestra puede ser introducida manualmente por el operador o puede ser medida directamente por el Modelo 6250 mediante un sensor de temperatura RTD externo.

Además de la medición de bajas resistencias, puede verificar uniones tierra/tierra, la integridad de las uniones por soldadura, comprobación de resistencias en conexiones alambre a Terminal entre otras.

---

<sup>24</sup> Ibíd.

El Modelo 6250 está especialmente diseñado para realizar pruebas tanto en materiales resistivos como inductivos, seleccionables por el operador directamente en el panel frontal.

Figura 23. Micro-ohmmetro Modelo 6250.



Fuente: AEMC Instrument Asistencia técnica, <http://www.aemc.com>

**3.1.2.4 Osciloscopio portátil.** Todos los ScopeMeter permiten a los usuarios realizar las comprobaciones eléctricas básicas, el osciloscopio portátil como el mostrado en la figura 24, marca fluke de referencia 225C<sup>25</sup> tiene un ancho de banda de 200 MHz con capacidad de muestreo de 2,5 GS/s, proporciona un mayor nivel de inmunidad al ruido en modo común y a las perturbaciones.

Posee una profundidad de memoria de 27500 puntos por canal, resultan instrumentos ideales para cualquier técnico que necesite todas las posibilidades de un osciloscopio de altas prestaciones en una herramienta de mano alimentada por baterías.

<sup>25</sup> <http://www.tequipment.net/fluke/190ScopeFE.html>

Presenta el nivel de la tensión de polarización, amplitud de la señal, ancho de impulsos o velocidad en baudios, tiempo de subida, tiempo de bajada, fluctuaciones, distorsión de la señal, ruido AF, ruido BF, ruido dentro banda. Detecta errores tales como conexiones de cables incorrectas, contactos erróneos, conexiones a tierra incorrectas.

Figura 24. Osciloscopio portátil 225C Fluke



Fuente: <http://www.tequipment.net/fluke>

**3.1.2.5 Multímetro.** El multímetro es quizás el instrumento más importante para localizar averías en los sistemas eléctricos, el multímetro de precisión es muy versátil para realizar medidas exigentes, tanto en bancos de trabajo como en sistemas. La pantalla gráfica permite descubrir problemas con la calidad de la señal como intermitencias variaciones y problemas de estabilidad.

El multímetro marca Fluke<sup>26</sup> referencia 8846A, mostrado en la figura 25, es un multímetro de precisión de 6,5 dígitos 0,0024% de exactitud, puede medir frecuencia y período, también mide temperatura y capacidad, cuenta con la posibilidad de transferencia de datos desde el multímetro al PC con el software FlukeView, con módulo de memoria USB y cable de interfaces.

<sup>26</sup> <http://www.finaltest.com.mx/product/detail>

### Características

- Precisión y versatilidad para aplicaciones en sistemas y bancos de trabajo
- Resolución de 6,5 dígitos
- Precisión básica de  $V_{CC}$  de hasta 0,0024%
- Pantalla con doble modo de visualización
- Rango de corriente de 100  $\mu$ A a 10 A con resolución de hasta 100 pA
- Rango de resistencia de 10  $\Omega$  a 1 G $\Omega$  con resolución de hasta 10  $\mu\Omega$
- Función de medida de resistencia 2 x 4 de 4 hilos
- Ambos modelos miden frecuencia y período
- El modelo 8846A también mide capacidad y temperatura
- Puerto para dispositivo de memoria USB (8846A)
- Emulación de los instrumentos Fluke 45 y Agilent 34401<sup>a</sup>
- Pantalla gráfica
- Modo de registro sin papel Trendplot™, registro estadístico e histogramas

Figura 25. Multímetro 8846A Fluke



Fuente: <http://www.finaltest.com.mx/product/details>.

### 3.1.3 Ventajas de estos equipos

- Estos equipos para bancos de trabajo permiten un fácil manejo de los mismos además de tienen gran exactitud en las mediciones y utilizan métodos de prueba según la ANSI/IEEE.

- Se evita el montaje de instrumentos de medida con un gran número de cables y conexiones que hacen dispendiosa la prueba, además de aumentar posibles errores en la toma de las medidas.
- Los equipos vienen con terminales que permiten trasladar la información a un computador para un fácil manejo de los resultados de las pruebas.
- Equipos como medidor digital de relación de transformación, vienen con un sistema de auto calibración, el ohmmetro hace corrección por temperatura esto aumenta la exactitud de las medidas realizadas.

En la siguiente tabla se detallan los equipos que se deben adquirir, también se indica la marca y el precio de estos equipos con IVA incluido.

Tabla 13. Cuadro resumen de equipos

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANT	MARCA	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
<b>6.</b>	<b>EQUIPOS DE MEDIDA</b>					
6.1.	Medidor digital de relación de transformador modelo DTR 8500	Un	1	AEMC Instrument	13.890.000	13.890.000
6.2.	Megohmetro Modelo 5070	Un	1	AEMC Instrument	18.436.000	18.436.000
6.3.	Micro-Ohmetro Modelo 6250	Un	1	AEMC Instrument	14.375.000	14.375.000
6.4.	Osciloscopio Modelo 225C	Un	1	FLUKE	17.900.000	17.900.000
6.5.	Multímetro de precisión Modelo 8846A	Un	1	FLUKE	5.820.000	5.820.000
	SUMA TOTAL					70.421.000
	IVA (16%)					11.267.360
	<b>TOTAL</b>					<b>81.688.360</b>

### 3.2 COMPUTADORES

El laboratorio cuenta con dos computadores, se requiere de un computador para las clases de laboratorio de alta tensión y otro equipo disponible para el manejo del software y las aplicaciones de los nuevos equipos de medida, además de una impresora, para obtener los resultados impresos de las pruebas realizadas en el laboratorio.

En la siguiente tabla se lista los equipos y el precio con IVA incluido

Tabla 14. Resumen de equipos de cómputo

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT	VALOR UNITARIO	VALORES TOTALES
1	Computador Procesador Intel 2.8 GHz RAM 2GB, Disco Duro 500GB, Unidad de DVDRW, Monitor 19", Teclado, Mouse, 3 puertos USB	Un	2	1.300.000	2.600.000
2	Impresora -fotocopiadora -escáner HP F4480	Un	1		190.000
	<b>SUMA TOTAL</b>				<b>2.790.000</b>

#### 4. SEGURIDAD DEL LAT

En la adecuación del laboratorio, un factor muy importante es la seguridad que éste debe presentar, ya que como su nombre lo indica se trabaja con alta tensión, la seguridad implica todos los factores que hacen posible que el desarrollo de las actividades dentro del laboratorio como son las actividades académicas y la ejecución de pruebas y ensayos, así como el normal desarrollo actividades ajenas al laboratorio que se realicen en los alrededores de este no se alteren o puedan presentar algún peligro para la salud o vida de personas o animales mientras se realicen las actividades propias del laboratorio.

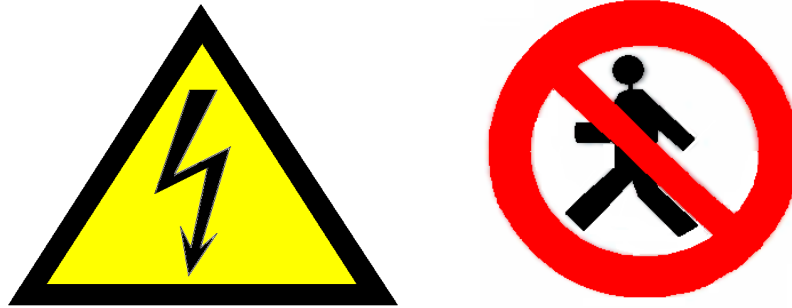
Según lo expuesto anteriormente para que el laboratorio sea seguro se debe cumplir con las normas establecidas para:

- Implementación del sistema de puesta a tierra
- El apantallamiento electromagnético del laboratorio
- Los niveles de iluminación
- Señales de seguridad
- Protocolos de pruebas y ensayos

En el diseño del SPAT, el apantallamiento e iluminación se tuvieron en cuenta las normas establecidas para laboratorios de alta tensión, respecto a las señales de seguridad su según el RETIE su objetivo es transmitir mensajes de prevención, prohibición o información en forma clara, precisa y de fácil entendimiento para todos, en una zona en la que se ejecuten trabajos eléctricos o en zonas de operación de máquinas, equipos o instalaciones que entrañen un peligro potencial.

Se deben instalar los correspondientes letreros informativos, de advertencia y obligación o prohibición en las zonas del laboratorio donde apliquen.

Figura 26. Señales de seguridad



Fuente: diseño del autor

- Riesgo eléctrico: En la entrada del laboratorio alta tensión, en la entrada de la sala de pruebas de alta tensión.
- Use en caso de incendio: Junto al extintor
- Pulse en caso de emergencia: Equipo de control, parada de emergencia
- Señal de la pértiga: Junto a la pértiga de puesta a tierra de los equipos.
- Números telefónicos de emergencia.

En la tabla siguiente se resumen los elementos necesarios para hacer mas seguro el LAT, los valores incluyen el IVA.

Tabla 15. Resumen de elementos de seguridad

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	MARCA	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
1.	Letreros informativos	global	5	-	20.000,00	100.000
2.	extintor	Un	1	-	80.000,00	80.000
3.	Botiquín	Un	1	-	70.000,00	70.000
	<b>SUMA TOTAL</b>					<b>250.000</b>

## 5. DESARROLLO DE LA PROPUESTA FINANCIERA DEL PROYECTO

Para el desarrollo de una propuesta financiera se debe tener muy claro la planificación del proyecto que comprende el contenido, los objetivos, y el proceso. Dentro del desarrollo de la propuesta es muy importante la estructura que comprende el cuerpo de la propuesta y el presupuesto.

La siguiente metodología de identificación, preparación y evaluación de proyectos es necesaria para evaluar proyectos que compitan por fondos del presupuesto para el caso del presupuesto de la Universidad Industrial de Santander.

El manual metodológico General pretende dar herramientas necesarias para identificar, preparar y evaluar a nivel de perfil, proyectos de inversión y establecer las condiciones necesarias para que dicha solución sea la solución óptima y de mínimo costo y con ello asegurar la adecuada asignación de los recursos del presupuesto.

Los proyectos tipo A son aquellos que están relacionados con la producción de bienes y servicios a través de un proceso de producción establecido. En ellos no existe divisibilidad dentro del proceso de inversión. Esto implica que una vez tomada la decisión de inversión se deben realizar todas las obras previstas para que luego de ello se inicie la generación de beneficios. Se incluyen dentro de este grupo los proyectos de infraestructura, de producción de servicios básicos etc.<sup>27,28</sup>

El presente proyecto: Propuesta para la adecuación de la infraestructura del laboratorio de alta tensión de la UIS pertenece al grupo de proyectos tipo A, ya que para obtener los beneficios se requiere que el proyecto este totalmente terminado.

---

<sup>27</sup> Manual Metodológico General, Departamento Nacional de Planeación -DNP

<sup>28</sup> Banco de programas y proyectos de inversión de la UIS – BPPIUIS – Formatos proyectos tipo A



## 5.1 PROPUESTA FINANCIERA

# FORMATOS PROYECTOS TIPO A

<b>FORMATO ID-01: DESCRIPCION DEL PROBLEMA O NECESIDAD</b>
--

Nombre del Proyecto: Propuesta para la adecuación de la infraestructura del laboratorio de alta tensión de la Universidad Industrial de Santander
---

Universidad Industrial de Santander y sus respectivas escuelas de ingeniería en la búsqueda de la excelencia y del fortalecimiento institucional se han interesado en la modernización y acreditación de todos sus laboratorios.

En el estado actual, el laboratorio de alta tensión no se encuentra acreditado; cuenta con importantes equipos para la realización de pruebas y ensayos según su competencia, pero se requiere de la adquisición de algunos equipos de medida, además de las adecuaciones y remodelaciones necesarias en su planta física, para poder realizar los trámites de la acreditación, requisito indispensable para que el laboratorio pueda funcionar en la prestación servicios a particulares y empresas de la región.



## FORMATO ID-02 : OBJETIVOS DEL PROYECTO

Nombre del Proyecto: Propuesta para la adecuación de la infraestructura del laboratorio de alta tensión de la Universidad Industrial de Santander

### OBJETIVO GENERAL:

Como el nombre del proyecto, consiste en la adecuación de la infraestructura del laboratorio de alta tensión de la Universidad Industrial de Santander, para poder tramitar su acreditación.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Se necesita la construcción de un cuarto de 4,85 x 7,75 m para el almacenamiento de maquinaria y equipos.
2. Adecuación de puertas y pisos de la estructura existente.
3. Construcción de la malla del sistema de puesta a tierra.
4. Construcción del sistema de apantallamiento electromagnético.
5. Adecuación del puente grúa existente.
6. Implementación de un sistema de iluminación adecuado para todo el laboratorio.
7. Adquisición de los siguientes equipos de medida: Un medidor digital de relación de transformación, un megóhmetro hasta 5000 V, un micro-ohmetro de 10 A, un osciloscopio Portátil y un multímetro.
8. Adquisición de dos computadores y una impresora multifuncional.
9. Posteriormente solicitar y alcanzar la acreditación del laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Industrial de Santander ante la Superintendencia de Industria y Comercio, SIC.
10. Colocar en funcionamiento el laboratorio de alta tensión, con respecto a la prestación de servicios de pruebas y ensayos a equipos eléctricos principalmente de transformadores de distribución.
11. Ubicar al laboratorio de alta tensión de la universidad industrial de Santander como el laboratorio de alta tensión más importante del nororiente Colombiano.



## **FORMATO ID-03: POBLACION AFECTADA Y/O ZONA AFECTADA POBLACION OBJETIVO DEL PROYECTO**

Nombre del Proyecto: Propuesta para la adecuación de la infraestructura del laboratorio de alta tensión de la Universidad Industrial de Santander

### **A. POBLACIÓN DIRECTAMENTE AFECTADA:**

En Colombia el número de laboratorios acreditados es muy escaso por lo tanto las poblaciones que se beneficiarían del proyecto es muy amplio se beneficiará, en primer plano, el departamento de Santander y, en segundo plano, el Nordeste Colombiano, y la región nororiental de Colombia.

### **B. NÚMERO DE HABITANTES DIRECTAMENTE AFECTADOS POR EL PROBLEMA:**

Los habitantes directamente beneficiados son todos aquellos usuarios del servicio de energía eléctrica cuyas redes o instalaciones eléctricas disponen de maquinas o dispositivos eléctricos que deben ser previamente ensayados por un laboratorio, ya que estas pruebas sirven para asegurar el buen estado y funcionamiento de los mismos, y así asegurar un servicio ininterrumpido de energía, con los beneficios económicos y sociales agregados, según lo anterior se benefician tanto núcleos familiares como el sector industrial y comercial.

### **C. ZONA O ÁREA AFECTADA:**

El departamento de Santander, los departamentos de Norte de Santander, Cesar, Guajira, Magdalena, Atlántico, Bolívar, Sucre y Córdoba, y algunas poblaciones de la región nor-oriental de Colombia ya que los laboratorios existentes están en el centro y occidente del país.

### **D. POBLACIÓN OBJETIVO:**

El número de transformadores, a los cuales se les deben hacer pruebas de laboratorio es considerable, en el sector de las empresas prestadoras del servicio eléctrico, como en las empresas de particulares, por lo tanto la electrificadota de Santander, al igual que las empresas comerciales e industriales, serian los principales beneficiarios.



## **FORMATO ID-04 : DESCRIPCION DE LA SITUACION ACTUAL Y SU EVOLUCION**

Nombre del Proyecto: Propuesta para la adecuación de la infraestructura del laboratorio de alta tensión de la Universidad Industrial de Santander

Hasta los años 90 la universidad presto el servicio de su laboratorio de alta tensión a la empresa privada y oficial externa a la UIS, servicio que se dejo de prestar debido a que la normatividad exigía laboratorios debidamente acreditados, para ello debía hacer el proceso de homologación y cumplir con la legislación existente.

Hay que tener en cuenta que no se dispone de laboratorios acreditados en la región, y la normatividad vigente para la fabricación de de productos eléctricos exigen que estos presenten certificados de calidad, así como las empresas transportadoras y distribuidoras de energía eléctrica necesitan comprobar que los productos que están utilizando en sus instalaciones cumplan con las normas de calidad exigidas.

Es muy importante que los productos importados y comercializados en el país, obtengan certificación de calidad en la búsqueda de proteger a los consumidores de productos que puedan causar daño a su salud, o al medioambiente, además la buena calidad y cumplimiento de las normas técnicas minimiza costos, disminuye las pérdidas reales, y favorece a los usuarios finales.

Actualmente el laboratorio cuenta con equipos importantes para la realización de algunas de las pruebas (algunos se encuentran subutilizados), se debe mejorar la infraestructura y adquirir algunos equipos de medición necesarios, además de gestionar y obtener acreditación del laboratorio.

La necesidad del desarrollo del proyecto se basa en que además de mejorar las condiciones actuales del laboratorio se estaría en la posibilidad de prestar sus servicios de pruebas al sector privado y oficial externo ala UIS lo que además produciría ingresos a la universidad.



## FORMATO ID-05: DESCRIPCION Y CUANTIFICACION DE LA NECESIDAD O PROBLEMA

Nombre del Proyecto: Propuesta para la adecuación de la infraestructura del laboratorio de alta tensión de la Universidad Industrial de Santander

Como se ha descrito anteriormente el laboratorio de alta tensión no se encuentra acreditado por lo cual las pruebas realizadas a maquinarias o equipos carecen de carácter legal.

Actualmente se realizan pruebas y ensayos correspondientes a la materia de alta tensión como son:

- Prueba de de impulso atmosférico, onda de tensión completa y recortada.
- Prueba de de impulso de maniobra, onda de tensión completa.
- Determinación de la tensión de crista  $V_{50\%}$  para aisladores según la norma IEC 60.2 para ondas tipo impulso.
- Pruebas de ruptura dieléctrica en aceites para transformadores.
- Ensayos en pararrayos (prueba de impulso).

No se realizan pruebas que beneficien, a los sectores privado y publico fuera de la universidad, que pueden requerir de los servicios del laboratorio de alta tensión.

Según análisis la capacidad del laboratorio para realizar pruebas en transformadores que seria su principal función es de 2340 transformadores por año trabajando el 75% del tiempo disponible para las pruebas y descontando el tiempo destinado para las clases de laboratorio de la materia de alta tensión, esta cifra estaría muy por debajo de la demanda por año en Colombia, ya que los laboratorios existentes son escasos, y que solo en transformadores que se dañan por año en el sector de las empresas del servicio eléctrico es del orden de los 18000 transformadores.



**FORMATO ID-06: CUANTIFICACION DE LA DEMANDA Y  
OFERTA DEL PRINCIPAL BIEN Y/O SERVICIO**

AÑOS CALENDARIO	Año cero (0):2011 Horizonte de Evaluación:2031 Nombre del bien o servicio: Pruebas y ensayos en transformadores Unidad de medida: Prueba y/o ensayo		
	DEMANDA	OFERTA	DÉFICIT
2011	3700	2340	1360
2012	3737	2340	1397
2013	3774	2340	1434
2014	3812	2340	1472
2015	3850	2340	1510
2016	3889	2340	1549
2017	3928	2340	1588
2018	3967	2340	1627
2019	4007	2340	1667
2020	4047	2340	1707
2021	4087	2340	1747
2022	4128	2340	1788
2023	4169	2340	1829
2024	4211	2340	1871
2025	4253	2340	1913
2026	4296	2340	1956
2027	4339	2340	1999
2028	4382	2340	2042
2029	4426	2340	2086
2030	4470	2340	2130



Entre los servicios que se pueden llegar a prestar se encuentran las mediadas y ensayos a transformadores que seria su principal actividad, las pruebas a materiales dieléctricos, aisladores, y pararrayos estarían en un segundo plano.

**Es conveniente anexar al proyecto un documento soporte explicativo a este formato, en donde se describan las consideraciones, criterios y la forma de cálculo para la determinación de la demanda y oferta del bien o servicio establecido en la formulación del proyecto de inversión.**



## **FORMATO ID-07 : PRINCIPALES ALTERNATIVAS DEL PROYECTO**

Nombre del Proyecto: Propuesta para la adecuación de la infraestructura del laboratorio de alta tensión de la Universidad Industrial de Santander

ALTERNATIVA No. 1 : Construcción de la sala para el almacenamiento de equipos, adquisición de equipos de medida, adecuación del sistema de iluminación, puente grúa, construcción del sistema de puesta a tierra y apantallamiento electromagnético.

Nombre: Adecuación del LAT (planta física e instrumental)

ALTERNATIVA No.    :

Nombre:



### **FORMATO ID-08 : DESCRIPCION DE LA ALTERNATIVA No:1**

Nombre del Proyecto: Propuesta para la adecuación de la infraestructura del laboratorio de alta tensión de la Universidad Industrial de Santander

Nombre de la alternativa: Adecuación del LAT (planta física e instrumental)

Descripción de la alternativa:

1. La obra se realizara en el Edificio N° 27 (Edificio de eléctrica antigua) laboratorio de alta tensión.
2. Se propone la construcción y remodelación de la planta física
  - Se necesita la construcción de un cuarto de 4,85 x 7,75 m para el almacenamiento de maquinaria y equipos.
  - Adecuación de puertas y pisos (103,39 m<sup>2</sup>) de la estructura existente...
  - Construcción de la malla del sistema de puesta a tierra.
  - Construcción del sistema de apantallamiento electromagnético.
  - Adecuación del puente grúa existente.
  - Implementación de un sistema de iluminación adecuado para todo el laboratorio.
3. Adquisición de equipos de alta tecnología.
  - Un medidor digital de relación de transformación, ref. DTR 8500 marca AEMC
  - Un megóhmetro hasta 5000 V, ref. Modelo 5070 marca AEMC
  - Un micro-ohmetro de 10 A, ref. Modelo 6250 marca AEMC
  - Un osciloscopio Portátil, ref. 225C marca Fluke.
  - Un multímetro, ref. 8846A marca Fluke.
4. La vida útil de la propuesta seria mínimo de 20 años, si se cumplen las respectivas renovaciones de acreditación que se debe hacer cada 5 años.

Nombre de la alternativa:

Descripción de la alternativa:



## **FORMATO PE-01: DESCRIPCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LOS PRINCIPALES BENEFICIOS DEL PROYECTO**

SECCION A: Descripción de los principales beneficios del proyecto

Nombre del Proyecto: Propuesta para la adecuación de la infraestructura del laboratorio de alta tensión de la Universidad Industrial de Santander

- La universidad quedaría con un laboratorio de alta tensión renovado respecto a planta física como en equipos de medida.
- La universidad contaría con un laboratorio de alta tensión acreditado.
- El proyecto le representa a la universidad una inversión rentable por la prestación de los servicios del laboratorio.
- La escuela de ingeniería eléctrica en su asignatura de alta tensión podría implementar nuevas prácticas en el laboratorio con sus beneficios académicos implícitos.
- Se benefician el departamento de Santander y los departamentos del norte del país y algunas poblaciones del nor-orient de Colombia ya que en estas zonas no existen laboratorios de alta tensión acreditados.
- Se beneficiaría el sector privado, y publico exterior a la universidad, que requiera de los servicios del laboratorio.
- Se beneficia la comunidad en general en donde estos dispositivos o maquinas probadas en el laboratorio se instalaran, ya que estas pruebas dan la garantía del buen estado de de las mismas, y por ende del buen funcionamiento de las mismas lo que representa un mejor servicio de energía eléctrica.
- Se pueden beneficiar las empresas que importan elementos eléctricos que requieran de pruebas para demostrar el cumplimiento de las normas por parte de estos.



<b>FORMATO PE-01: DESCRIPCION Y CUANTIFICACION DE LOS PRINCIPALES BENEFICIOS DEL PROYECTO</b>				
SECCION B : Cuantificación del principal bien o servicio producido				
Nombre del Proyecto: Propuesta para la adecuación de la infraestructura del laboratorio de alta tensión de la Universidad Industrial de Santander				
Horizonte del Proyecto: 2031				Año cero:2011
BIEN O SERVICIO: Pruebas y ensayos a transformadores UNIDAD DE MEDIDA: <u>Prueba y/o ensayo</u>			FACTOR VALOR PRESENTE	VALOR PRESENTE
AÑO DEL PROYECTO	AÑO CALENDARIO	CANTIDAD PRODUCIDA		
0	2011	2340	1.0000	2340,0000
1	2012	2340	0.8929	2089,3860
2	2013	2340	0.7972	1865,4480
3	2014	2340	0.7118	1665,6120
4	2015	2340	0.6355	1487,0700
5	2016	2340	0.5674	1327,7160
6	2017	2340	0.5066	1185,4440
7	2018	2340	0.4523	1058,3820
8	2019	2340	0.4039	945,1260
9	2020	2340	0.3606	843,8040
10	2021	2340	0.3220	753,4800
11	2022	2340	0.2875	672,7500
12	2023	2340	0.2567	600,6780
13	2024	2340	0.2292	536,3280
14	2025	2340	0.2046	478,7640
15	2026	2340	0.1827	427,5180
16	2027	2340	0.1631	381,6540
17	2028	2340	0.1456	340,7040
18	2029	2340	0.1300	304,2000
19	2030	2340	0.1161	271,6740
			TOTAL	19575,7380



## FORMATO PE-02 : PRESUPUESTO DE OBRA DEL PROYECTO

Sección A: Inversión

Nombre del Proyecto: Propuesta para la adecuación de la infraestructura del laboratorio de alta tensión de la Universidad Industrial de Santander

Alternativa: Construcción de la sala para el almacenamiento de equipos, adquisición de equipos de medida, adecuación del sistema de iluminación, puente grúa, construcción del sistema de puesta a tierra y apantallamiento electromagnético

COMPONENTE	Adquisición de Bienes Muebles					
CATEGORÍA	DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	VLR UNIDAD (Miles de pesos)	VLR PARCIAL (miles de pesos)	Observaciones
Equipos	Medidor digital de relación de transformación	Un	1	16112,4	16112,4	
	Megohmetro	Un	1	21385,76	21385,76	
	Micro-Ohmetro	Un	1	16675	16675	
	Osciloscopio	Un	1	20764	20764	
	Multímetro de precisión	Un	1	6751,2	6751,2	
	Diferencial de 5 toneladas	Un	1	2000	2000	
	Transformador trifásico 40 KVA, 220/0-1000 V	Un	1	14616	14616	
	Computadores	Un	2	1300	2600	
	Impresora	Un	1	190	190	
Adecuaciones	Lamina de acero galvanizado para apantallamiento	m <sup>2</sup>	100	27,608	2760,8	
	Estructura metálica soporte apantallamiento	m	350	22,62	7917	
	Malla eslabonada apantallamiento	m <sup>2</sup>	35	32,48	1136,8	
	Malla electrosoldada M-084 6X2,35 m	m <sup>2</sup>	12	63,06	756,76	



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 OFICINA DE PLANEACION  
 Banco de Programas y Proyectos de Inversión de la UIS - BPPIUIS -  
 Formatos Proyectos Tipo A

COMPONENTE	Adquisición de Bienes Muebles					
CATEGORÍA	DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	VLR UNIDAD (Miles de pesos)	VLR PARCIAL (miles de pesos)	Observaciones
Equipos	Medidor digital de relación de transformación	Un	1	16112,4	16112,4	
	Megohmetro	Un	1	21385,76	21385,76	
	Micro-Ohmetro	Un	1	16675	16675	
	Osciloscopio	Un	1	20764	20764	
	Multímetro de precisión	Un	1	6751,2	6751,2	
	Diferencial de 5 toneladas	Un	1	2000	2000	
	Transformador trifásico 40 KVA, 220/0-1000 V	Un	1	14616	14616	
	Computadores	Un	2	1300	2600	
	Impresora	Un	1	190	190	
Adecuaciones	Lamina de acero galvanizado para apantallamiento	m <sup>2</sup>	100	27,608	2760,8	
	Estructura metálica soporte apantallamiento	m	350	22,62	7917	
	Malla eslabonada apantallamiento	m <sup>2</sup>	35	32,48	1136,8	
	Malla electrosoldada M-084 6X2,35 m	m <sup>2</sup>	12	63,06	756,76	
	Marco en ángulo, para mallas apantallamiento	Global	1	1670,4	1670,4	Marcos para las mallas de las ventanas en m
	Fluorescentes T8 2x32W	Un	9	87,58	788,22	
	Lámpara alta presión sodio 250 W	Un	4	370,28	1480,11	
	Excavación zanja SPAT de a=0,5 m, l=102 m, h= 0,6 m	m <sup>3</sup>	65,68	50	3284	
	Tapado de la zanja SPAT	m <sup>3</sup>	65,68	50	3284	



Adecuaciones	Cable de cobre desnudo SPAT	m	220	12,905	2839,1	
	Varillad de cobre 5/8" x 2,4 m SPAT	Un	33	83,52	2756,16	
	conector cooperweld SPAT	Un	1	16,53	16,53	
	Soldadura exotérmica 90 g SPAT	Un	16	10,38	166,11	
	Soldadura exotérmica 115 g SPAT	Un	33	12,41	409,6	
	Cemento conductor SPAT	Un	139	69,6	9674,4	
	Mano de obra	Global	1	58617,1	58617,1	
Adecuaciones	Demoliciones de pisos y muros	Global	1	875	875	
	Excavaciones a mano para muros	m	12	50	600	
	Construcción salón bodega Muro en H:15	m <sup>2</sup>	119,16	37,5	4468,5	
	Concreto cimientos y viga de amarre piso	m <sup>3</sup>	3,25	500	1625	
	Concreto columnas y vigas de amarre	m <sup>3</sup>	3,23	500	1615	
	Placa e: 40 cm. (no incluye refuerzo)	m <sup>2</sup>	37,35	300	11205	
	Acero de refuerzo	Kg	1204	3,12	3762,5	
	Piso en concreto e: 15 cm.	m <sup>2</sup>	103,39	62,5	6461,87	
	Anclajes en bordes de placa existente	m <sup>2</sup>	25,1	62,5	1568,75	
	Friso interior	m <sup>2</sup>	119,16	10	1191,6	
	friso exterior	m <sup>2</sup>	119,16	10	1191,6	
	Traslado de puerta metálica 2,7 m x 3 m	Un	1	312,5	315,5	
	Pintura interior en vinilo	m <sup>2</sup>	119,16	3,125	372,37	
	Pintura exterior en pinturama	m <sup>2</sup>	119,16	3,125	372,37	
	Pintura para puertas y ventanas metálicas	m <sup>2</sup>	5	6,25	31,25	



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
OFICINA DE PLANEACION  
Banco de Programas y Proyectos de Inversión de la UIS - BPPIUIS -  
Formatos Proyectos Tipo A

	Piso en baldosín de cemento	m <sup>2</sup>	103	31,25	3218,75	
	Adecuación puente grúa	Un	1	312,5	312,5	
	Implementos de seguridad	Global	1	250	250	





**FORMATO PE-03: COSTOS DE INVERSION DE LAS ALTERNATIVAS**

Nombre del Proyecto: Propuesta para la adecuación de la infraestructura del laboratorio de alta tensión de la Universidad Industrial de Santander

Alternativa: Construcción de la sala para el almacenamiento de equipos, adquisición de equipos de medida, adecuación del sistema de iluminación, puente grúa, construcción del sistema de puesta a tierra y apantallamiento electromagnético

(Este formato es generado por el Sistema)



**FORMATO PE-04: COSTOS DE OPERACION DE LAS ALTERNATIVAS**

Nombre del Proyecto: Propuesta para la adecuación de la infraestructura del laboratorio de alta tensión de la Universidad Industrial de Santander

Alternativa: Construcción de la sala para el almacenamiento de equipos, adquisición de equipos de medida, adecuación del sistema de iluminación, puente grúa, construcción del sistema de puesta a tierra y apantallamiento electromagnético

(Este formato es generado por el Sistema)



## FORMATO PE-05 : CAPACIDAD INSTALADA

Nombre del Proyecto: Propuesta para la adecuación de la infraestructura del laboratorio de alta tensión de la Universidad Industrial de Santander

¿CUAL ES LA CAPACIDAD INSTALADA POR EL PROYECTO? Realización de pruebas y ensayos a transformadores.

CANTIDAD: 2340

UNIDAD DE MEDIDA: Prueba y/o ensayo

### OBSERVACIONES:

Según datos de la ESSA anualmente se dañan en el país solo en empresas del sector eléctrico unos 18000 transformadores, que deben ser reemplazos por transformadores nuevos o reparados, para realizar las pruebas a estos transformadores se requeriría de cinco laboratorios. En Santander se realizan estas pruebas en los laboratorios de la ESSA (Laboratorio no acreditado), el tiempo que ellos utilizan para realizar las pruebas a cada transformador es de 30 minutos incluyendo el tiempo de manejo.

Las pruebas y ensayos a transformadores sería la principal función del LAT de la UIS después de la parte académica, según los datos anteriores el LAT estarían en capacidad de atender 2340 transformadores al año, trabajando el 75% del tiempo disponible para las pruebas y descontando el tiempo destinado para las clases de laboratorio de la materia de alta tensión. El valor de cada del servicio de prueba para un transformador es de 60 mil pesos, a preció del año 2010.



**FORMATO PE-06: RESUMEN DE COSTOS DE LA ALTERNATIVA**

Nombre del Proyecto: Propuesta para la adecuación de la infraestructura del laboratorio de alta tensión de la Universidad Industrial de Santander

Alternativa: Construcción de la sala para el almacenamiento de equipos, adquisición de equipos de medida, adecuación del sistema de iluminación, puente grúa, construcción del sistema de puesta a tierra y apantallamiento electromagnético

(Este formato es generado por el Sistema)



## FORMATO PE-07 : EFECTO AMBIENTAL

Nombre del Proyecto: Propuesta para la adecuación de la infraestructura del laboratorio de alta tensión de la Universidad Industrial de Santander

Alternativa: Construcción de la sala para el almacenamiento de equipos, adquisición de equipos de medida, adecuación del sistema de iluminación, puente grúa, construcción del sistema de puesta a tierra y apantallamiento electromagnético.

El suelo donde se construirá el proyecto se encuentra en un 77,56% con piso de cemento y asfalto, el piso cemento debe ser removido para la instalación de la malla de tierra, esta además ocupa un pedazo de la calle de acceso al laboratorio y una área verde contigua a la sala de alta tensión respecto a lo citado anteriormente, los escombros deben ser depositados en un sitio aprobado por la ley para tal fin, en la calle de acceso se deben hacer unas zanjas que deben ser debidamente tapadas y asfaltadas luego de la instalación de la malla, para el área verde también se deben hacer zanjas para la instalación de la malla del sistema de puesta a tierra que deben de ser tapadas y se debe resembrar la capa vegetal que se ha removido para no alterar el entorno del LAT.

La envergadura de la obra es pequeña por lo que durante su construcción no se tendrá un impacto en lo referente a la calidad del aire, fauna o flora, respecto al ambiente cultural tendrá un impacto positivo para la universidad ya que se dispondrá de un laboratorio para estudio e investigación, bien dotado.

Durante la vida útil del proyecto las ondas electromagnéticas que se puedan generar por los ensayos del laboratorio no afectaran en gran medida el ambiente ya que el laboratorio dispondrá de una jaula de Faraday que absorberá en gran medida los efectos electromagnéticos que se puedan generar.



## **FORMATO PE-08: SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE MÍNIMO COSTO**

Nombre del Proyecto: Propuesta para la adecuación de la infraestructura del laboratorio de alta tensión de la Universidad Industrial de Santander

Alternativa No.:1 Construcción de la sala para el almacenamiento de equipos, adquisición de equipos de medida, adecuación del sistema de iluminación, puente grúa, construcción del sistema de puesta a tierra y apantallamiento electromagnético

Costo Precio social: (Información generada por el Sistema)

Nombre de la alternativa: Adecuación del LAT (planta física e instrumental)

OBSERVACIONES:



## **FORMATO PE-09: MARCO INSTITUCIONAL**

Nombre del Proyecto: Propuesta para la adecuación de la infraestructura del laboratorio de alta tensión de la Universidad Industrial de Santander

La entidad responsable para la ejecución del proyecto será la Universidad Industrial de Santander, universidad pública del orden departamental creada el 1 de marzo de 1948. En junio de 2005 recibe la acreditación institucional por parte del MEN por 8 años.

Como motor de fortalecimiento y articulación a los programas académicos funcionan los centros de investigación que sirven de asesoría, capacitación y apoyo a la industria nacional, y actividades académicas y científicas de la institución.

En los últimos años ha realizado importantes obras estructurales, y modernización de laboratorios dentro de la universidad, en la búsqueda de la excelencia y del fortalecimiento institucional.

Estructura organizacional que interviene en la ejecución.

La escuela de ingeniería eléctrica, electrónica y telecomunicaciones E3T, luego de estudiar la viabilidad del proyecto determinara si esté se envía a la oficina de planeación Banco de Programas y Proyectos de Inversión de la UIS – BPPIUIS.

La oficina planeación determinara junto con la oficina de evaluación y control de gestión la ejecución del mismo.



## FORMATO FS-01: FUENTE DE FINANCIACIÓN DE LA INVERSIÓN DEL PROYECTO

Nombre del Proyecto: Propuesta para la adecuación de la infraestructura del laboratorio de alta tensión de la Universidad Industrial de Santander

AÑOS CALENDARIO	CENTRO DE COSTOS	EJECUTADO	0	SALDO	TOTAL
RECURSOS DE INVERSIÓN					
INTERNAS					
Fondo Común					
Estampilla ProUIS			209.400	0	209.400
RECURSOS DE FUNCIONAMIENTO					
TOTAL FINANCIACIÓN INVERSIÓN			209.400	0	209.400

Valores en miles de pesos



**FORMATO FS-02: FUENTE DE FINANCIACIÓN DE LA OPERACIÓN DEL PROYECTO**

Nombre del Proyecto: Propuesta para la adecuación de la infraestructura del laboratorio de alta tensión de la Universidad Industrial de Santander

AÑOS CALENDARIO	CENTRO DE COSTOS	EJECUTADO	0	1	2	3	SALDO	TOTAL
RECURSOS DE INVERSIÓN				82.320	86.000	90.000		
INTERNAS								
Fondos Especiales								
TOTAL FINANCIACION OPERACION				82.320	86.000	90.000		

AÑOS CALENDARIO	CENTRO DE COSTOS	EJECUTADO	4	5	6	7	SALDO	TOTAL
RECURSOS DE INVERSIÓN			94.000					
INTERNAS				98.000	102.000	107.000		
Fondos Especiales								
TOTAL FINANCIACION OPERACION			94.000	98.000	102.000	107.000		

AÑOS CALENDARIO	CENTRO DE COSTOS	EJECUTADO	8	9	10	SALDO	TOTAL
RECURSOS DE INVERSIÓN							
INTERNAS			112.000	117.000	122.000		
Fondos Especiales							
TOTAL FINANCIACION OPERACION			112.000	117.000	122.000		

Valores en miles de pesos



## FORMATO FS-03: SOSTENIBILIDAD DEL PROYECTO

Nombre del Proyecto: Propuesta para la adecuación de la infraestructura del laboratorio de alta tensión de la Universidad Industrial de Santander

- El proyecto es auto sostenible, la inversión se recupera en cuatro años, además el laboratorio estaría en capacidad de asumir los gastos de operación.
- Respecto a la inversión la universidad publica recibe importantes aportes del presupuesto nacional por parte del gobierno, aportes que se pueden utilizar para el desarrollo de la obra, teniendo en cuenta que la obra es lucrativa para la universidad y que en poco tiempo se puede recuperar la inversión
- Respecto a operación los dineros a financiar serian los correspondientes a la consecución de la acreditación por parte de la cámara de industria y comercio, y la capacitación de operarios, luego de unos meses el proyecto es auto sostenible.

## 5.2 ANÁLISIS FINANCIERO

A continuación se realiza un análisis para evaluar la rentabilidad del proyecto

**5.2.1 Costo de la adecuación del LAT.** A continuación se muestra una evaluación aproximada, según las cotizaciones realizadas, del costo del proceso de adecuación del LAT.

Tabla 16. Costo Proceso de adecuación del LAT

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR PARCIAL
1	INFRAESTRUCTURA	Global	Varios	111.096.368,08
2	EQUIPOS	Global	Varios	98.304.360,08
	VALOR TOTAL			209.400.728,16

**5.2.2 Expectativas de ingresos por operación el LAT.** Según datos de la ESSA a 2010 anualmente se dañan en el país solo en empresas del sector eléctrico unos 18000 transformadores, que deben ser reemplazos por transformadores nuevos o reparados, para realizar las pruebas a estos transformadores se requeriría de cinco laboratorios. En Santander se realizan estas pruebas en los laboratorios de las empresas distribuidoras, o de reparación de transformadores, (no realizan pruebas de impulso), el tiempo que ellos utilizan para realizar las pruebas a cada transformador es de 30 minutos incluyendo el tiempo de manejo.

Las pruebas y ensayos a transformadores sería la principal función del LAT de la UIS después de la parte académica, según los datos anteriores el LAT estarían en capacidad de atender 2340 transformadores al año, trabajando el 75% del tiempo disponible para las pruebas y descontando el tiempo destinado para las clases de laboratorio de la materia de alta tensión.

Se debe tener presente que el 25% del tiempo restante se podría utilizar para la realización de pruebas mas especializadas y de más alto costo, como son las

pruebas de tensión impulso a transformadores u otros equipos, prueba para la determinación de la tensión de ruptura de aceites dieléctricos, entre otras.

Tabla 17. Ingresos por operación del LAT

INGRESOS ANUALES OPERATIVOS DEL LABORATORIO					
POR CONCEPTO DE PRUEBAS A TRANSFORMADORES					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	ENSAYOS	GLOBAL	2.340	60.000	140.400.000

**5.2.3 Egresos operativos del LAT.** Los gastos operativos mensuales estimados para el LAT serían los estipulados en la siguiente tabla

Tabla 18. Gastos mensuales operativos del LAT

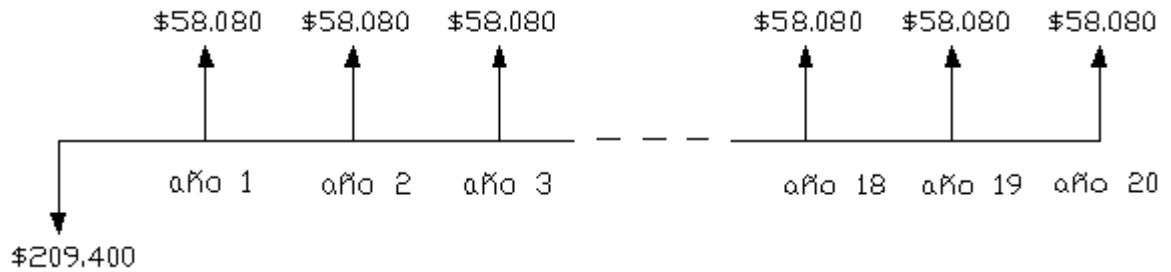
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
1	GASTOS DE PERSONAL		4		6045000
2	PAPELERÍA	GI	1	65.000	65.000
3	MANTENIMIENTO	GI	1	500.000	500.000
4	OTROS	GI	1	250.000	250.000
	TOTAL GASTOS				6.860.000

En un año los gastos del laboratorio ascienden a \$82.320.000,00

**5.2.4 Diagrama de Flujo del Proyecto.** En el siguiente flujo de fondos para el proyecto no se tienen en cuenta gastos financieros, inflación, valor de salvamento ni depreciación, la inversión se efectúa en el año cero.

- Los ingresos anuales en miles de pesos son de \$140.400
- Inversión inicial en miles de pesos es de \$209.400
- Egresos anuales en miles de pesos \$82.320

Figura 27. Flujo del proyecto



Horizonte del proyecto: 20 años, valores en miles de pesos

**5.2.5 Análisis de rentabilidad del laboratorio.** Para analizar si el proyecto es rentable se pueden utilizar cálculos como el valor presente neto, la tasa interna de retorno, o mediante el estudio de la relación beneficio-costos.

**5.2.5.1 Valor presente neto VPN.** El valor presente neto VPN se define en la ecuación 5.2.1 y representa el valor presente de los beneficios netos después de haber recuperado las sumas invertidas en el proyecto y sus correspondientes costos de oportunidad.

El VPN traduce todo costo y todo beneficio a su valor equivalente en el periodo cero, un VPN positivo implica que el proyecto arroja un beneficio aun después de recuperar el dinero invertido y cubrir el costo de oportunidad de las alternativas de inversión.

$$VPN = \sum_{t=0}^T \left( \frac{BN_t}{(1+i_{op})^t} \right) \quad (5.2.1)$$

Donde

$BN_t$  = Beneficio neto en el periodo t

$i_{op}$  = Tasa de interés de oportunidad por periodo

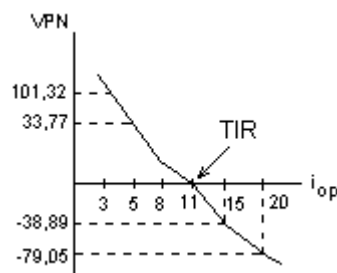
$t = 1, 2, 3 \dots T$

$T =$  Ultimo periodo de la vida del proyecto

El periodo de vida del proyecto es de 20 años, y se realiza con una tasa de interés de oportunidad del 12%, desarrollando la ecuación (5.2.1) se tiene que el valor presente neto es  $VPN = 224.425,3$

**5.2.5.2 Tasa interna de retorno TIR.** Se define como la tasa de descuento intertemporal a la cual los ingresos netos del proyecto apenas cubren los costos de inversión, de operación y de rentabilidades sacrificadas.

Figura 29. El TIR



Fuente: Karen Marie Mokate, Evaluación financiera de proyectos de inversión

El TIR es también la tasa de interés que utilizada en el cálculo del VPN, hace que el valor presente neto del proyecto sea cero, como se muestra en la ecuación (5.2.2) es decir indica la tasa de interés de oportunidad para la cual el proyecto apenas es aceptable.

El TIR se puede usar para analizar flujos convencionales o se aquellos en los cuales los beneficios netos anuales negativos se dan se dan en los primeros años del proyecto y luego se vuelven positivos manteniéndose así durante el resto del proyecto, como en el caso del presente proyecto.

Para que el proyecto sea rentable la tasa de interés oportunidad debe ser inferior al TIR o sea para que el VPN sea positivo.

$$VPN = \sum_{t=0}^T \frac{N_t}{(1+i_{op})^t} = 0 \quad (5.2.2)$$

Despejando  $i_{op}$  para el cual el VPN es cero se obtiene una tasa interna de retorno  $TIR=27,5\%$

**5.2.5.3 Relación beneficio-costo RBC.** Otro indicador de la rentabilidad el proyecto es la relación beneficio costo definido según la siguiente formula

$$RBC = VPB / VPC \quad (5.2.3)$$

Donde

$VPB$  = Valor presente de los beneficios brutos dado por la siguiente expresión

$$VPB = \sum_{t=0}^T \frac{B_t}{(1+i_{op})^t} \quad (5.2.4)$$

$B_t$  = Beneficios brutos el periodo t

$VPC$  = Valor presente de los beneficios brutos dado por la siguiente expresión

$$VPC = \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+i_{op})^t} \quad (5.2.5)$$

$C_t$  = Costos en el periodo t

Evaluando las ecuaciones (5.2.3), (5.2.4) y (5.2.5) se obtienen los siguientes valores

$$VPB = 433.825,3$$

$$VPC = 209.400$$

La relación beneficio-costo será  $RBC = 2,07$

Según el criterio para la toma de dediciones con base en el  $RBC$  es el siguiente: Si  $RBC > 1$ , el rendimiento financiero es aceptable, pues el valor presente de los beneficios es mayor que el de los costos.

Según los datos obtenidos en el análisis del VPN, TIR, RBC el proyecto es viable económicamente.

## CONCLUSIONES

- El proyecto es rentable ya que además de las adecuaciones estructurales, previstas para el proyecto, el laboratorio tiene deficiencias en la parte de iluminación, sistema de tierra y equipos, que necesitan de una pronta atención, por otra parte el proyecto puede generar utilidades para la universidad, en la comercialización de los servicios del laboratorio.
- Para este proyecto se propone la adquisición de equipos de alta tecnología, necesarios para ofrecer medidas con la precisión requerida, que con el personal docente y la administración del laboratorio garantiza una excelente prestación de los servicios a quienes lo soliciten.
- La Universidad se beneficia ya que fortalece su posicionamiento institucional al hacer presencia en el sector eléctrico Colombiano como empresa prestadora de servicios de pruebas y ensayos.
- Se beneficia el desarrollo académico de los estudiantes ya que estas experiencias de pruebas y ensayos aterrizan los conocimientos adquiridos y forman al estudiante en protocolos y normas que se deben seguir en la vida práctica.
- El desarrollo del proyecto, y su posterior acreditación beneficiará no solo al departamento de Santander sino a los departamentos vecinos, quienes no cuentan con laboratorios de alta tensión donde se puedan realizar las pruebas los equipos eléctricos de sus redes eléctricas.

- La utilización de materiales eléctricos que cumplen con las normas de calidad según las pruebas y ensayos, benefician al usuario final ya que esto garantiza en gran parte el buen funcionamiento de sistema eléctrico.

## RECOMENDACIONES

- Para el apantallamiento del laboratorio se propone la implementación de la jaula de Faraday solo hasta la mitad de la altura del laboratorio, dejando la posibilidad de que en un futuro se pueda implementar en toda el área del laboratorio ya que el sistema utilizado permite la ampliación de está sin afectar la estructura que se esta proponiendo.
- Respecto al sistema de puesta a tierra, se debe tener en cuenta que luego de la implementación se deben medir las tensiones de paso, de contacto y transferidas, para comprobar que se está dentro del rango de tensiones tolerables por el cuerpo humano.
- Para el sistema de iluminación luego de la instalación también se deben realizar las respectivas medidas, para verificar el cumplimiento de los niveles de iluminación.
- Para el aprovechamiento de la luz natural y el ahorro de energía, las luminarias que están cerca de la ventana de la sala de control deben tener un circuito independiente de tal forma que permita realizar un control de estas, dependiendo de las condiciones del ambiente.
- Para la iluminación de la sala de alta tensión se recomienda utilizar dos circuitos, para realizar el control de la iluminación de está, dependiendo de las condiciones ambientales y las pruebas a realizar.
- Se debe tener presente que los equipos de medida deben tener su respectivo certificado de calibración, certificado que se debe renovar según las vigencias correspondientes.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] CANTOR RODRÍGUEZ, John Jairo y RAMÍREZ ARDILA Néstor Javier, Manual de seguridad en el laboratorio de alta tensión de la UIS. Trabajo de Grado (Ingeniero Electricista). Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2003.
- [2] MEJÍA MONTES, Ober Tulio y CHANG LEE Yazmín, Transformadores de potencia. Diseño y montaje del laboratorio para ensayos, Trabajo de Grado (Ingeniero Electricista). Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2000.
- [3] RAÚLL MARTÍN, José, Diseño de subestaciones eléctricas, McGraw-Hill/Interamericana de México, S.A. 1992.
- [4] ARIZMENDY WEEBER, Rafael Cristóbal, Acreditación del laboratorio de alta tensión (Documentación). Trabajo de investigación para optar al título de Magíster en Ingeniería Eléctrica. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2003.
- [5] PORRAS RUEDA, María Eugenia, Estudio de las necesidades metrológicas en el área eléctrica del sector productivo y requerimientos para su solución en la región del nororiente Colombiano. Trabajo de investigación para optar al título de Magíster en Ingeniería Electrónica. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2003.
- [6] FRAILE MORA, Jesús, Máquinas Eléctricas McGraw-Hill/Interamericana de España México, S.A.U. 2003.
- [7] Reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE Agosto 2008
- [8] RETILAP, Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público.

- [9] CAVALLIUS Nils Hyltén, High Voltaje Laboratory Planning. Emile Haefely & Co Ltda., Basel / Switzerland 1986
- [10] MOKATE, Karen Marie, Evaluacion Financiera de proyectos de inversion. 2ª edición. Alfaomega Colombiana S.A. 2004.
- [11] LITHONIA LIGHTING Catálogo de productos 2ª edición.
- [12] [http://www.lighting.philips.com/es\\_es/tools\\_downloads/catalogos\\_folletos/index.php?main=es\\_es&parent=1&id=es\\_es\\_tols\\_downloads&lang=es](http://www.lighting.philips.com/es_es/tools_downloads/catalogos_folletos/index.php?main=es_es&parent=1&id=es_es_tols_downloads&lang=es).
- [13] <http://www.sylvania.com.ar/docs/sylvania%>
- [14] [www.cib.espol.edu.ec/bivir/index.htm](http://www.cib.espol.edu.ec/bivir/index.htm). Balseca, Celiano. Diseño de la jaula de Faraday y puesta a tierra del laboratorio de alta tensión de la ESPOL.
- [15] <http://www.terco.se>. HV 9000 Juego Modular de Entrenamiento de Alta Tensión
- [16] <http://www.udistrital.edu.co/comunidad/grupos/gispud/redeselectricas/site/cap6/c6distancia.Php>
- [17] <http://www.ingeneria.org.ar/archivos/epec/ET64.PDF>
- [18] [http://www.Coelce.com.br/SitoWebCoelce/fuentes/Normas\\_Corporativas/COELCE\\_NORMAS\\_CORPORATIVAS\\_20060619\\_286.PDF](http://www.Coelce.com.br/SitoWebCoelce/fuentes/Normas_Corporativas/COELCE_NORMAS_CORPORATIVAS_20060619_286.PDF)
- [19] AEMC Instrument Asistencia técnica,

[20] [http://www.arena.org/eseries/scriptcontent/custom/e\\_arena/library/2000\\_Conference\\_Proceedings/00057.pdf](http://www.arena.org/eseries/scriptcontent/custom/e_arena/library/2000_Conference_Proceedings/00057.pdf)

[21] [http://lc.fie.umich.mx/~a0108394j/Noveno/TR\\_Interruptor.doc](http://lc.fie.umich.mx/~a0108394j/Noveno/TR_Interruptor.doc)

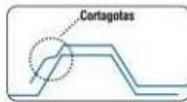
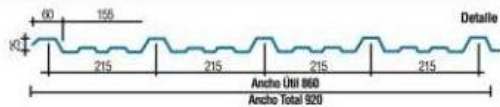
# **ANEXOS**

## Anexo A. Especificaciones técnicas de las láminas para la construcción de la Jaula de Faraday

1. Ahorro de material en estructura de soporte por su bajo peso y la alta resistencia que le proporciona su geometría trapezoidal reforzada.
2. Facilidad de instalación y transporte. No requiere herramienta especializada.
3. Economía y rendimiento. Mayor cobertura con menos tejas.
4. Excelente hermeticidad en los traslapos por su exclusivo diseño del cortagotas.
5. Resistencia a la corrosión. No requieren mantenimiento.
6. Ideal para base de cubierta.

### Tejas de Acero STEELTEC® S 25/86

PROPIEDADES MECANICAS					
Espesor (gauge/mm)	30/0.31	28/0.36	26/0.46	24/0.61	22/0.72
Peso (Kg/m)	2.67	3.05	3.60	4.70	5.48
M(+)-adm(Kg-cm)	1322	1745	2548	3762	4709
M(-)-adm(Kg-cm)	2047	2402	3115	4134	4827
Ix cm <sup>4</sup>	2.51	2.92	3.73	4.94	5.8
Distancia entre correas	1.50	1.70	2.00	2.30	2.50



#### LOCALIZACIÓN Y TIPO DE TORNILLOS



Cubierta elaborada en acero grado 33 (Fy=33Ksi) galvanizado G60 ASTM A-653M que se fabrica con la más alta tecnología para garantizar durabilidad, seguridad y resistencia a la corrosión. La teja ofrece infinitas posibilidades de diseño para cerramientos y cubiertas (incluso en pendientes mínimas) en los sectores industrial, comercial y agrícola. Se suministra en longitudes variables según necesidades para garantizar menor desperdicio de material. Fabricadas en calibres 30, 28, 26, 24 y 22.

PROPIEDADES STEELTEC®	
<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>ACERO GALVANIZADO</b>
Acero Metal Base	Acero Grado 33 (Fy33 Ksi) Icontec NTC 4011 ASTM A653
Calibres	30, 28, 26, 24, 22
Ancho Util	0.86 Mts
Protección a la Corrosión	Acero Galvanizado G 60 Zinc 183 gr/m <sup>2</sup>
Acabado Exterior	Acero Galvanizado a la vista Plateado Flor Regular
Acabado Interior	Acero Galvanizado a la vista Plateado Flor Regular
Resistencia a Altas Temperaturas	250 °C Máximo Interperie 150 °C Máximo Continuo
Inflamabilidad	No
Proceso de Recubrimiento	Zinc por inmersión caliente Proceso continuo
Resistencia a la corrosión	Buena 330 Hs
Prueba de cámara salina hasta la aparición de Óxido Rojo ASTM B 117	
Prueba Kesternich ASTM G 87	5 ciclos
Durabilidad ambiente marino	15 años aparición de óxido rojo

\*Longitudes según su necesidad.



Tr. 59 (antes Cr. 43A) # 106 - 12 PBX 226 4410 Fax: 271 3457 Celufijo: 311 254 7583  
[www.steelcolombia.com](http://www.steelcolombia.com)



## **Anexo B. Licencia de Uso DIALux**

DIAL GmbH  
User Licence Agreement  
DIALux

### **NOTICE TO USER:**

THIS IS A CONTRACT BETWEEN YOU AND THE DIAL GmbH ("DIAL"), A GERMAN CORPORATION. BY INSTALLING THE "SOFTWARE" (AS DEFINED BELOW), YOU ACCEPT ALL THE TERMS AND CONDITIONS OF THIS AGREEMENT. The term "Software" shall also include any upgrades, modified versions or updates of the Software licensed to you by DIAL. Please read this Agreement carefully. At the end, you will be asked to accept this Agreement and continue to install or, if you do not wish to accept this Agreement, to decline this Agreement, in which case you will not be able to use the Software. This is a licence agreement and not an agreement for sale. DIAL continues to own the copy of the Software and the physical media contained in this package and any other copy that you are authorised to make pursuant to this Agreement. Upon your acceptance of this Agreement, DIAL grants to you a non-exclusive licence to use the Software, provided that you agree to the following:

#### **1. Use of the Software.**

You may install the Software on a hard disk or other storage device; install and use the Software on a file server for use on a network for the purposes of (i) permanent installation onto hard disks or other storage devices or (ii) use of the Software over such network; and make backup copies of the Software.

You may not make and distribute copies of the Software.

#### **2. Copyright and Trademark Rights.**

The Software is the intellectual property of DIAL and its suppliers and is protected by international treaty provisions, and applicable laws of the country in which it is being used. The structure, organisation and code of the Software are the valuable trade secrets and confidential information of DIAL and its suppliers.

This Agreement does not grant you any intellectual property rights in the Software.

#### **3. No Warranty.**

The Software is being delivered to you AS IS and DIAL makes no warranty as to its use of performance. DIAL AND ITS SUPPLIERS DO NOT AND CANNOT WARRANT THE PERFORMANCE OR RESULTS YOU MAY OBTAIN BY USING THE SOFTWARE OR DOCUMENTATION. DIAL AND ITS SUPPLIERS MAKE NO WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, AS TO NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY RIGHTS, MERCHANTABILITY, OR FITNESS FOR ANY PARTICULAR PURPOSE. IN NO EVENT WILL DIAL OR ITS SUPPLIERS BE LIABLE TO YOU FOR ANY CONSEQUENTIAL, INCIDENTAL OR SPECIAL DAMAGES, INCLUDING ANY LOST PROFITS OR LOST SAVINGS, EVEN IF AN ADOBE REPRESENTATIVE HAS BEEN ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES, OR FOR ANY CLAIM BY ANY THIRD PARTY.

## Anexo C. Cálculos de iluminación de la sala de alta tensión

Proyecto 1

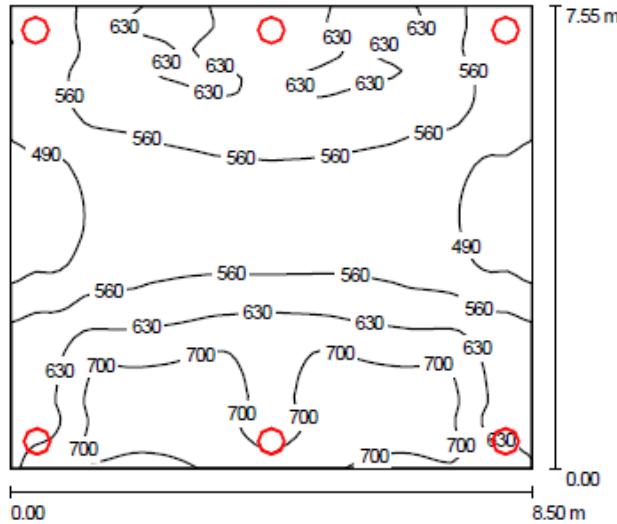
**DIALux**  
25.05.2010

Proyecto elaborado por Oliverio Mejia A.  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

### Índice

Proyecto 1	
Índice	1
Local 1	
Resumen	2
Resultados luminotécnicos	3
<b>Superficies del local</b>	
Plano útil	
Isolíneas (E)	4
<b>Superficie de cálculo UGR 1</b>	
Gráfico de valores (UGR)	5
Tabla (UGR)	6

**Local 1 / Resumen**



Altura del local: 6.500 m, Factor mantenimiento: 0.76

Valores en Lux, Escala 1:97

Superficie	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Plano útil	/	596	443	764	0.74
Suelo	20	559	428	658	0.77
Paredes (4)	50	372	125	5881	/

**Plano útil:**

Altura: 0.850 m  
Trama: 64 x 64 Puntos  
Zona marginal: 0.000 m

**Lista de piezas - Luminarias**

N°	Pieza	Designación (Factor de corrección)	$\Phi$ [lm]	P [W]
1	6	Lithonia Lighting TE 200S E17 C (SC=1.1) ENCLOSED ALUMINUM OPTICAL, 200 HPS W/ CONCENTRATING DISTRIBUTION (1.000)	22000	245.0
Total:			132000	1470.0

Valor de eficiencia energética: 22.91 W/m<sup>2</sup> = 3.85 W/m<sup>2</sup>/100 lx (Base: 64.18 m<sup>2</sup>)

Proyecto elaborado por Oliverio Mejia A.  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

### Local 1 / Resultados luminotécnicos

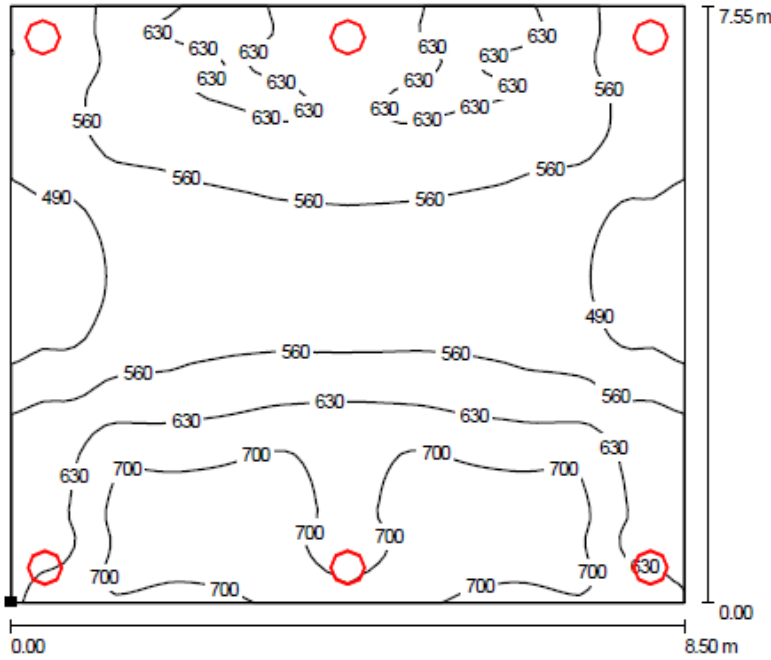
Flujo luminoso total: 132000 lm  
Potencia total: 1470.0 W  
Factor mantenimiento: 0.76  
Zona marginal: 0.000 m

Superficie	Intensidades lumínicas medias [lx]			Grado de reflexión [%]	Densidad lumínica media [cd/m <sup>2</sup> ]
	directo	indirecto	total		
Plano útil	446	150	596	/	/
Suelo	418	141	559	20	36
Pared 1	198	161	359	50	57
Pared 2	193	167	360	50	57
Pared 3	241	156	398	50	63
Pared 4	196	171	367	50	58

Simetrías en el plano útil  
E<sub>min</sub> / E<sub>m</sub>: 0.74  
E<sub>min</sub> / E<sub>max</sub>: 0.58

Valor de eficiencia energética: 22.91 W/m<sup>2</sup> = 3.85 W/m<sup>2</sup>/100 lx (Base: 64.18 m<sup>2</sup>)

**Local 1 / Plano útil / Isolíneas (E)**



Valores en Lux, Escala 1 : 75

Situación de la superficie en el local:  
Punto marcado:  
(0.000 m, 0.000 m, 0.850 m)



Trama: 64 x 64 Puntos

$E_m$  [lx]  
596

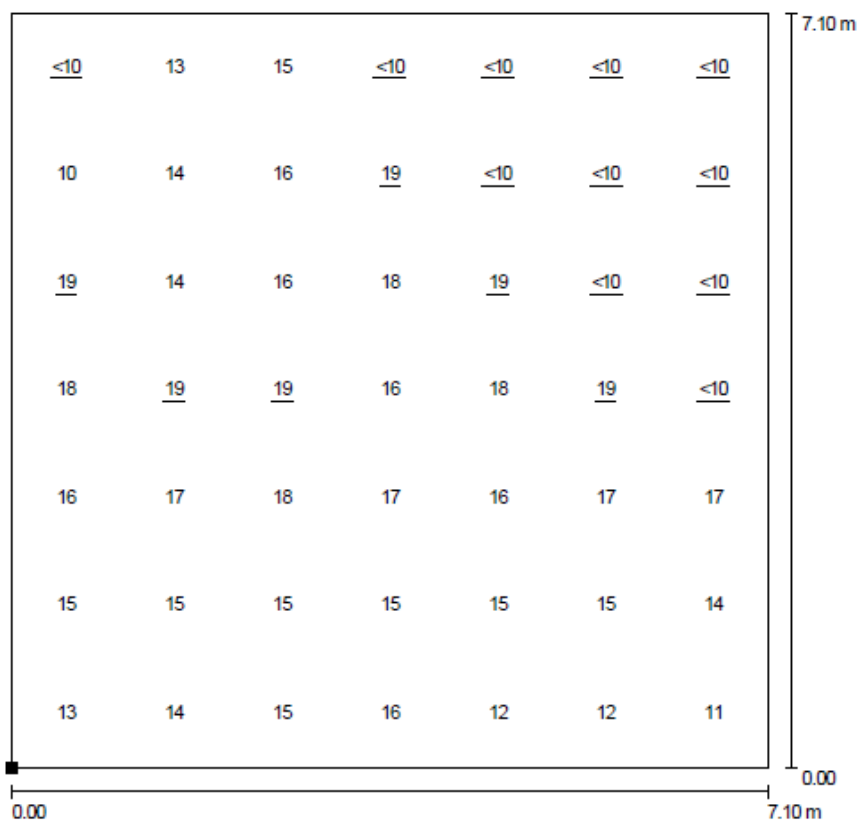
$E_{min}$  [lx]  
443

$E_{max}$  [lx]  
764

$E_{min} / E_m$   
0.74

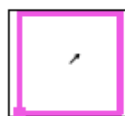
$E_{min} / E_{max}$   
0.58

**Local 1 / Superficie de cálculo UGR 1 / Gráfico de valores (UGR)**



Escala 1 : 56

Situación de la superficie en el local:  
Punto marcado:  
(0.750 m, 0.275 m, 0.800 m)



Trama: 7 x 7 Puntos

Min  
/

Max  
19

Proyecto elaborado por Oliverio Mejia A.  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

**Local 1 / Superficie de cálculo UGR 1 / Tabla (UGR)**



Situación de la superficie en el local:  
Punto marcado:  
(0.750 m, 0.275 m, 0.800 m)



6.594	<10	13	15	<10	<10	<10	<10
5.579	10	14	16	<u>19</u>	<10	<10	<10
4.565	<u>19</u>	14	16	18	<u>19</u>	<10	<10
3.550	18	<u>19</u>	<u>19</u>	16	18	<u>19</u>	<10
2.536	16	17	18	17	16	17	17
1.522	15	15	15	15	15	15	14
0.507	13	14	15	16	12	12	11
<b>m</b>	<b>0.507</b>	<b>1.522</b>	<b>2.536</b>	<b>3.550</b>	<b>4.565</b>	<b>5.579</b>	<b>6.594</b>

Atención: Las coordenadas se refieren al diagrama ya mencionado.

Trama: 7 x 7 Puntos

Min  
/

Max  
19

## Anexo D. Cálculos de iluminación del almacén de equipos

Almacén

**DIALux**  
25.05.2010

Proyecto elaborado por Oliverio Mejia A.  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

### Índice

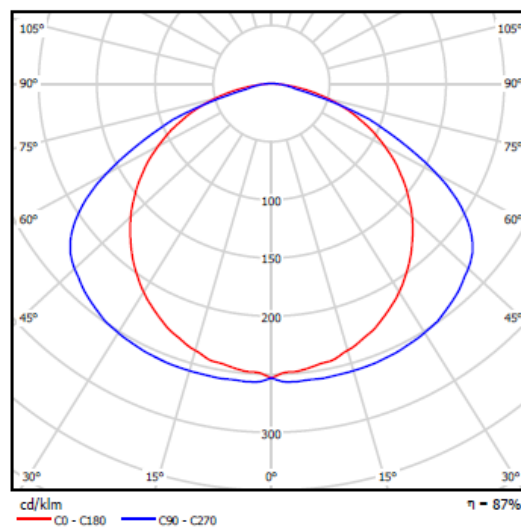
<b>Almacén</b>	
Índice	1
<b>Lithonia Lighting EJ 2 32 MVOLT GEB10IS GENERAL PURPOSE INDUSTRIAL ...</b>	
Hoja de datos de luminarias	2
<b>Almacen</b>	
Resumen	3
<b>Superficies del local</b>	
<b>Superficie de cálculo UGR 1</b>	
Gráfico de valores (UGR)	4
Tabla (UGR)	5

Proyecto elaborado por Oliverio Mejia A.  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

## Lithonia Lighting EJ 2 32 MVOLT GEB10IS GENERAL PURPOSE INDUSTRIAL 12" X 4' 2 LAMP T8 ELEC / Hoja de datos de luminarias

Dispone de una imagen de la luminaria en nuestro catálogo de luminarias.

Emisión de luz 1:

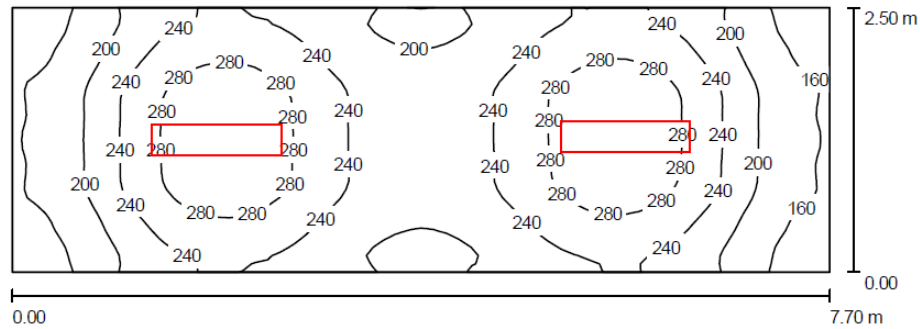


Clasificación luminarias según CIE: 100  
Código CIE Flux: 42 77 96 100 88

Emisión de luz 1:

Proyecto elaborado por Oliverio Mejia A.  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

## Almacen / Resumen



Altura del local: 3.000 m, Altura de montaje: 3.000 m, Factor mantenimiento: 0.75

Valores en Lux, Escala 1:56

Superficie	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Plano útil	/	231	134	311	0.58
Suelo	20	175	120	208	0.69
Techo	70	65	47	77	0.72
Paredes (4)	50	149	60	370	/

**Plano útil:**

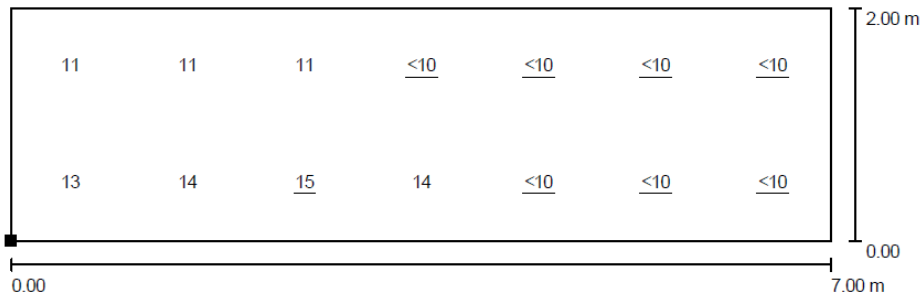
Altura: 0.850 m  
Trama: 64 x 32 Puntos  
Zona marginal: 0.000 m

**Lista de piezas - Luminarias**

N°	Pieza	Designación (Factor de corrección)	$\Phi$ [lm]	P [W]
1	2	Lithonia Lighting EJ 2 32 MVOLT GEB10IS GENERAL PURPOSE INDUSTRIAL 12" X 4' 2 LAMP T8 ELEC (1.000)	5800	58.0
Total:			11600	116.0

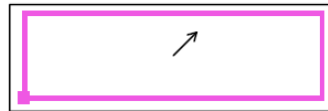
Valor de eficiencia energética:  $6.03 \text{ W/m}^2 = 2.60 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Base:  $19.25 \text{ m}^2$ )

**Almacen / Superficie de cálculo UGR 1 / Gráfico de valores (UGR)**



Escala 1 : 51

Situación de la superficie en el local:  
Punto marcado:  
(0.353 m, 0.306 m, 0.850 m)



Trama: 7 x 2 Puntos

Min  
/

Max  
15

Proyecto elaborado por Oliverio Mejia A.  
 Teléfono  
 Fax  
 e-Mail

**Almacen / Superficie de cálculo UGR 1 / Tabla (UGR)**



Situación de la superficie en el local:  
 Punto marcado:  
 (0.353 m, 0.306 m, 0.850 m)



<b>1.500</b>	11	11	11	<10	<10	<10	<10
<b>0.500</b>	13	14	<u>15</u>	14	<10	<10	<10
<b>m</b>	<b>0.500</b>	<b>1.500</b>	<b>2.500</b>	<b>3.500</b>	<b>4.500</b>	<b>5.500</b>	<b>6.500</b>

Atención: Las coordenadas se refieren al diagrama ya mencionado.

Trama: 7 x 2 Puntos

Min  
/

Max  
15

## Anexo E. Iluminación de la sala de control del LAT

Sala de control

**DIALux**

22.01.2001

Proyecto elaborado por Oliverio Mejía A.  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

### Índice

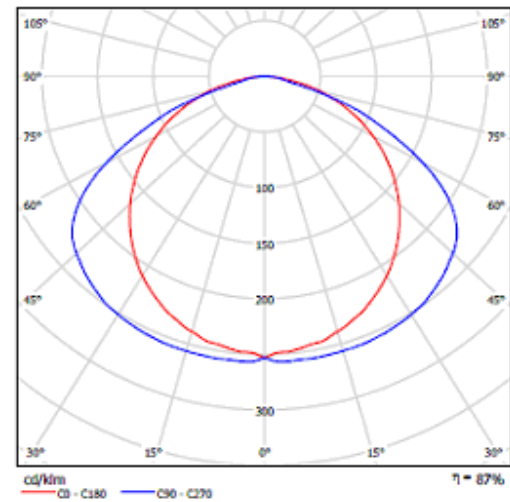
<b>Sala de control</b>	
Índice	1
Lithonia Lighting EJ 2 32 MVOLT GEB10IS GENERAL PURPOSE INDUSTRIAL ...	
Hoja de datos de luminarias	2
<b>Local 1</b>	
Resumen	3
Protocolo de entrada	4
Luminarias (lista de coordenadas)	5
Superficies UGR (lista de coordenadas)	6
Resultados luminotécnicos	7
Observador UGR (sumario de resultados)	8
<b>Superficies del local</b>	
Plano útil	
Gráfico de valores (E)	10
<b>Superficie de cálculo UGR 1</b>	
Gráfico de valores (UGR)	11

Proyecto elaborado por Oliverio Mejia A.  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

**Lithonia Lighting EJ 2 32 MVOLT GEB10IS GENERAL PURPOSE INDUSTRIAL 12" X 4'  
2 LAMP T8 ELEC / Hoja de datos de luminarias**

Dispone de una imagen de la luminaria en nuestro catálogo de luminarias.

Emisión de luz 1:

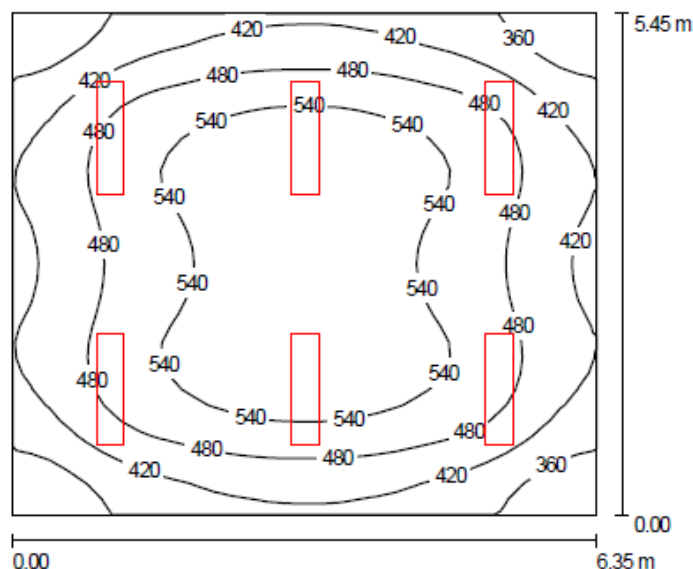


Clasificación luminarias según CIE: 100  
Código CIE Flux: 42 77 96 100 88

Emisión de luz 1:

Proyecto elaborado por Oliverio Mejia A.  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

## Local 1 / Resumen



Altura del local: 3.000 m, Altura de montaje: 3.000 m, Factor mantenimiento: 0.75

Valores en Lux, Escala 1:70

Superficie	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Plano útil	/	479	308	581	0.64
Suelo	20	396	276	477	0.70
Techo	70	111	76	140	0.69
Paredes (4)	50	291	119	522	/

**Plano útil:**

Altura: 0.850 m  
Trama: 32 x 32 Puntos  
Zona marginal: 0.000 m

**Lista de piezas - Luminarias**

Nº	Pieza	Designación (Factor de corrección)	$\Phi$ [lm]	P [W]
1	6	Lithonia Lighting EJ 2 32 MVOLT GEB10IS GENERAL PURPOSE INDUSTRIAL 12" X 4' 2 LAMP T8 ELEC (1.000)	5800	58.0
Total:			34800	348.0

Valor de eficiencia energética:  $10.06 \text{ W/m}^2 = 2.10 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Base:  $34.61 \text{ m}^2$ )

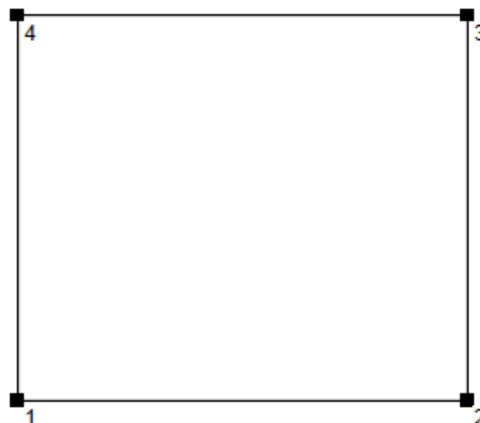
Proyecto elaborado por Oliverio Mejia A.  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

### Local 1 / Protocolo de entrada

Altura del plano útil: 0.850 m  
Zona marginal: 0.000 m

Factor mantenimiento: 0.75

Altura del local: 3.000 m  
Base: 34.61 m<sup>2</sup>



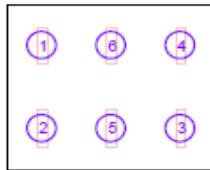
Superficie	Rho [%]	desde ( [m]   [m] )	hacia ( [m]   [m] )	Longitud [m]
Suelo	20	/	/	/
Techo	70	/	/	/
Pared 1	50	( 0.000   0.000 )	( 6.350   0.000 )	6.350
Pared 2	50	( 6.350   0.000 )	( 6.350   5.450 )	5.450
Pared 3	50	( 6.350   5.450 )	( 0.000   5.450 )	6.350
Pared 4	50	( 0.000   5.450 )	( 0.000   0.000 )	5.450

Proyecto elaborado por Oliverio Mejia A.  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

### Local 1 / Luminarias (lista de coordenadas)

#### Lithonia Lighting EJ 2 32 MVOLT GEB10IS GENERAL PURPOSE INDUSTRIAL 12" X 4' 2 LAMP T8 ELEC

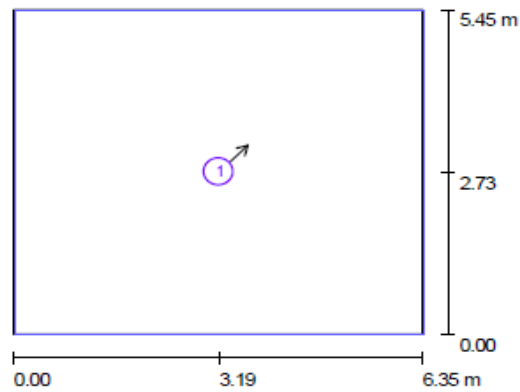
5800 lm, 58.0 W, 1 x 2 x TWO 32-WATT T8 LINEAR FLUORESCENT. (Factor de corrección 1.000).



N°	Posición [m]			Rotación [°]		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	1.058	4.088	3.000	0.0	0.0	-90.0
2	1.058	1.363	3.000	0.0	0.0	90.0
3	5.292	1.363	3.000	0.0	0.0	90.0
4	5.292	4.088	3.000	0.0	0.0	90.0
5	3.175	1.363	3.000	0.0	0.0	90.0
6	3.175	4.088	3.000	0.0	0.0	90.0

Proyecto elaborado por Oliverio Mejia A.  
 Teléfono  
 Fax  
 e-Mail

### Local 1 / Superficies UGR (lista de coordenadas)



Escala 1 : 100

#### Lista de superficies UGR

Nº	Designación	Posición [m]			Tamaño [m]		Dirección visual [°]
		X	Y	Z	L	A	
1	Superficie de cálculo UGR 1	3.190	2.725	0.850	6.350	5.450	45.0

Proyecto elaborado por Oliverio Mejia A.

Teléfono

Fax

e-Mail

**Local 1 / Resultados luminotécnicos**

Flujo luminoso total: 34800 lm  
 Potencia total: 348.0 W  
 Factor mantenimiento: 0.75  
 Zona marginal: 0.000 m

Superficie	Intensidades luminicas medias [lx]			Grado de reflexión [%]	Densidad luminica media [cd/m²]
	directo	indirecto	total		
Plano útil	364	115	479	/	/
Suelo	279	117	396	20	25
Techo	0.00	111	111	70	25
Pared 1	179	106	285	50	45
Pared 2	193	105	298	50	47
Pared 3	179	106	285	50	45
Pared 4	193	104	298	50	47

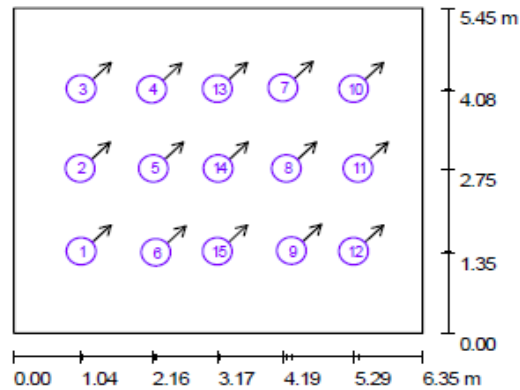
Simetrías en el plano útil

 $E_{min} / E_m$ : 0.64 $E_{min} / E_{max}$ : 0.53

Valor de eficiencia energética: 10.06 W/m² = 2.10 W/m²/100 lx (Base: 34.61 m²)

Proyecto elaborado por Oliverio Mejia A.  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

### Local 1 / Observador UGR (sumario de resultados)



Escala 1 : 100

#### Lista de puntos de cálculo UGR

N°	Designación	Posición [m]			Dirección visual [°]	Valor
		X	Y	Z		
1	Punto de cálculo UGR 1	1.058	1.363	0.850	45.0	20
2	Punto de cálculo UGR 2	1.042	2.751	0.850	45.0	19
3	Punto de cálculo UGR 3	1.058	4.088	0.850	45.0	15
4	Punto de cálculo UGR 4	2.155	4.076	0.850	45.0	14

Proyecto elaborado por Oliverio Mejia A.  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

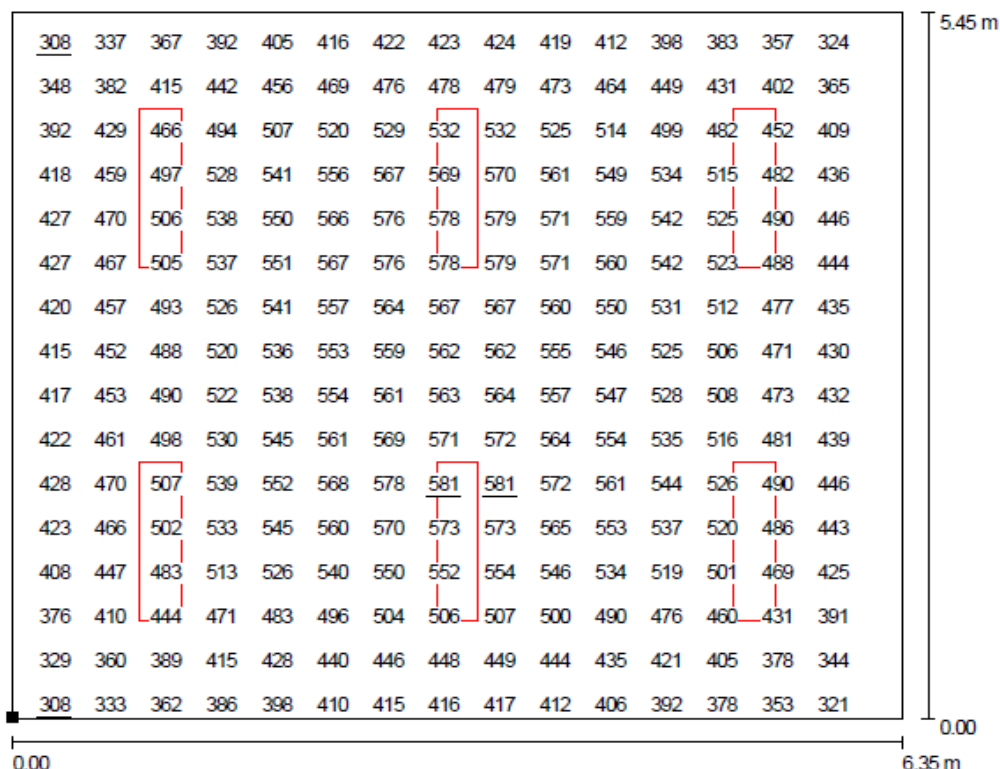
### Local 1 / Observador UGR (sumario de resultados)

#### Lista de puntos de cálculo UGR

N°	Designación	Posición [m]			Dirección visual [°]	Valor
		X	Y	Z		
5	Punto de cálculo UGR 5	2.182	2.751	0.850	45.0	18
6	Punto de cálculo UGR 6	2.219	1.346	0.850	45.0	19
7	Punto de cálculo UGR 7	4.195	4.103	0.850	45.0	/
8	Punto de cálculo UGR 8	4.248	2.751	0.850	45.0	13
9	Punto de cálculo UGR 9	4.327	1.374	0.850	45.0	14
10	Punto de cálculo UGR 10	5.292	4.088	0.850	45.0	/
11	Punto de cálculo UGR 11	5.361	2.751	0.850	45.0	/
12	Punto de cálculo UGR 12	5.292	1.362	0.850	45.0	10
13	Punto de cálculo UGR 13	3.175	4.088	0.850	45.0	12
14	Punto de cálculo UGR 14	3.188	2.751	0.850	45.0	16
15	Punto de cálculo UGR 15	3.175	1.363	0.850	45.0	18

Proyecto elaborado por Oliverio Mejia A.  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

Local 1 / Plano útil / Gráfico de valores (E)



Valores en Lux, Escala 1 : 46

No pudieron representarse todos los valores calculados.

Situación de la superficie en el local:

Punto marcado:  
(0.000 m, 0.000 m, 0.850 m)



Trama: 32 x 32 Puntos

$E_m$  [lx]  
479

$E_{min}$  [lx]  
308

$E_{max}$  [lx]  
581

$E_{min} / E_m$   
0.64

$E_{min} / E_{max}$   
0.53



## **Anexo F. Selección de las luminarias para la bodega y la sala de control**

Para la iluminación de la bodega y la sala de control se utilizarán luminarias con tubos fluorescentes T8 y balastro de encendido rápido, según las recomendaciones<sup>29,30</sup> siguientes:

- Los tubos fluorescentes son ideales para la iluminación general de interiores como oficinas, fábricas y lugares públicos en general.
- No es recomendable utilizar tubos fluorescentes de precalentamiento (preheat), ya que son menos eficientes en el consumo de energía.
- Los tubos fluorescentes tipo T8, operan con balastos “rapid start” y “slim line” requiriendo menor potencia que los convencionales T12, logrando mayor eficacia lumínica.
- Los tubos fluorescentes de arranque rápido (Rapid Star) usan balastos más eficientes y más pequeños que los de arranque instantáneo.
- La lámpara T8 tienen un alto rendimiento de color y eficiencia lumínica, y pueden durar 10 veces más y ahorrar hasta un 75% de energía en iluminación.
- Las lámparas fluorescentes T5 son mucho más eficientes que las lámparas fluorescentes T8, pero las luminarias con lámpara T5 vienen especificadas para un mayor consumo de potencia.

---

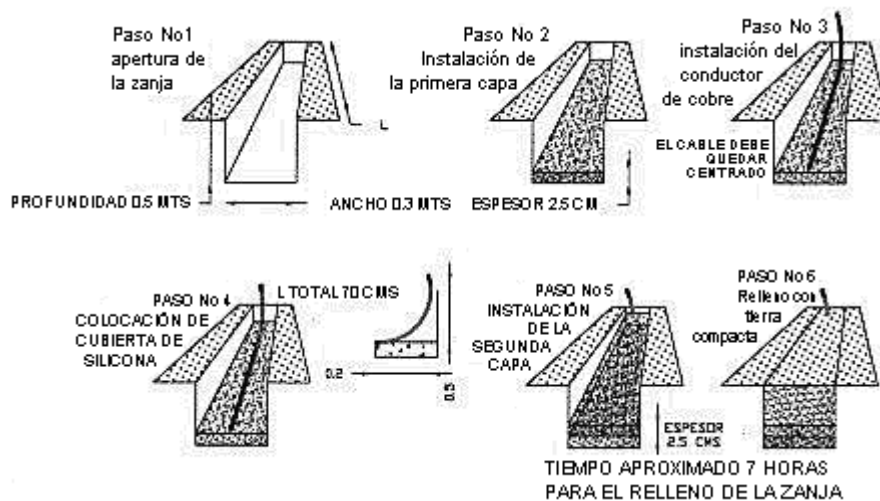
<sup>29</sup> RETILAP

<sup>30</sup> [http://www.sylvania.com.ar/docs/sylvania%. Catalogo Sylvania](http://www.sylvania.com.ar/docs/sylvania%20Catalogo%20Silvania)

## Anexo G. Cemento conductor

El cemento conductor es utilizado en lo que es llamado un groundbed, el cual es básicamente un contrapeso relleno. De acuerdo a la fig. 1 se dispone de una zanja de 50 cm. De profundidad mínima de 30 cm de ancho y una longitud que depende de la resistividad del terreno en ohmios-metro y de la resistencia objetivo que se busca.

Figura 1. Montaje del SPAT con cemento conductor



Fuente: cementos CELEC

Teniendo hecha la excavación, procedemos a instalar la primera capa de cemento conductor, mezclándolo previamente con agua hasta adquirir una consistencia de mortero, colocando un primer recubrimiento de 2.5 cm. de espesor. A continuación se coloca el conductor de cobre desnudo, dejándolo centrado y cubriéndolo con otra capa de 2.5 cm. Posteriormente se cubre la zanja con tierra vegetal, cuidando de no dejar componentes que dañen la homogeneidad del cemento. Especial cuidado se debe tener cuando el conductor sale del cemento, atravesando la capa vegetal: El cable de cobre en este trayecto debe ir aislado, debido a que el cambio de medio (Resistividades diferentes) produce un efecto galvánico que con el tiempo llega a oxidar el conductor.

## **Anexo H. Malla del SPAT usando cemento conductor**

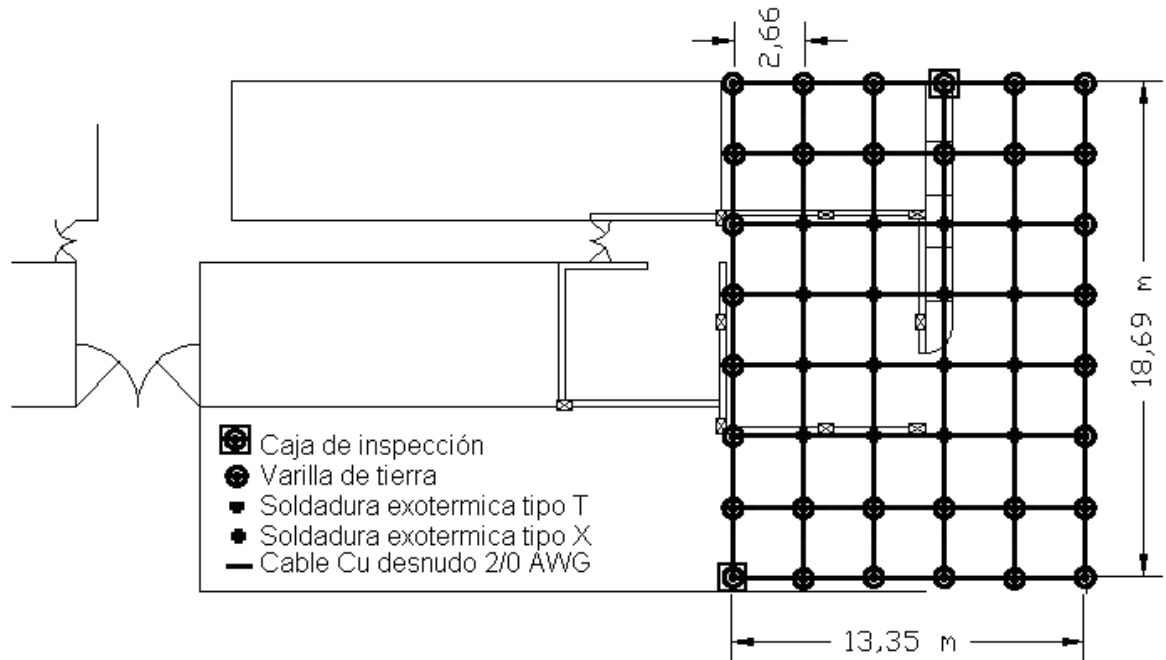
La malla de puesta a tierra estará conformada por electrodos de cobre calibre AWG 2/0, y con varillas de cobre duro de 5/8" de diámetro y 2,4 m de longitud, las uniones se realizarán con soldadura exotérmica.

Para el diseño se tendrán en cuenta los siguientes datos:

- Cálculo de tensiones de toque y de paso para personas de 50 kg
- Resistividad aparente del terreno es de  $\rho$ : 132 [ $\Omega$ .m.] suelo homogéneo.
- Terreno disponible: 13,3 x 18,7 [m]
- Profundidad de la malla: 60 [cm]
- Número de varillas de cobre 5/8" y 2,4 m de longitud: 32 Unidades
- Corriente máxima de falla a tierra: 367 [A]
- Tiempo de despeje de la falla a tierra: 0,05 [ms]
- No se utilizará una capa superficial de alta resistividad sobre el terreno de la malla

En la figura (Ubicación de la malla del sistema de tierra del LAT) se muestra el esquema general del SPAT del LAT, donde se detalla la forma y magnitud de la malla y la ubicación de las varillas.

Figura. Ubicación de la malla del sistema de tierra del LAT



Fuente: diseño del autor

La resistencia de cualquier electrodo de puesta a tierra para un suelo tratado con tierra artificial es:<sup>31</sup>

$$R = \frac{1}{2\pi L} \left[ \rho \left( \ln \left( \frac{8L}{2r_1} \right) - 1 \right) + \rho_1 \left( \ln \left( \frac{8L}{2r} \right) - 1 \right) - \rho_1 \left( \ln \left( \frac{8L}{2r_1} \right) - 1 \right) \right] \Omega$$

Donde:

$\rho$  = Resistividad del suelo

$\rho_1$  = Resistividad del suelo mejorado (100  $\Omega^*$  cm)

<sup>31</sup> SAAVEDRA C. Vladimir , CASTRO S. NILSON A. Diseño De Instalaciones Eléctricas Para Cargas Sensibles Y Protección Contra Rayos De Las Edificaciones Administración, Laboratorios Pesados (Civil) Y Luís Arias De La Universidad Industrial De Santander

$L$  = Longitud del electrodo

$r$  = Diámetro del electrodo

$r_1$  = diámetro del volumen mejorado

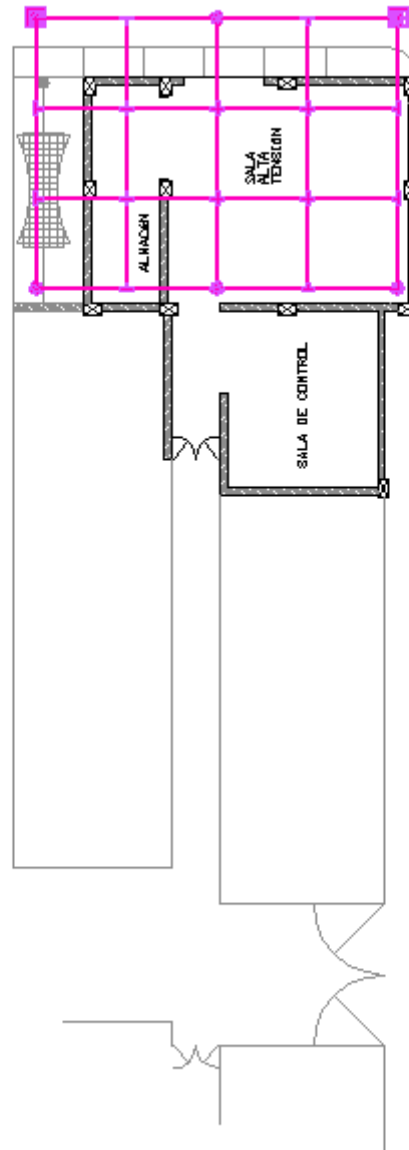
Desarrollando la ecuación anterior, con un diámetro del volumen mejorado de 5 cm y para una longitud del electrodo de la malla, incluida las varillas de 295,8 m se obtiene una resistencia de  $R = 0,65\Omega$  valor inferior a un Ohmio.

A continuación se listan las obras y materiales necesarios para la construcción del sistema de puesta a tierra con sus respectivos valores.

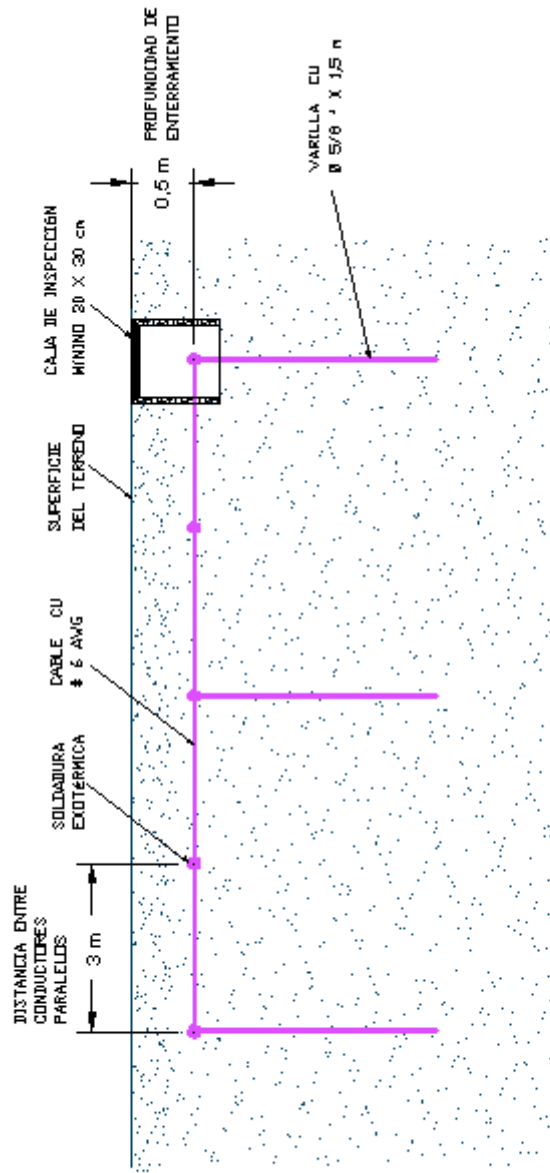
Tabla. Resumen de obras y materiales utilizados para el SPAT

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNID	CANT	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
<b>1.</b>	<b>Sistema de puesta a tierra</b>				
1.1.	Excavación zanja de a=0,5 m, l= 218,94 m, h= 0,6 m	m <sup>3</sup>	65,68	40.000	2.627.200
1.2.	Tapado de la zanja	m <sup>3</sup>	65,68	40.000	2.627.200
	SUMA				5.254.400
	AIU(25%)				1.313.600
	<b>TOTAL</b>				<b>6.568.000</b>
1.3.	Cable de cobre desnudo	m	220	11.125	2.447.500
1.4.	Varillad de cobre 5/8" x 2,4 m	Un	33	72.000	2.376.000
1.5.	Conector cooperweld	Un	1	14.250	14.250
1.6.	Soldadura exotérmica 90 g	Un	16	8.950	143.200
1.7.	Soldadura exotérmica 115 g	Un	33	10.700	353.100
1.8.	Cemento conductor	Un	139	60.000	8.340.000
1.9.	Mano de obra soldadura	Pto	48	10.000	480.000
	SUMA				14.154.050
	IVA (16 %)				2.264.648
	<b>TOTAL</b>				<b>16.418.698</b>
	<b>VALOR TOTAL</b>				<b>22.986.698</b>

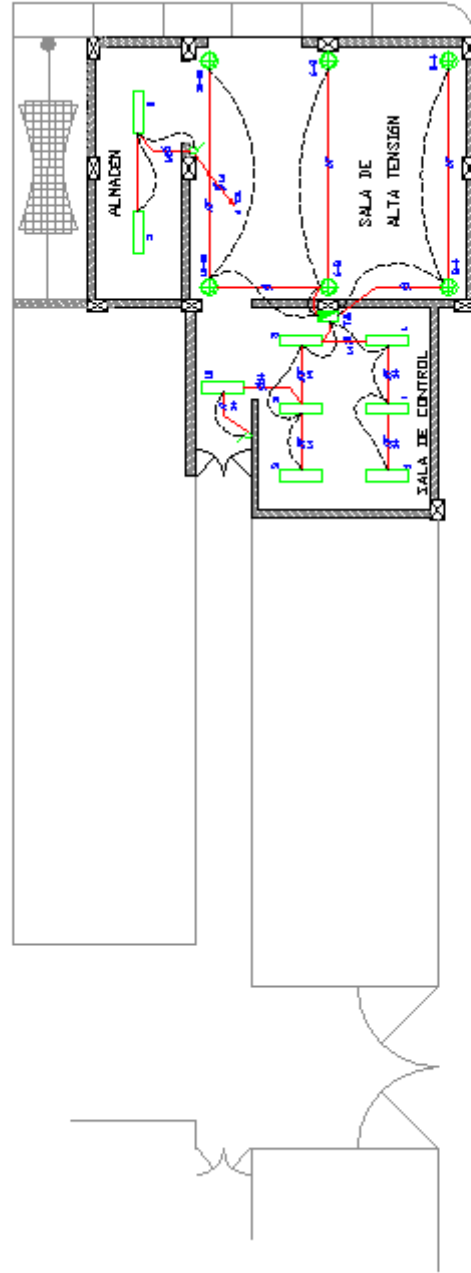
Anexo I. Plano malla de tierra e iluminación del LAT



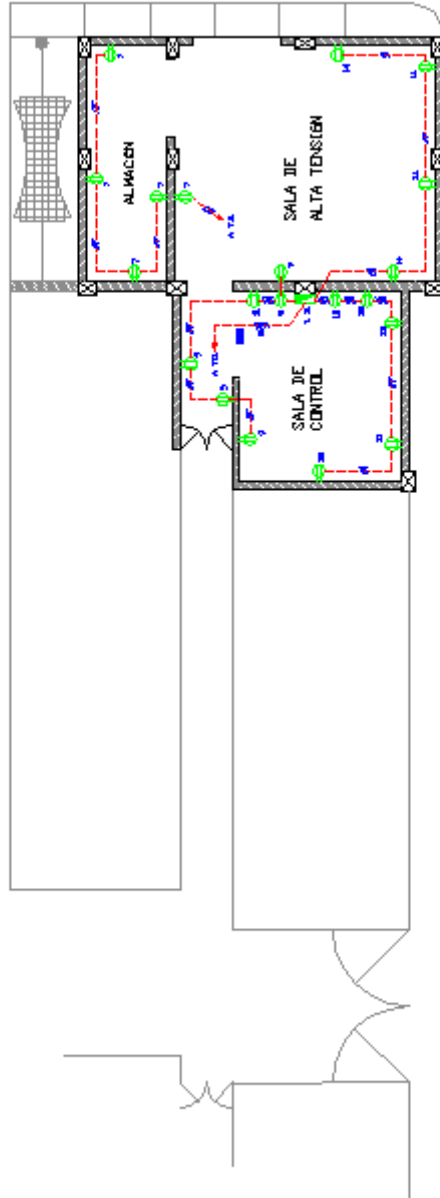
PLANO MALLA DE TIERRA ESCALA 1 : 75



CORTE DE LA MALLA DE SPAT, SIN ESCALA



PLANO DE ILUMINACIÓN ESCALA 1 : 75



PLANO DE TOMACORRIENTES ESCALA 1 : 75

## **Anexo J. Especificaciones técnicas**

(Ver [Archivo](#) Adjunto)

**Anexo K. Cotizaciones**

(Ver [Archivo](#) Adjunto)