

Rediseño Energético del Instituto Técnico Rafael García Herreros con Enfoque en
Sostenibilidad y Eficiencia-REITESE

Kevin Mauricio León Rodríguez y Jossier Giovanni De Luque Salcedo

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Electricista

Director

Manuel José Ortiz Rangel

Mgtr. Gestión de Proyecto

Codirector

Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga

Phd. Tecnología

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingeniería Fisicomecanias

Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica Y De Telecomunicaciones

Bucaramanga

2026

Dedicatoria

A mis padres por brindarme todo el apoyo incondicional para continuar y terminar este proceso.

A mis hermanos que creyeron en mí, a mi pareja que me alentó al final de mi carrera.

A mis familiares que me apoyaron y me dieron palabras de aliento.

A mis amigos que estuvieron conmigo en mi camino.

A mis pasatiempos por ayudarme a disfrutar descansos amenos, en especial a Monster Hunter.

Josser Giovanni De Luque Salcedo.

A todos aquellos que me acompañaron en mis penas y alegrías, sin los cuales no hubiese podido cerrar este capítulo de mi vida.

A mis padres, de cuyo cariño y esfuerzo obtuve las fuerzas para seguir adelante.

A mis amigos más cercanos quienes me ayudaron y guiaron en el camino.

A Monster Hunter, por ser de las mejores cosas que han pasado.

Kevin Mauricio León Rodríguez

Agradecimientos

A la Universidad Industrial de Santander, por permitir la culminación de esta meta, como miembros de esta importante institución.

A nuestro director de trabajo de grado el Magister Manuel José Ortiz Rangel por su acompañamiento y apoyo durante el desarrollo del proyecto y todos sus consejos y recomendaciones.

A cada uno de los docentes, por toda su orientación, todo lo aprendido durante nuestra formación y camino para poder optar por el título de Profesional en Ingeniería Eléctrica.

A nuestras familias por su apoyo incondicional y estar siempre motivándonos.

A todos nuestros amigos que hicieron parte de este proceso.

A los compañeros por estar acompañándonos en el desarrollo y crecimiento.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	12
1. Objetivos	13
1.1 objetivo general.....	13
1.2 objetivos específicos	13
2. Preliminar al diseño	14
2.1 diagnóstico	14
2.2 entrevistas.	16
2.3 esquema arquitectónico.....	17
2.4 aires acondicionados.	17
2.5 consumo cubierto.	19
2.6 irradiancia de la zona.	19
3. Diseño	20
3.1. Diseño eléctrico.	20
3.1.1 método.....	21
3.1.2 cálculo de demanda del transformador.	21
3.1.3 regulación de tensión y pérdidas de energía.	22
3.1.4 malla de puesta a tierra.	22
3.1.5 cálculo de ocupación de conductores.....	22
3.1.6. Planos eléctricos.....	23
3.1.7. Diagramas unifilares.	23
3.1.8. Sistema de protección contra rayos.....	23

3.1.9. Matriz de riesgos.....	24
3.1.10. Distancia de seguridad.....	24
3.2. Iluminación.....	25
3.2.1. Criterios de diseño.....	25
3.2.2. Lámparas seleccionadas.....	25
3.2.3. Cálculos luminancia, uniformidad y factor de mantenimiento.....	26
3.3 diseño del sistema solar fotovoltaico.....	28
3.3.1. Selección y descarte de áreas.....	29
3.3.2. Dimensionamiento de los paneles solares.....	31
3.3.3 configuración de los paneles.....	32
3.3.4 inversor solar.....	33
3.3.5 ubicación de los elementos.....	34
3.3.6 cálculo de la sección transversal del cableado.....	34
3.3.7 tubería.....	35
3.3.8 protecciones.....	36
3.3.9 generación del proyecto.....	36
3.3.10 disponibilidad.....	38
4. Memoria de cantidades.....	39
5. Conclusiones.....	40
6. Recomendaciones.....	43
referencias bibliográficas.....	44

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Listas de Unidades de aires acondicionados.....	18
Tabla 2.Irradiancia promedio durante el año	19
Tabla 3. Lista de luminarias.....	26
Tabla 4.Áreas seleccionadas	30
Tabla 5.Resumen de configuración de los paneles solares.	33
Tabla 6.Resumen Cálculo del cableado.	35
Tabla 7.Canalización del cableado.	36
Tabla 8.Protecciones del SFV.....	36

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1.Sección del histórico de consumo recibo de energía ESSA	19
Figura 2.Diagrama de flujo del diseño eléctrico.	21
Figura 3.Tabla Distancias mínimas para trabajos en o cerca de partes energizadas en corriente alterna.....	24
Figura 4.Resultados de los cálculos de iluminación de biblioteca.....	27
Figura 5.Vista a nivel de piso de biblioteca.	28
Figura 6.Diagrama de flujo del sistema solar fotovoltaico.	28
Figura 7.Techo de plantel educativo.	30
Figura 8.Disposición de los paneles sobre techo	32
Figura 9.Ecuaciones para cálculo de sección transversal del cable.	34
Figura 10.Gráfico potencia generada vs meses del año.	37
Figura 11.Ocupación del transformador para la conexión del SFV.....	38

Lista de Apéndices

Los apéndices están disponibles en el Repositorio Institucional

Apéndice A. Informe de Iluminación.pdf

Apéndice B. Informe de Iluminación de Dialux.pdf

Apéndice C. Informe de Iluminación de Dialux - Pasillo principal del segundo piso.pdf

Apéndice D. Informe PVGIS.pdf

Apéndice E. Diagnóstico

Apéndice F. Planos eléctricos - Iluminación

Apéndice G. Planos eléctricos - Generales

Apéndice H. Planos eléctricos - SFV

Apéndice I. Matriz de riesgo.pdf

Apéndice J. Cuadros de cargas.pdf

Apéndice K. Memorias de cantidades.pdf

Apéndice L. Cálculo de regulación.pdf

Apéndice M. Cálculo de pérdidas de energía en los conductores.pdf

Apéndice N. Cálculo de ocupación de conductores.pdf

Apéndice Ñ. Cálculo de demanda del transformador.pdf

Apéndice O. Prueba de riesgo contra Rayos.pdf

Apéndice P. Malla de puesta a tierra.pdf

Apéndice Q. Memoria de cálculos - SFV.pdf

Apéndice R. Luminarias

Apéndice S. UPS

Apéndice T. SFV

Apéndice U. Recibo de Luz

Apéndice V. Firma del acta de reuniones

Apéndice W. Diagrama unifilar - SFV

Apéndice X. Diagrama unifilar - Instalación Eléctrica

Resumen

Título: Rediseño Energético del Instituto Técnico Rafael García Herreros con Enfoque en Sostenibilidad y Eficiencia-REITESE. *

Autor: Kevin Mauricio Leon Rodriguez, Josser Giovanni De Luque Salcedo. **

Palabras Clave: Instalación Eléctrica, Seguridad, Sostenibilidad, Panel Solar, Riesgo.

Descripción:

Este proyecto aborda la obsolescencia de la infraestructura eléctrica del Instituto Técnico Rafael García Herreros, la cual presenta un grave rezago tecnológico de treinta años y múltiples remodelaciones empíricas acumuladas que comprometen severamente la seguridad, continuidad y funcionalidad del servicio. El problema principal radica en que el diseño original del sistema no fue dimensionado para soportar las cargas de consumo actuales, lo que deriva en constantes riesgos eléctricos, pérdidas energéticas y deficiencias operativas crónicas dentro del plantel educativo.

Para solucionar esta crítica situación, se propone el rediseño integral de la instalación bajo los estándares normativos nacionales vigentes, integrando sistemas solares fotovoltaicos para disminuir la dependencia de la red convencional y reducir significativamente los costos mensuales de la factura de energía. La metodología implementada para caracterizar el comportamiento del servicio incluyó diagnósticos técnicos detallados, levantamiento de campo y entrevistas. Durante el desarrollo de la investigación, se generaron memorias de cálculo rigurosas, planos esquemáticos actualizados e informes técnicos basados en los requisitos del diseño detallado. Los resultados proporcionan una solución técnica normatizada que garantiza la seguridad de la comunidad educativa, optimiza la eficiencia del sistema, disminuye el consumo de la red pública y promueve la transición real hacia el uso de energías limpias y sostenibles.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingeniería fisicomecánica. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica Y De Telecomunicaciones. Director: Manuel Jose Ortiz Rangel. Magtr en Gestión de Proyectos. Codirector: Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga. Phd en Tecnología.

Abstract

Title: Rediseño Energético del Instituto Técnico Rafael García Herreros con Enfoque en Sostenibilidad y Eficiencia-REITESE.*

Author: Kevin Mauricio Leon Rodriguez, Josser Giovanni De Luque Salcedo.**

Key Words: Electrical Installation, Safety, Sustainability, Solar Panel, Risk.

Description:

This project addresses the obsolescence of the electrical infrastructure at the Instituto Técnico Rafael García Herreros, which presents a severe thirty-year technological backlog and multiple accumulated empirical modifications that severely compromise the safety, continuity, and functionality of the service. The core problem lies in the fact that the system's original design was not sized to support current consumption loads, resulting in constant electrical hazards, energy losses, and chronic operational deficiencies within the educational institution.

To resolve this critical situation, a comprehensive redesign of the installation is proposed under current national regulatory standards, integrating solar photovoltaic systems to decrease dependency on the conventional grid and significantly reduce monthly energy bill costs. The methodology implemented to characterize service behavior included detailed technical diagnostics, field surveys, and interviews. During the development of the research, rigorous calculation sheets, updated schematic diagrams, and technical reports were generated based on detailed design requirements. The results provide a standardized technical solution that guarantees the safety of the educational community, optimizes system efficiency, reduces public grid consumption, and promotes a real transition toward the use of clean and sustainable energy.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ingenieria fisicomecanica. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica Y De Telecomunicaciones. Director: Manuel Jose Ortiz Rangel. Magtr en Gestión de Proyectos. Codirector: Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga. Phd en Tecnologia.

Introducción

La integración tecnológica en los entornos educativos ha transformado la infraestructura eléctrica de un servicio básico a un activo crítico para la calidad pedagógica. Sin embargo, diversas instituciones operan bajo sistemas diseñados para requerimientos pasados de iluminación y cargas mínimas, sin contemplar la proyección de demanda. En el Instituto Técnico Rafael García Herreros ubicado en calle 12 N#8a al lado del hospital local del norte, este rezago tecnológico se manifiesta en una red con más de 30 años de operación que ha quedado atrás frente a las necesidades actuales del plantel.

La importancia de abordar esta problemática radica en la mitigación de riesgos para la seguridad de la comunidad educativa. Actualmente, la obsolescencia se evidencia en fallas técnicas como fluctuaciones de tensión, especialmente críticas en áreas de alta densidad de carga como los laboratorios de informática. Estas condiciones limitan la funcionalidad operativa y el cumplimiento de los estándares técnicos exigidos hoy en día.

Para resolver esta situación, el presente proyecto plantea el rediseño integral de la instalación eléctrica bajo los criterios del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE). La solución propuesta incluye el diagnóstico del estado actual, la elaboración de planos y sus memorias de cálculo. Como factor distintivo, se integra el diseño de un sistema fotovoltaico on-grid para la autogeneración. Este enfoque no solo garantiza una infraestructura robusta y normatizada, sino que promueve la sostenibilidad energética y la reducción de costos operativos, alineando la institución con las tendencias globales de ingeniería y responsabilidad ambiental.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Rediseñar la instalación eléctrica del Instituto Técnico Rafael García Herreros garantizando el cumplimiento de la normativa eléctrica vigente, así como el diseño de un sistema fotovoltaico on-grid que contribuya a la reducción del consumo eléctrico del operador de red.

1.2 Objetivos Específicos

Llevar a cabo un diagnóstico del estado actual de la instalación eléctrica del colegio.

Realizar las memorias de cálculo y planos de la instalación eléctrica que requiere la institución para su operación segura.

Dimensionar y realizar memorias de cálculo para un sistema de autogeneración fotovoltaico para abastecer parcialmente la demanda eléctrica de la institución.

Estimar las cantidades de obra requeridas para la construcción de la instalación eléctrica y el sistema de autogeneración diseñados.

2. Preliminar al Diseño

2.1 Diagnóstico

A través de este se revisó el estado actual de la instalación. El diagnóstico se realizó en 6 días durante 3 semanas, en el cual se hicieron visitas a las instalaciones, durante estas se revisaron los espacios comprobando los problemas con respecto a la instalación eléctrica y contrastando con la normativa. Ver *Apéndice E. Diagnóstico*.

Con esto se pudo concluir:

- **Ausencia de conductores de protección (PE) en tomacorrientes:**

Se identificó la omisión de la conexión a tierra en múltiples nodos de la red de baja tensión. El diagnóstico califica esta deficiencia como crítica, puesto que la falta de equipotencialidad y de una vía de disipación de corrientes de falla compromete la integridad física de los usuarios, eliminando la barrera de seguridad primaria exigida por la normativa vigente. Véase *Apéndice E. Diagnóstico - Zona 0.1, 0.2, 0.3 y 0.4*.

- **Hallazgos de no conformidad en materiales y métodos de instalación:**

El diagnóstico técnico evidenció la implementación de conductores y métodos de conexión que no cumplen con los estándares normativos vigentes. Específicamente, se identificó el uso de conductores bipolares (tipo dúplex) en derivaciones de circuitos, lo cual representa múltiples condiciones de riesgo: el material no se ajusta al código de colores estándar, carece de propiedades libres de halógenos (necesarias para la mitigación de humos tóxicos) y presenta un subdimensionamiento con un calibre inferior al mínimo reglamentario de 14 AWG. Asimismo, la configuración de estos elementos omite la trayectoria para el conductor de protección (PE),

comprometiendo la seguridad del sistema ante fallas a tierra. Véase *Apéndice E. Diagnóstico - Zona 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 1.5, 1.8, 4.8 y 4.9.*

- **Incompatibilidad de componentes con las condiciones ambientales de operación:**

Se identificó la instalación de canalizaciones (conduit), cajas de derivación y dispositivos de salida en áreas clasificadas como zonas húmedas sin los grados de protección (IP o NEMA) reglamentarios para dichos entornos. La utilización de envoltentes sin el sellado hermético requerido, sumado al estado de degradación física de algunos elementos, compromete la estanqueidad del sistema. Esta vulnerabilidad se ve significativamente agravada por la ausencia de dispositivos de protección diferencial (GFCI) en los puntos de utilización y la inexistencia de un conductor de puesta a tierra, factores que en conjunto eliminan las barreras de protección contra choques eléctricos en ambientes de baja impedancia. Véase *Apéndice E. Diagnóstico - Zona 1.12, 4.3, 4.5.*

- **Incumplimiento de la eficiencia energética y marco regulatorio en sistemas de iluminación:**

Se constató el uso predominante de tecnología de iluminación fluorescente en aulas, áreas administrativas y puntos de circulación. La permanencia de estos sistemas constituye una no conformidad reglamentaria frente a las disposiciones del Decreto 3450 de 2008, el cual establece medidas para el uso eficiente de la energía y prohíbe la comercialización y uso de fuentes luminosas de baja eficacia. Este hallazgo sugiere la necesidad de una transición hacia tecnologías de estado sólido (LED) para optimizar el rendimiento lumínico y cumplir con los estándares nacionales de sostenibilidad energética. Véase *Apéndice E. Diagnóstico - Zona 0.1, 0.2, 0.4, 1.5, 2.4 y 2.5.*

- **Aires acondicionados:**

En el plantel se tienen instalados 30 unidades de aire acondicionado para los cuales la instalación no estaba dimensionada para soportar, esto genera una intermitencia en el servicio eléctrico al usar las unidades más grandes o en unos casos la pérdida del servicio.

2.2 Entrevistas.

Durante las visitas técnicas se hicieron una serie de entrevistas a personal de la institución, debido al ajetreo de la institución las entrevistas se hicieron de forma improvisada para ajustarse a los tiempos, en total fueron cuatro entrevistas a continuación se presenta la información de estas:

1. La Capellán contó su preocupación con respecto a las protecciones termomagnéticas debido a que se tendían a activar o se generaban parpadeos en la iluminación al encender los aires acondicionados del Auditorio.

2. El Coordinador General expuso su disconformidad con la iluminación fluorescente instalada en su oficina ya que le genera cansancio visual obligándolo a usar lentes, añadiendo la situación con los pocos puntos de conexión de energía los cuales tienen problemas al usarse en simultáneo produciendo intermitencia en el servicio.

También contó acerca del cambio del transformador que alimenta la institución esto mejoró la estabilidad del servicio de energía.

3. El docente expuso su disconformidad con la iluminación de la sala STEM, manifestando que el encandilamiento le genera fatiga visual y dolores de cabeza. Señaló además la falta de sectorización en los interruptores de los salones, lo cual le impide gestionar el encendido parcial de las luminarias según la necesidad del espacio.

Añadió la situación crítica de los puntos de conexión, donde la inoperatividad de varios tomacorrientes obliga al uso de extensiones y el encendido de equipos o herramientas de limpieza

provoca la activación de las protecciones termomagnéticas. Esta deficiencia técnica genera interrupciones frecuentes en el suministro, obligando a la manipulación manual de los tableros para restablecer el servicio de energía.

4. El Auxiliar de Biblioteca manifestó la insuficiencia de los niveles de iluminación en su área, señalando que el personal docente presenta quejas recurrentes debido a la baja visibilidad para el desarrollo de las clases. Añadió que el suministro eléctrico ha mostrado vulnerabilidad ante factores climáticos, registrando interrupciones prolongadas del servicio en condiciones de lluvia intensa, además de mencionar la alta demanda de energía en espacios como el auditorio y las canchas debido a la realización constante de eventos institucionales.

2.3 Esquema Arquitectónico.

Para el esquema arquitectónico debido a no encontrarse en el archivo técnico del colegio se realizó el levantamiento donde se realizará un esquemático arquitectónico que cumple una función de guía para trazado eléctrico, pero no representa todos los elementos estructurales de la edificación, por lo cual, no es un plano arquitectónico exacto.

El esquema cumple con los espacios, junto con mediciones tomadas en el diagnóstico y distancias aproximadas.

2.4 Aires Acondicionados.

Los aires acondicionados representan la mayor carga instalada en el colegio, y por ende se deben de tener en cuenta en el diseño de la instalación eléctrica para la alimentación de estas. En la Tabla 1 se enlistan todas las unidades

Tabla 1.

Lista de Unidades de aires acondicionados

Ubicación	# de unidades	Conexión	Potencia [W]	Potencia total por Zona [W]
El auditorio	3	trifásica	13.280	39.840
Salas de informática	6 (2 x sala)	bifásica	2.340	14.040
Sala de bilingüismo	1	bifásica	2.340	2.340
Sala de profesores	2	bifásica	3.100	6.200
Sala Stem	2	bifásica	2.340/3.100	5.440
Laboratorios	3 (1 x lab)	bifásica	3.100	9.300
Sala de espejos	2	bifásica	2.340	4.680
Sala de especialidad	1	bifásica	2.340	2.340
Zona de administración	2	bifásica	2.340	4.680
Biblioteca	3	bifásica	3.140	9.420
Ludoteca	2	bifásica	1.700	3.400
Sala de audiovisuales	2	bifásica	2.340	4.680
Total unidades	30		Potencia total	106.360

2.5 Consumo Cubierto.

El plantel durante un año varía su consumo de energía teniendo meses que presentan picos y otros que presentan un consumo mínimo. Se optó por cubrir el 25% del promedio de este durante un periodo de 6 meses (Agosto 2025 - Enero 2026, en la Figura 1).

Figura 1.

Sección del histórico de consumo recibo de energía ESSA



Nota: Tomado de Apéndice U. Recibo de Luz

El consumo de energía promedio sería 7.327 kWh/mes, lo que se apunta a cubrir con el SFV es de 1.830 kWh/mes mínimo.

2.6 Irradiancia de la Zona.

Se consultaron los datos de irradiancia promedio de todo el cielo de la zona durante los últimos 20 años (2005-2025), se seleccionó este periodo de tiempo para abarcar el máximo posible de datos en pos de obtener una buena aproximación en el sitio web “POWER NASA”, los cuales se promediaron para obtener un valor anual y se organizaron en la Tabla 2.

Tabla 2.

Irradiancia promedio durante el año

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
Irradiancia promedio [W/m ²]	5,62	5,38	4,40	3,90	3,91	4,04	4,22	4,44	4,54	4,36	4,41	5,12	4,53

3. Diseño

3.1. Diseño Eléctrico.

A Continuación, se describirán los pasos y resultados seguidos para la realización del diseño eléctrico en base al RETIE, siguiendo criterios en base a la necesidad del espacio, teniendo en cuenta las necesidades recogidas en las entrevistas con el personal administrativo y docente y garantizar un espacio seguro, sobre todo para los estudiantes.

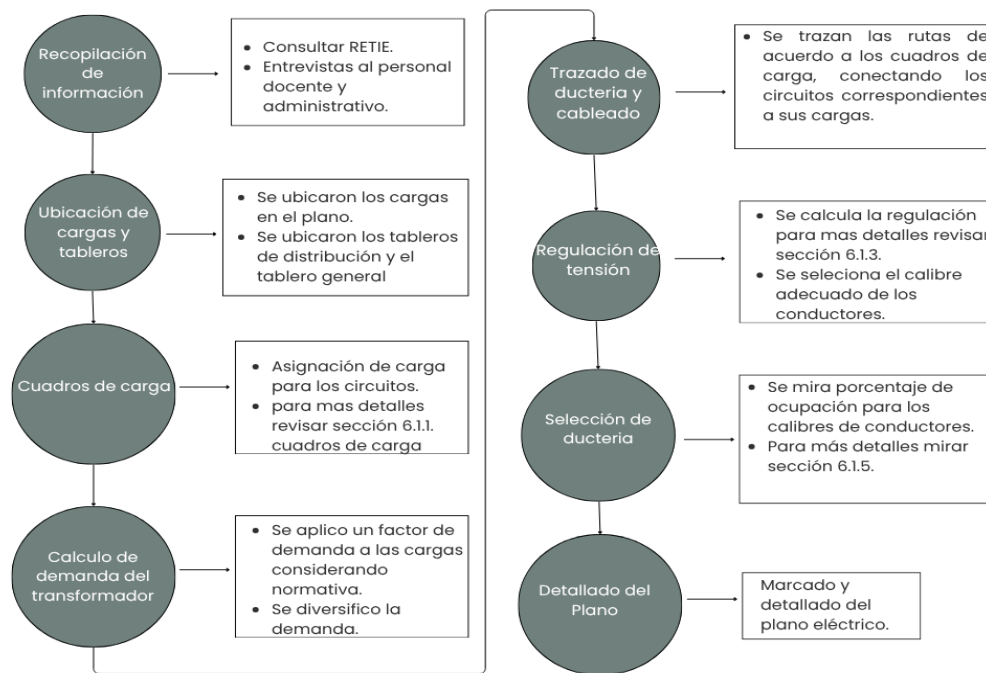
Primero se ubicaron en el esquema arquitectónico las cargas de la instalación como tomacorrientes, tomacorrientes especiales o dedicados, luego se ubicaron los tableros de distribución (TD), tableros regulados (TDr) y el tablero general (TG). Se decidió utilizar varios tableros de distribución para facilitar la conexión a los puntos requeridos como tomacorrientes e iluminación debido al tamaño de las instalaciones.

Después de esto se procedió a realizar los cuadros de carga donde se habla más en la sección 3.1.1. Cuadros de carga, una vez se trazaron rutas de ductería y cableado en el plano eléctrico para esto se procedió a realizar el cálculo regulación de tensión para seleccionar el calibre de los conductores adecuados ya sea por capacidad de corriente o de ser necesario incrementar el calibre del conductor. Luego, se calcularon los calibres de ducterías necesarios para portar los conductores sin sobrepasar el límite de ocupación de los ductos, para más detalles revisar la sección 6.1.5. Cálculo de ocupación de conductores.

Representando este proceso presentado en un diagrama en la figura 2.

Figura 2.

Diagrama de flujo del diseño eléctrico.



3.1.1 Método.

Se procedió a asignar las cargas para cada circuito tanto de los tableros de distribución (TD) como el tablero general (TG) que alimenta a estos.

Para cada tablero presentando su balance de cargas considerando un desbalance máximo de 10% en conformidad con el reglamento, el balance de cargas y se asignó el valor de las protecciones adecuadas como se sugiere en la NTC 2050. Para efectos prácticos los cuadros de cargas detallados están en Apéndice J. Cuadros de cargas.

3.1.2 Cálculo de demanda del transformador.

Una vez realizados los cuadros de carga las demandas de cada tablero de distribución (TD) se le aplicó un factor de demanda de acuerdo a la Norma ESSA.

Después de aplicar el factor de demanda, se procedió a calcular el factor de diversidad siguiendo la siguiente fórmula tomada de la norma ESSA para usuarios comerciales trifilares y tetrafilares.

$$Fdiv_{com} = 1/(0.3 + 0.7 * e^{(1-N)/4.5}) \quad (n)$$

Donde N es el número de usuarios.

Aplicando el factor de diversidad para los tableros de distribución (TD) sin diversificar las cargas especiales como son los aires acondicionados, dando una demanda diversificada total de $S = 135,24$ [kVA], entonces la potencia adecuada para el transformador de esta instalación eléctrica es un transformador de 150 [kVA]. Para más detalles revisar Anexos C/Cálculo demanda del transformador.

3.1.3 Regulación de tensión y pérdidas de energía.

Una vez calculada la demanda se procede a indicar los tramos de la acometida hasta los tableros de distribución (TD), se colocaron las características de la carga: Distancia de cada tramo, la potencia S [kVA], el material del conductor, tipo de tramo, nivel de tensión, el factor de potencia y las fases del tramo. Con esto se calcula la regulación de tensión de acuerdo con la norma ESSA ntg-02, para más detalles donde se ven los porcentajes de regulación de tensión consultar Apéndice L. Cálculo de regulación. y para las pérdidas de energía en Apéndice M. Cálculo de pérdidas de energía en los conductores.

3.1.4 Malla de puesta a tierra.

La malla de puesta a tierra se diseñó según la metodología de la IEEE std. 80 2013, el proceso se encuentra detallado en Apéndice P. Malla de puesta a tierra.

3.1.5 Cálculo de ocupación de conductores.

Se realizó el cálculo de ocupación de los conductos no repetidos, es decir si el conducto lleva solo un circuito, la capacidad de ocupación será la misma incluso si hay derivaciones que

fueron hechas en el mismo calibre de conductor. Se trazaron ciertas rutas que dejan más claro que tramos van en cierto calibre de ducteria y que tramos van en otros calibres. Para más detalles ver Apéndice N. Cálculo de ocupación de conductores, donde se marcan los tramos relevantes.

3.1.6. Planos eléctricos.

Los planos detallados de tomacorrientes se encuentran en Apéndice G. Planos eléctricos - Generales. donde se muestran las conexiones de tomacorrientes desde tableros de distribución y de estos últimos hasta el tablero general. así como especificaciones y aclaraciones del mismo.

Los planos de iluminación detallados se encuentran en Apéndice G. Planos eléctricos - Iluminación.

Los planos de conexión y ubicación del sistema fotovoltaico se encuentran en Apéndice H. - SFV.

3.1.7. Diagramas unifilares.

Los diagramas unifilares se pueden encontrar en Anexos F/Diagrama unifilar - Instalación Eléctrica y el diagrama del sistema fotovoltaico en los mismos Apéndice W. Diagrama unifilar - SFV.

3.1.8. Sistema de protección contra rayos.

Al aplicar la evaluación del riesgo de la norma NTC-4552:2 y basarnos en el contexto del plantel educativo estudiado, ósea el mismo no es una empresa de servicios públicos como lo puede la ESSA esto elimina el riesgo a salida de servicio además que el edificio no aplica como patrimonio histórico lo que elimina el riesgo por este, entonces, los riesgos aplicables son: los riesgos de lesiones físicas y el riesgo económico. En este último riesgo al nosotros carecer de la información para evaluarlo únicamente se evaluará el riesgo ante lesiones físicas.

Nuestras condiciones serían: el colegio se encuentra en zona urbana, alrededor del mismo se encuentran estructuras más altas y en el diseño planteado se agrega una malla de puesta a tierra. La evaluación del riesgo se puede encontrar en Apéndice O. Prueba de riesgo contra Rayos. Esto se puede resumir en que no es necesario un sistema integral de captación de rayos.

3.1.9. Matriz de riesgos.

Véase Apéndice I. Matriz de riesgo.

3.1.10. Distancia de seguridad.

En el caso del diseño propuesto, este apartado aplica sobre el tablero general al acumular más de 100 kVA en sus conexiones, esto según el párrafo 7 del artículo 3.10.5 del RETIE.: “Las instalaciones de los tableros de distribución y de potencia, centros de control de motores, celdas, y en general aquellos tableros de potencia mayor a 100 kVA [...]”.

Con lo anterior la distancia mínima según la figura 3 corresponde de un metro alrededor del tablero para limitar la aproximación al mismo y 0.3 metros para el límite de aproximación restringida (m). Esta última siendo señalizada con pintura amarilla alrededor del tablero y una señal de riesgo eléctrico en el panel frontal del último.

Figura 3.

Tabla Distancias mínimas para trabajos en o cerca de partes energizadas en corriente alterna

Tabla 3.10.5. b. Distancias mínimas para trabajos en o cerca de partes energizadas en corriente alterna

Tensión nominal del sistema (fase – fase)	Límite de aproximación seguro [m]		Límite de aproximación restringida (m) Incluye movimientos involuntarios.
	Parte móvil expuesta	Parte fija expuesta	
50 V – 300 V	3,0	1,0	0,30
301 V – 750 V	3,0	1,0	0,30
751 V – 15 kV	3,0	1,5	0,7
15,1 kV – 36 kV	3,0	1,8	0,8
36,1 kV – 46 kV	3,0	2,5	0,8
46,1 kV – 72,5 kV	3,0	2,5	1,0
72,6 kV – 121 kV	3,3	2,5	1,0

Nota: Tomado del libro 3 Artículo 3.10.5 del RETIE (2024)

3.2. Iluminación.

Se presenta un resumen del diseño de iluminación. El diseño de iluminación más detallado se presenta en Apéndice A. Informe de Iluminación.

3.2.1. Criterios de diseño.

Este en gran parte se basó en la funcionalidad del espacio además de requisitos mínimos de los mismos que aparecen en el RETILAP, haciendo el cruce de estos generaron el diseño que se presenta en Apéndice B. Informe de Iluminación de Dialux.

3.2.2. Lámparas seleccionadas.

La iluminación se basará en el catálogo de SILVANIA para Sistemas de Iluminación Comercial y Residencial, y una luminaria de REGENT. Esto gracias a la gran variedad de luminarias para espacios escolares que tiene SYLVANIA lo que da pie para abarcar los distintos espacios que tiene el plantel, Además de luminaria REGENT la cual da una buena potencia con una dispersión de la luz excelente.

A continuación, se enlistan en la Tabla 3 las luminarias que se usaron en el plano de iluminación.

Tabla 3.

Lista de luminarias

Listas de luminarias led Sylvania		
#	Nombre de lámpara	Potencia [W]
1	Led Lineal Mini Continuum	40
2	Led Lineal Mini Continuum	60
3	Led Lineal Mini Continuum	80
4	Led Lineal Eco	16
5	Led Lineal Eco	32
6	Led Frameless Rd	36
7	Led Herm Eco Proof	36
8	Led Panel Pro Sq	36
9	Led Panel Rc	40
10	Led Panel Sq	40
11	Led Bala Unv Jupiter	30
12	Led Bala Unv Jupiter	50
Lista de luminarias led REGENT		
13	TORINO LED	34

3.2.3. Cálculos luminancia, uniformidad y factor de mantenimiento.

El diseño, cálculos y verificación de los cálculos se hicieron en el programa Dialux Evo 13.2, todos los elementos antes nombrados se encuentran de forma detallada en Apéndice B. Informe de Iluminación de Dialux.

En la figura 4 se presenta un ejemplo de los resultados para la biblioteca y en la figura 5 se presenta el render.

Figura 4.

Resultados de los cálculos de iluminación de biblioteca.

Planos útiles

Propiedades	$\bar{E}$ (Nominal)	E_{min}	E_{max}	$U_o (g_1)$ (Nominal)	g_2	Índice
Plano útil (Biblioteca) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.600 m	604 lx (≥ 300 lx) ✓	441 lx	707 lx	0.73 (≥ 0.40) ✓	0.62	WP56

Áreas de las zonas de trabajo

Propiedades	$\bar{E}$ (Nominal)	E_{min}	E_{max}	$U_o (g_1)$ (Nominal)	g_2	Índice
Mesas de computadores Iluminancia perpendicular Altura: 0.720 m	421 lx (≥ 300 lx) ✓	298 lx	487 lx	0.71 (≥ 0.60) ✓	0.61	AT1
Área circundante 1 Iluminancia perpendicular Altura: 0.720 m, Zona marginal: 0.500 m	599 lx (≥ 200 lx) ✓	503 lx	681 lx	0.84 (≥ 0.50) ✓	0.74	AS1
Escritorio del bibliotecario Iluminancia perpendicular Altura: 0.720 m	543 lx (≥ 300 lx) ✓	407 lx	614 lx	0.75 (≥ 0.60) ✓	0.66	AT2
Área circundante 1 Iluminancia perpendicular Altura: 0.720 m, Zona marginal: 0.500 m	599 lx (≥ 200 lx) ✓	503 lx	681 lx	0.84 (≥ 0.50) ✓	0.74	AS1

Nota: Tomado de Apéndice B. Informe de Iluminación de Dialux

Figura 5.

Vista a nivel de piso de biblioteca.



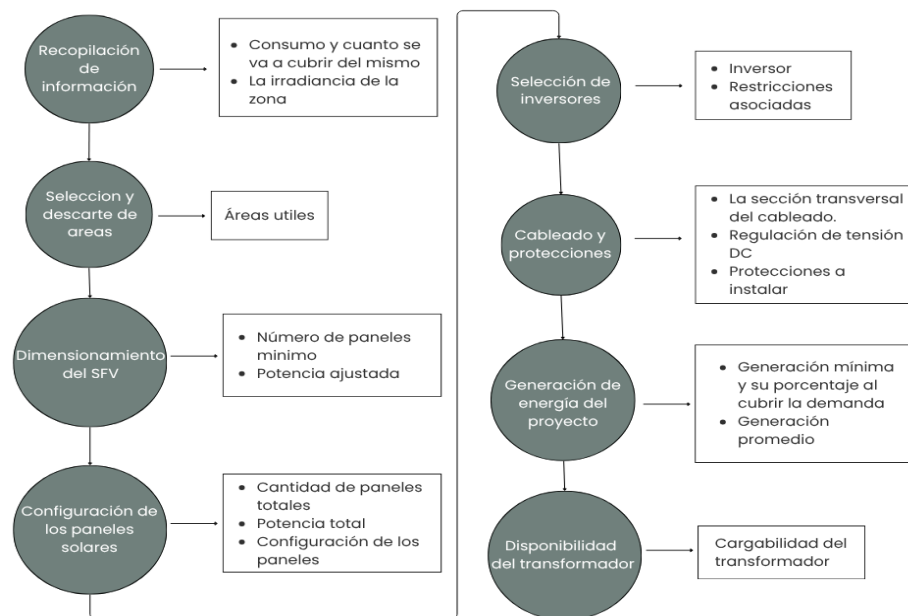
Nota: Tomado de Anexos/Informe de Iluminación de Dialux

3.3 Diseño del Sistema Solar Fotovoltaico.

El diseño de este siguió el algoritmo presentado en la figura 6.

Figura 6.

Diagrama de flujo del sistema solar fotovoltaico



3.3.1. Selección y Descarte de Áreas.

Debido a la restricción del acceso al techo toda la evaluación de las áreas se hizo utilizando “Google Maps”. Se evaluó toda la zona en base a 4 criterios generales:

1. No existan obstáculos cercanos con una altura de máximo 2 metros por encima del nivel de techo, con el fin de evitar el sombreamiento y obligarnos a aumentar la altura de la estructura.
2. La estructura debe ser capaz de soportar el peso de la estructura.
3. Debe estar cercano a un tablero de distribución, reduciendo lo máximo posible las distancias evitando alta regulación en tensiones.
4. El área debe ser plana o inclinada mirando al norte o el sur.

Entonces, se dividió el techo en áreas como se muestra en la figura 7, las primeras en descartarse al no cumplir directamente el cuarto requisito son: Laboratorios y Aulas de informática debido a su techo de dos aguas que miran a este y oeste; Audiovisuales debido a que la inclinación de este es hacia el Este además la polisombra instalada en la cancha le genera sombreamiento incumpliendo el primer requisito también.

Las Aulas 1,2 y 3 también quedan descartadas al recibir sombreamiento la mitad del año por los árboles cercanos y en las mañanas por biblioteca incumpliendo el requisito 1. Esto también se aplica a las Aulas 8,9 y 10 de forma parcial recibiendo sombra de biblioteca en la mitad de su área durante medio año. Se descarta el Auditorio debido a su estado actual posiblemente incumpla el requisito 2.

Las zonas seleccionadas siendo el techo de biblioteca y el de los salones 6 y 7, las cuales tienen un área de $74(13,1\text{m} \times (5,7 \times 2) \text{ m}) \text{ m}^2$ y $128(11,93\text{m} \times 10,73 \text{ m}) \text{ m}^2$ medido en “Google Maps”, respectivamente. Con un área efectiva de $66,6 \text{ m}^2$ para el techo de biblioteca (el área

efectiva es el 90% del tamaño debido a un factor de seguridad) y el área efectiva para los salones 6 y 7 es la misma, ya que el techo es placa.

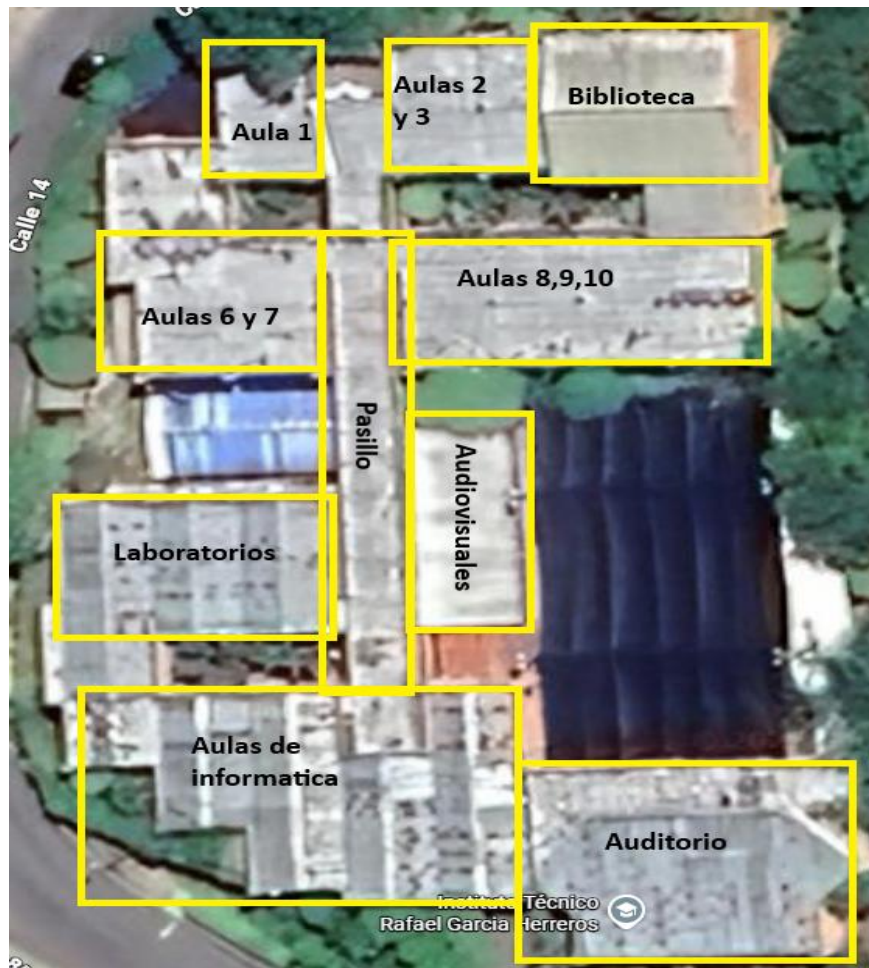
Tabla 4.

Áreas seleccionadas.

Sitio	Área [m2]	Área efectiva [m2]	Distancia [m]
Techo biblioteca	74	66,6	~16
Techo aula 6 y 7	128	128	~50

Figura 7.

Techo de plantel educativo



Nota: Tomada de Google Maps

3.3.2. Dimensionamiento de los Paneles Solares.

El dimensionamiento se hizo con base a los paneles solares “Bifacial 710W N-Type” de Tensite, estos fueron seleccionados por su potencia y su tensión de 48V que los hacen ideales para distancias largas. Ahora se calculó la cantidad de paneles solares a instalar, primero con la energía a cubrir se convirtió de kilovatios hora (kWh) de energía mes (1.830kWh/mes) a vatios hora (Wh) de energía día (61.000 Wh/día), y dividido en la eficiencia del sistema (Esta eficiencia es el conjunto de todas las eficiencias de los elementos que hacen parte del sistema, se supondrá una eficiencia del 86% para tener en cuenta una deficiencia relativa) esta será la capacidad energética mínima para los paneles (EPPS, 72.010 Wh/día):

$$E_{mes} = E_{mes} * 1000/30 [mes/k]$$

$$E_{mes} = 1.830 [kWh/mes] * 1000/30 [mes/k] = 61.000 Wh/dia$$

$$EPPS = E_{mes}/Eficiencia_{sistema}$$

$$EPPS = 61.000 [Wh/dia] / 86\% = 72.010 [Wh/dia]$$

Se Calculó la hora solar pico (HSP) con la irradiancia antes mencionada (4,52 kWh/m²), se dividió por el valor de irradiancia pico estándar (1000 W/m²) y se convirtió de kilovatios (kW) a vatios (W) (4,52 HSP).

$$HSP = 4,52 [kWh] * 1000 [W/kW]/1000 [W/m^2] = 4,52 h$$

Ya teniendo estos datos se podrá calcular la capacidad para los paneles solares al dividir EPPS entre HSP, obteniendo una capacidad a instalar pico (CPSFV) de 15.944 Wp y la cantidad de paneles necesaria se calculó dividiendo la CPSFV con la potencia del panel solar seleccionado (710 Wp) esto da como resultado un mínimo ≈21 PS con una potencia total de 16.330 Wp.

$$CPSFV = EPPS/HSP$$

$$CPSFV = 72.010 [Wh]/4,52 [h] = 15.944 [Wp]$$

$$\# \text{ paneles} = CPSFV/Potencia_{panel}$$

$$\# \text{ paneles} = 15.944 [Wp]/ 710 [Wp] \approx 21$$

$$Potencia_{mínima\ instalable} = 21 * 710 [Wp] = 14.9410 [Wp]$$

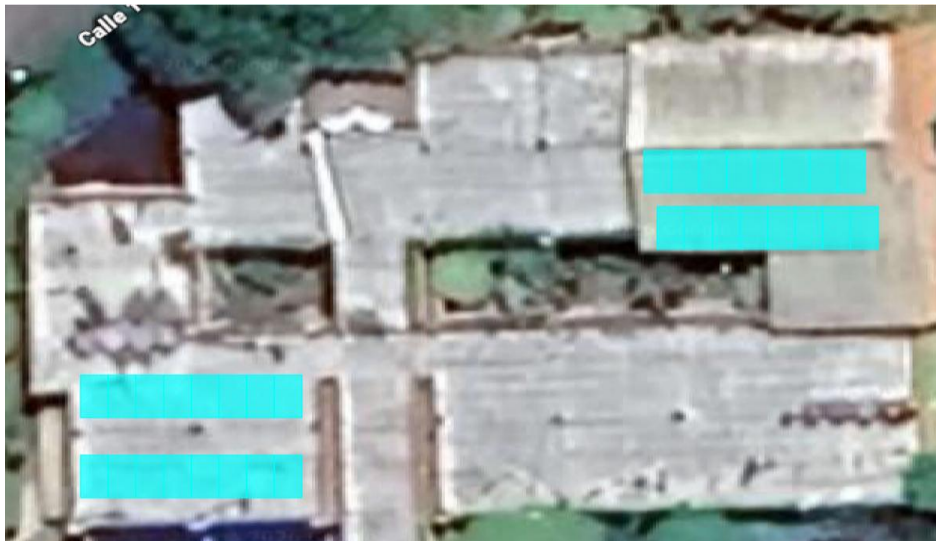
3.3.3 Configuración de los paneles.

Entonces se decidió hacer 2 bahías con 8 paneles en serie, con el fin de combatir cualquier caída de tensión por distancia y separando la cantidad de paneles instalados en los sitios evitando algún percance. Con esto en mente se decidió que cada bahía tenga 2 bancadas en paralelo, dando como resultado que cada bahía tenga 2 paralelos de 8 paneles conectados en serie quedando 16 paneles por bahía y en total 32 paneles en el SFV como se puede ver en la figura 8.

La bahía 2, su estructura debe ser elevada hasta 1,2 metros de altura, debido al sombreado hecho por los muros que rodean el tejado de la segunda planta.

Figura 8.

Disposición de los paneles sobre techo



Nota: Tomada de Google Maps

Tabla 5.

Resumen de configuración de los paneles solares.

Configuración	2 bancadas de 8 paneles conectados en serie
Corriente máxima potencia [A]	17,45
Corriente de cortocircuito [A]	18,45
Tensión máxima potencia [V]	325,52
Tensión vacío [V]	391,52
Potencia ajustada total [Wp]	22.720

3.3.4 Inversor Solar.

Para seleccionar el inversor se tomaron ciertos parámetros en cuenta como lo es:

- ❖ La corriente de cortocircuito de los paneles solares es de 18.45 [A] para un arreglo en serie y de 36.9 [A] para toda la bahía.
- ❖ La conexión del inversor a la red, esta será trifásica trifilar ya que se reduciría al máximo la corriente transportada del inversor al tablero de conexión y la instalación eléctrica del colegio es trifásica, de otra forma el inversor generaría desbalance en la red.
- ❖ La capacidad del inversor, este debe tener una capacidad de entrada de 22.720 Wp.
- ❖ El tipo de inversor, este debe ser de onda pura

Con estos requisitos se escogió el inversor “MID 17KTL3-XL2” de Growatt, este tiene como características:

- Una potencia máxima de entrada admisible de 25.500 W.
- Un voltaje de arranque de 200 V.
- Tiene 4 conexiones MPPT con un rango de voltaje de 200-800 V y corriente max. y de cortocircuito de 32 y 40 A.

- Una potencia de salida de 18.8 kVA con un rango de factor de potencia ajustable de 0.8 en adelante o atraso
- Menos del 3% en la distorsión armónica de la onda.

3.3.5 Ubicación de los elementos.

Para seleccionar el inversor se tomaron ciertos parámetros en cuenta como lo es:

3.3.6 Cálculo de la Sección Transversal del Cableado.

Figura 9.

Ecuaciones para cálculo de sección transversal del cable.

Tipo de corriente	Sección	Caída de tensión	Pérdida de potencia
CONTÍNUA (cos φ = 1) Y MONOFÁSICA	CONOCIDA LA INTENSIDAD		$\Delta W = \frac{200 \cdot L \cdot W}{K \cdot S \cdot V^2 \cdot \cos^2 \varphi}$
	$S = \frac{2 \cdot L \cdot I \cdot \cos \varphi}{K \cdot \Delta V}$	$\Delta V = \frac{2 \cdot L \cdot I \cdot \cos \varphi}{K \cdot S}$	
	CONOCIDA LA POTENCIA		
	$S = \frac{2 \cdot L \cdot W}{K \cdot \Delta V \cdot V}$	$\Delta V = \frac{2 \cdot L \cdot W}{K \cdot S \cdot V}$	

- L: distancia panel a inversor [m]
- I: corriente panel [A]
- K: Conductividad cobre [$\text{m}^2 \cdot \Omega / \text{mm}^2$]
- ΔV : Diferencial de tensión.

La conductividad del cobre es 56 [$\text{m}^2 \cdot \Omega / \text{mm}^2$], la tensión operacional por arreglo conectado en serie es de 384 [V] y la regulación máxima para cc (corriente continua) es de 2%:

$$\Delta V_{\max} = \text{Regulación} * V_{op}$$

$$\Delta V_{\max} = 0.02 * 384 \text{ [V]} = 7.68 \text{ [V]}$$

La distancia del panel al inversor es:

- Para la bahía 1 ~16 [m] (medido en plano de planta) hacemos el cálculo de la sección del cable por bancada:

$$\text{Sección cable}_{(\text{Bahía } 1)} = (2 * 16 * 17.45) / (56 * 7.68) = 1.29 \approx 1.5 \text{ mm}^2$$

La sección del cable es menor a la sección del cableado mínimo recomendado de 4mm².

$$\Delta V = (2 * 16 * 17.45)/(56 * 4) = 2.49 \text{ V}$$

$$\text{Regulación} = 2.49/384 * 100 = 0.65\%$$

Para la bahía 1, se seleccionaron dos cables (dos de fase y dos de neutro) de 4 mm².

- Para la bahía 2 ~50 [m] (medido en plano de planta) hacemos el cálculo de la sección del cable por bancada.

$$\text{Sección cable}_{(\text{Bahía } 2)} = (2 * 50 * 17.45)/(56 * 7.68) = 4.057 \approx 6 \text{ mm}^2$$

$$\Delta V = (2 * 16 * 17.45)/(56 * 5) = 5.19 \text{ V}$$

$$\text{Regulación} = 6.65/384 * 100 = 1.35\%$$

Para la bahía 2, se seleccionaron 4 cables (2 fases y 2 neutros) de 5 mm².

Tabla 6.

Resumen Cálculo del cableado

Bahía	Sección transversal del cable	Regulación [%]	Dif. Tensión [V]
1	6 mm ²	0,65	2,49
2	6 mm ²	1,35	5,19

3.3.7 Tubería.

Para canalizar se usó la tubería IMC para los tramos: Caja recolectora DC - Caja recolectora DC general; y EMT para el tramo: Caja recolectora DC genera - Inversor. Considerando los tramos presentados en la Tabla 7:

Tabla 7.

Canalización del cableado

Tramo	Conductores canalizados			Diámetro de la tubería	Ocupación de la tubería
	Fase	Neutro	Tierra		
Caja recolectora DC de Bahía 1 - Caja recolectora DC genera	2 x 6mm2 Solar	2 x 6 mm2 Solar	1 x 12 AWG THWN-2	1/2	18,73%
Caja recolectora DC de Bahía 2 - Caja recolectora DC genera	2 x 6mm2 Solar	2 x 6mm2 Solar	1 x 12 AWG THWN-2	1/2	26,45%
Caja recolectora DC general - Inversor	4 x 6mm2 Solar	4 x 6mm2 Solar	2 x 12 AWG	3/4	24,76%

3.3.8 Protecciones.

Las protecciones a instalar para el SFV se enlistan en la Tabla 8:

Tabla 8.

Protecciones del SFV

Protección	Capacidad	Sensibilidad	Instalado
Fusible DC y portafusibles	25 [A]	No aplica	Caja recolectora de cada bahía
Breaker DC	2x30 [A] / 650 [V]	No aplica	Caja recolectora cada bahía
Breaker dif. DC	25 [A] / 650 [V]	20 [mA]	Caja recolectora general DC
Breaker AC	3x60 [A]	No aplica	Tablero de distribución 8
Breaker dif. AC	3x60 [A] / 600 [V]	30 [mA]	Tablero de distribución 8

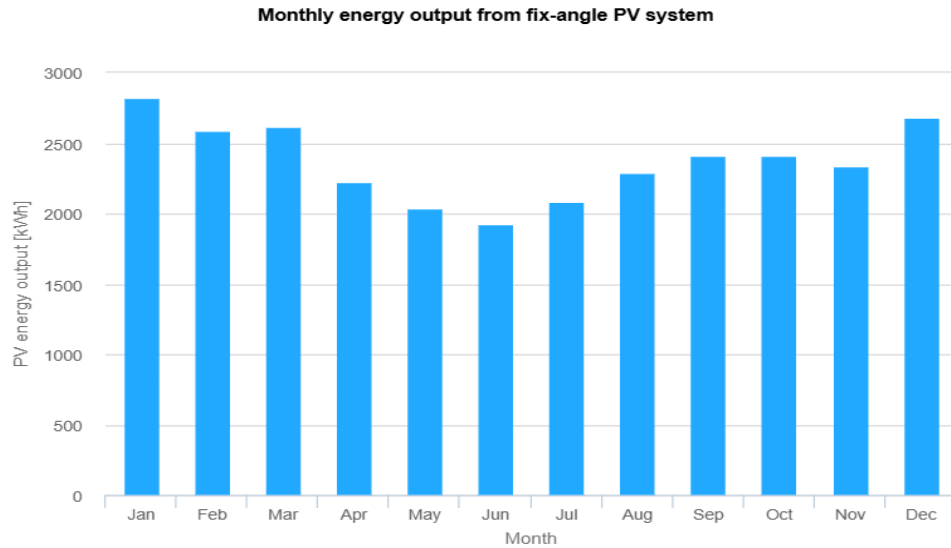
3.3.9 Generación del Proyecto.

El proyecto solar al estar enfocado a cubrir el 25% del promedio del consumo descrito al inicio verificaremos a través de la página web PVGIS que la generación sea capaz de cubrirlo. En la Figura 10 se presenta un gráfico de barras que nos indica los valores generados por mes, en junio

es la época de menos generación debido a factores como la posición del sol y el ángulo de la cara de los paneles esto resultando en una potencia de 1.900 kWh/mes aproximadamente cumpliendo nuestro objetivo.

Figura 10.

Gráfico potencia generada vs meses del año.



Nota: Extraído de Anexos/Memorias de cálculo/SFV/Informe PVGIS.

Y calculando la potencia promedio generada en un mes tomando de base las horas solar pico antes calculada, la potencia total en paneles resultante y la eficiencia del sistema nos da como resultado:

$$\text{Potencia generada [kWh/día]} = \text{Potencia en paneles} * \text{Hora solar pico} * \text{Eficiencia}$$

$$\text{Potencia generada [kWh/día]} = 22,720[\text{kW}] * 4,52[\text{h/día}] * 90\% = 92,245[\text{kWh/día}]$$

$$\begin{aligned} \text{Potencia generada [kWh/mes]} &= 92,245[\text{kWh/día}] * 30[\text{día/mes}] \\ &= 2.772,749[\text{kWh/mes}] \end{aligned}$$

Entonces, en promedio el sistema estaría cubriendo un 37,8% de la demanda.

3.3.10 Disponibilidad.

Se consultó la cargabilidad del transformador para conexión de AGPE, el mismo está completamente libre y con la entrada del proyecto ocuparía el 25,3% esto se presenta en la Imagen 10, esto se hizo a través del portal web de la ESSA <https://geoportal.api-essa-electrosoftware.xyz/>. La potencia instalada siendo de 18,8 kVA (se redondeó a 19 kVA al insertar los datos debido a la configuración del portal).

Figura 11.

Ocupación del transformador para la conexión del SFV

ESSA Grupo-epm siempre adelante		
Información Punto de Conexión Longitud: -73.1354544938957 Latitud: 7.14895409943612 Código Transformador: 0180051 Código Apoyo Transformador: 1233602 Relación de Transformación: 13200/220 Tensión de Conexión (V): 220 Capacidad Nominal Transformador (kVA): 75	Información Subestación Nombre Subestación: LAS HAMACAS Código Subestación: 21 Circuito: 21502 Longitud: -73.141685 Latitud: 7.153075 Consumo Mínimo 12h (%): 9.515 Consumo Mínimo 24h (%): 9.515	Datos Ingresados Potencia declarada de entrega a la red (kW): 19
Datos Referencia Capacidad Instalada de Autogeneración (kW): 0 Energía FV Sin Almacenamiento (kWh): 0 Energía Diferente a FV Sin Almacenamiento (kWh): 0	Datos Disponibilidad Capacidad Disponible de Autogeneración (kW): 37.5 Energía Disponible FV Sin Almacenamiento (kWh): 4.758 Energía Disponible Diferente a FV Sin Almacenamiento (kWh): 4.758	Simulación Disponibilidad 25.3% Ocupación de Autogeneración del Transformador 99.8% Ocupación Energía Fotovoltaica Sin Almacenamiento 99.8% Ocupación Energía diferente a Fotovoltaica Sin Almacenamiento

4. Memoria de Cantidades

Una vez finalizado el dimensionamiento técnico de la red eléctrica y el sistema de autogeneración fotovoltaica, se procedió a la determinación de las cantidades de obra necesarias para la implementación física del proyecto. Este proceso se realizó mediante un análisis de los planos eléctricos generales y de iluminación, estimando cada uno de los ítems requeridos para materializar el diseño propuesto.

La memoria de cantidades detalla de manera estructurada la gran variedad de componentes que integran la solución. En cuanto a los conductores, se registra la longitud total de cableado requerida, discriminada por calibres y códigos de colores para la identificación normativa de fases, neutro y tierra. Asimismo, se listan los dispositivos de maniobra y protección, especificando las características de los interruptores termomagnéticos y diferenciales, y niveles de protección definidos en los cálculos.

En relación con la infraestructura de distribución, se definieron las especificaciones de los tableros eléctricos, incluyendo su capacidad de alojamiento de circuitos y sus características de montaje. También se identificaron los elementos finales de salida, como tomacorrientes y luminarias, junto con los equipos de respaldo críticos como las Unidades de Potencia Ininterrumpida (UPS) y los componentes propios del sistema solar.

Finalmente, se determinó la cantidad de elementos necesarios para el sistema de canalización, abarcando la ductería y sus accesorios complementarios, tales como uniones, curvas, grapas y cajas de paso. El detalle minucioso de estas cantidades, así como las especificaciones técnicas de cada material, se encuentran consignados para su consulta en el Anexo C/ Memorias de Cantidades.

5. Conclusiones

- Con respecto al plano de la instalación y las memorias de cálculo se divide en tres partes a destacar.

- La normativa es parte fundamental de los diseños así como los cálculos realizados, una guía muy importante en el ejercicio de realizar un proyecto adecuado que nos permitió realizar un plano adecuado y con sus apoyos técnicos complementarios.

- La asesoría de nuestro director y codirector de trabajo de grado que desde su experiencia nos ayudaron a darle un mejor rumbo al diseño y en general al trabajo de grado.

- Tercero, el criterio de diseñar se apoya principalmente en la norma y las necesidades de los distintos espacios lo que lleva proponer diseños como el aquí propuesto en este trabajo de grado.

- El dimensionamiento del sistema fotovoltaico para este proyecto evidencia la meticulosidad técnica y el criterio de ingeniería aplicados ante limitaciones de información inicial. La ausencia de un perfil de consumo real del plantel obligó a realizar una estimación basada en el comportamiento típico de un usuario comercial; asimismo, las restricciones de acceso a zonas de altura por seguridad y riesgo de caídas requirieron el uso de métodos alternativos para determinar la viabilidad de la ubicación de los paneles. Estas soluciones demuestran la capacidad de adaptación y el uso del ingenio para resolver desafíos técnicos durante el planteamiento del sistema.

Como objetivo principal, se definió que el sistema debería cubrir una fracción de la demanda eléctrica. Se estableció una meta clara y alcanzable del 25% del consumo promedio como umbral mínimo de diseño.

Tras el análisis de las alternativas, se seleccionó un sistema compuesto por 32 paneles solares, organizados en dos bahías. Cada bahía consta de dos cadenas (strings) de ocho paneles conectados en serie, lo que resulta en una potencia pico de 11.360 Wp por bahía y una potencia instalada total de 22.720 Wp. Con esta configuración, el sistema alcanza una cobertura promedio del 37,8% de la demanda, garantizando un aporte mínimo del 25,9%.

- El diagnóstico brindó una visión distinta a lo que es una instalación eléctrica haciendo que se buscarán activamente problemas que se pudiesen presentar, además tener que justificar las sospechas teniendo como aval la normativa y registros que apoyan lo encontrado.

Al realizar este trabajo de campo se percató que las malas prácticas y tal vez el afán de ahorrar dinero pueden generar pequeños problemas que se acumulan y repiten que a pequeño, mediano y largo plazo representen focos de incidentes/peligro los cuales no se puedan ignorar ni asumir.

Se pudieron evidenciar problemáticas como lo son la falta de una de las primeras medidas de protección para las personas como lo es la conexión del cableado de tierra, derivaciones de circuitos que no son adecuadas y seguras, además de elementos los cuales no están preparados para la intemperie.

- Las lecciones aprendidas en el desarrollo de este trabajo de grado que abren el espacio de experiencias como: La labor de realizar una inspección y levantamiento de información como inspeccionar tomacorrientes, tomar registro fotográfico junto con las limitaciones de ese diagnóstico como falta de acceso a los planos eléctricos de la instalación, por temas de seguridad y precaución a la manipulación del tablero principal y la falta de poder acceder a muchas zonas del cableado que no se pudo revisar el estado de toda la instalación, lo que nos llevó a evaluar todo aquello que esté a nuestro alcance junto con la socialización realizada con el personal de la

instalación que nos permitió tener en cuenta elementos y síntomas que no podríamos evaluar por nuestra cuenta. Luego con toda la información recopilada, se procesó en varias partes: fichas de diagnóstico de las instalaciones, el registro de lo recolectado durante las entrevistas y además de la labor de consultar e interpretar el reglamento técnico y normas para evaluar e iniciar el proceso de diseño.

La parte del diseño fue un desafío que empezó con la falta de un plano arquitectónico, lo que llevó a construir un esquema con los elementos esenciales para poder diseñar el plano eléctrico general, de iluminación y realizar las memorias de cálculo.

Seguido a dimensionar el sistema fotovoltaico que presentó sus dificultades, pero se logró aportar un diseño que afecta positivamente el consumo y permitió evidenciar el impacto de un AGPE.

Y al final, realizar las memorias de cantidades que es parte esencial de todo proyecto como un reto al cual estimar las cantidades totales de ciertos elementos como cableado, ductería y todos sus elementos de apoyo, la decisión de si aunque un trabajo de revisión para determinar las cantidades puede que no sea del todo preciso debido a falta de experiencia.

6. Recomendaciones

- Se recomienda la instalación de un cielo raso y el sellado hermético del recinto. Estas adecuaciones son críticas para minimizar las pérdidas por transferencia de calor, optimizar el rendimiento de los sistemas de aire acondicionado y reducir el consumo eléctrico asociado.
- Se sugiere implementar un protocolo de auditorías periódicas de seguridad ocupacional en toda la infraestructura educativa. El objetivo es identificar condiciones inseguras de manera temprana y garantizar el cumplimiento de los estándares de protección para la comunidad.
- Es imperativo restringir el acceso a los tableros de distribución únicamente a personal calificado. Asimismo, se debe erradicar el uso de los cuartos eléctricos como áreas de almacenamiento, garantizando que estos espacios se mantengan despejados y operen bajo condiciones de ventilación y seguridad normativas.
- Se deben eliminar las prácticas de derivación informal en los puntos de conexión. Todas las ampliaciones o modificaciones de la red deben ejecutarse siguiendo estrictamente el código eléctrico vigente para evitar puntos calientes, caídas de tensión o riesgos de incendio por sobrecarga.
- Para prolongar la vida útil de las unidades de enfriamiento trifásicas del auditorio, se recomienda la implementación de arrancadores suaves (soft-starters). Adicionalmente, se debe establecer un protocolo de encendido secuencial para evitar corrientes de corrientes excesivas que afecten la regulación de voltaje del sistema.

Referencias Bibliográficas

Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2021, 7 de octubre). Cartilla de autogeneración y generación distribuida – Resolución CREG 174 de 2021.

<https://gestornormativo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/c99b2f316a59fffb052587950077d9d1/%24FILE/Creg174-2021.pdf>

Congreso de Colombia. (2014, 13 de mayo). Ley 1715 de 2014. Función Pública.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=57353>

Electrificadora de Santander S.A. E.S.P. (ESSA). (2020). NTG-02. Norma técnica de diseño y construcción de redes de distribución.

<https://www.essa.com.co/site/Portals/proveedores/ntg-02%20marco%20general%20norma%20urbana.pdf>

Espitia Rey, C. M. (2017, 4 de diciembre). Guía metodológica para la implementación de sistemas fotovoltaicos a pequeña escala en Colombia [Tesis de maestría, Universidad de Santander]. Repositorio UDES.

<https://repositorio.udes.edu.co/server/api/core/bitstreams/0cb7ae08-d49d-4b94-b9f2-9a8fbb548582/content>

Grupo EPM. (s.f.). Anexo A: Caracterización de los parámetros meteorológicos en las zonas de influencia del Grupo EPM. Empresas Públicas de Medellín (EPM).

https://www.essa.com.co/site/Portals/clientes/Norma_Tecnica_Vigente/Normas_Complementarias_Dise%C3%B1o/Anexo%20A-Par%C3%A1metros%20Meteorol%C3%B3gicos%20Area%20Influencia%20Grupo%20EPM%20.pdf

ICONTEC. (2020). NTC 2050. Código Eléctrico Colombiano.

ICONTEC. (2023). NTC 4552-2. Protección contra descargas eléctricas atmosféricas (rayos).

Parte 2: Evaluación del riesgo.

IEEE. (2015). IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding (IEEE Std 80-2013).

Meneses Contreras, J. A., Pacheco Plazas, J. C., & Pita Laverde, S. A. (2023). Rediseño de las instalaciones eléctricas de la I.E. INEM Custodio García Rovira de Bucaramanga

[Práctica empresarial, Universidad Industrial de Santander]. Repositorio UIS.

<https://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/f3531ae7-2955-4ba9-8273-b5db5a59dabd/content>

Ministerio de Educación Nacional. (2008, marzo). NTC 4595. Norma Técnica Colombiana para Instalaciones Eléctricas en Establecimientos Educativos.

https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-96894_Archivo_pdf.pdf

Ministerio de Minas y Energía. (2024, 2 de abril). Reglamento Técnico de Instalaciones

Eléctricas (RETIE). <https://www.minenergia.gov.co/es/misional/energia-electrica-2/reglamentos-tecnicos/reglamento-t%C3%A9cnico-de-instalaciones-el%C3%A9ctricas-retie/>

Ministerio de Minas y Energía. (2024, 3 de mayo). Reglamento Técnico de Iluminación y

Alumbrado Público (RETILAP). <https://www.minenergia.gov.co/es/misional/energia-electrica-2/reglamentos-tecnicos/reglamento-t%C3%A9cnico-de-iluminaci%C3%B3n-y-alumbrado-p%C3%BAblico-retilap/>

Presidencia de la República de Colombia. (2008, 12 de septiembre). Decreto 3450 de 2008.

Diario Oficial No. 47.110.

<https://www.ins.gov.co/Normatividad/Decretos/DECRETO%203450%20DE%202008.pdf>

f