

**Alternativas para el aprovechamiento de los grupos electrógenos del campus central de la
UIS en el desarrollo de nuevas capacidades de la red eléctrica**

Cristhian Paul Díaz Severiche y Mariluz Mora Arévalo

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Electricista

Director

Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga

Doctor Ingeniero Electricista

Codirector

Gabriel Ordóñez Plata

Doctor Ingeniero Electricista

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Bucaramanga

2023

A Dios gracias por cada detalle y momento durante la realización de este proyecto, gracias a él por ser la base de nuestras vidas, por cada día en el que nos permitió despertar no solo con vida, sino también con salud, fuerzas y empeño; para que, con cada avance, cada experiencia y momento, pudiéramos continuar en nuestro camino de aprendizaje y poder lograr de su mano el resultado de nuestros esfuerzos.

Estoy muy agradecida con toda mi familia, que siempre estuvieron motivándome, gracias por ser mis guías de vida. Hoy cuando concluyo mis estudios, le dedico este logro a toda mi familia, este logro es de todos y para todos, gracias por ser quienes son y por creer en mí.

Me es importante reconocer el esfuerzo de mi pareja, quien estuvo siempre a mi lado, en mis momentos más difíciles y me ayudo a conseguir motivación para no dejarme caer, y cuando yo no podía más, estar siempre para levantarme, este logro también es tuyo. Mi sincero agradecimiento a mis amigos y compañeros de este viaje, hoy culminamos esta aventura y es inevitable recordar cuantos momentos compartimos juntos a lo largo de nuestra formación. Hoy cerramos un ciclo maravilloso que nos juntó y nos deja unidos para el resto de nuestras vidas, ya no como compañeros de estudio, sino como hermanos de vida, gracias por estar siempre allí.

Este trabajo de grado no habría sido posible sin la ayuda de nuestro director de proyecto que siempre estuvo dispuesto a ayudarnos y guiarnos para ser mejores, gracias por ser nuestro mentor y todos sus consejos, los llevaremos grabados para siempre en la memoria de nuestro futuro profesional.

A nuestra alma mater y todos los que la conforman, especialmente nuestra escuela, que tiene las mejores personas en sus directivos, que hacen que todo sea posible, y que luchan por formar grandes profesionales, además que siempre están batallando en equipo con sus estudiantes para que no dejemos de intentar, sino siempre lograr nuestros objetivos.

Mariluz Mora Arévalo

A Dios gracias por permitirme alcanzar esta meta y a mis padres por su amor incondicional, su apoyo constante y por haber sido mi inspiración en todo momento, su dedicación y sacrificios han hecho posible que hoy pueda concluir este proyecto.

A mis amigos por su presencia en los momentos más divertidos y en los más difíciles por su cariño y ánimos para seguir adelante.

A mis profesores por sus enseñanzas que nos permitieron crecer académicamente, sobre todo a nuestro director de proyecto por su paciencia y sabiduría.

Gracias por ser parte fundamental durante estos años de formación académica.

Cristhian Paul Díaz Severiche

Contenido

Introducción..... 14

1 Antecedentes 16

2 Componentes y funcionamiento de los grupos electrógenos 17

2.1 Componentes de un grupo electrógeno 17

2.1.1 Motor de combustión. 19

2.1.2 Alternador 19

2.1.3 Motor de arranque 20

2.1.4 Baterías 21

2.1.5 Depósito de combustible 21

2.1.6 Sistema de control maniobra..... 21

2.2 Dimensionamiento de un grupo electrógeno..... 22

2.2.1 Tipos de carga 22

2.3 Clasificación de los grupos electrógenos 24

2.3.1	De acuerdo a su aplicación.....	24
2.3.2	De acuerdo con su operación	24
2.3.3	De acuerdo con su instalación.....	25
2.3.4	De acuerdo con su potencia	25
2.4	Exigencias RETIE y NTC 2050	26
2.5	Uso tradicional de los GE.....	27
2.6	Mercado de Grupos Electrónicos	28
2.7	Alternativas para el uso de energía.	29
3	Revisión de las topologías de los grupos electrónicos presentes en el campus central de la UIS	32
3.1	Edificio biblioteca	32
3.1.1	Caracterización energética del edificio Biblioteca.....	34
3.2	Edificio Camilo Torres	35
3.2.1	Caracterización energética edificio Camilo Torres	36
3.3	Edificio ingeniería eléctrica	37

3.4	Edificio Virginia Gutiérrez de Pineda (Facultad de Ciencias Humanas).....	38
3.4.1	Caracterización energética edificio Ciencias Humanas	39
3.5	Edificio administración I.....	40
3.5.1	Consumo energético.....	41
3.6	CENTIC	42
3.6.1	Caracterización energética edificio CENTIC	44
3.7	Edificio ingeniería industrial	45
3.7.1	Caracterización energética edificio Ingeniería Industrial	47
4	Alternativas propuestas	51
4.1	Redistribución de las cargas totales (alternativa 1).....	52
4.2	Redistribución de las cargas en el grupo 1 (alternativa 2A).....	55
4.3	Redistribución de las cargas del grupo 2 (alternativa 2B).....	56
4.4	Redistribución de las cargas totales con dos plantas de 500 kW y 125 kW (alternativa 3)	58
4.4.1	Costos.....	59

4.5	Alternativa sistema radial con cogeneración.....	59
4.6	Alternativa Micro Red.....	62
4.7	Proyecto de interconexión red interna.....	63
4.7.1	Distancia entre los grupos electrógenos.....	63
4.7.2	Recorridos de interconexión	64
4.7.3	Costos asociados al proyecto de red interna	65
4.7.4	Costo de la energía generada en la micro red de grupos electrógenos.	66
4.7.5	Comparativo de costos de la energía generada	66
5	Viabilidad financiera para el aprovechamiento de los grupos electrógenos	67
5.1	Proyección del costo de los combustibles	68
6	Conclusiones	72
	Referencias Bibliográficas.....	74

Lista de Tablas

Tabla 1 *Partes de un grupo electrógeno*18

Tabla 2 *Altitud equipo*23

Tabla 3. *De acuerdo con su aplicación*24

Tabla 4. *De acuerdo con su operación*.....24

Tabla 5. *Pueden ser del tipo*25

Tabla 6. *Tipos de planta de acuerdo con su potencia*25

Tabla 7. *Grupos electrógenos del campus*.....32

Tabla 8 *Transformador 1*.....33

Tabla 9 *Transformador 2*.....33

Tabla 10 *Generador de imanes permanentes*34

Tabla 11 *Energía consumo promedio*.....35

Tabla 12 *Características transformador de potencia del edificio Camilo Torres*36

Tabla 13 *Consumo energético a partir del censo de cargas*37

Tabla 14 *Características transformador edificio ingeniería*.....37

Tabla 15 *Características planta emergencia*.....38

Tabla 16 *Consumo energético anual*38

Tabla 17 *Características transformador potencia*39

Tabla 18 *Características planta emergencia*.....39

Tabla 19 *Consumo energético por pisos*40

Tabla 20 *Características Transformador 1*41

Tabla 21 *Características transformados 2*41

Tabla 22 *Planta eléctrica*41

Tabla 23 <i>Consumo energético por Áreas</i>	42
Tabla 24 <i>Características transformador 1 Centic</i>	43
Tabla 25 <i>Características transformador 2 Centic</i>	43
Tabla 26 <i>Características Planta eléctrica</i>	44
Tabla 27 <i>Consumo energético por áreas</i>	45
Tabla 28 <i>Características planta de emergencia</i>	46
Tabla 29 <i>Características transformador 1 edificio ingeniería</i>	46
Tabla 30 <i>Características transformador 2 edificio ingeniería</i>	46
Tabla 31 <i>Características transformador 3 edificio ingeniería</i>	46
Tabla 32 <i>Consumo energético por áreas</i>	47
Tabla 33 <i>Grupos electrógenos</i>	48
Tabla 34 <i>Comportamiento de las cargas acumuladas con las plantas activas</i>	49
Tabla 35 <i>Comparación estrategias planteadas</i>	52
Tabla 36 <i>Cargas totales grupo electrógeno</i>	53
Tabla 37 <i>Redistribución de las cargas en el grupo 1</i>	55
Tabla 38 <i>Redistribución de las cargas del grupo 2</i>	56
Tabla 39 <i>Redistribución de las cargas totales con dos plantas de 500 kW y 125 kW</i>	58
Tabla 40 <i>Costos alternativa 3</i>	59
Tabla 41 <i>Costos sistema radial con cogeneración</i>	62
Tabla 42 <i>Distancia entre los grupos electrógenos</i>	63
Tabla 43 <i>Distancias mínimas interconexión</i>	65
Tabla 44 <i>Costos asociados al proyecto</i>	65
Tabla 45 <i>Comparativo de costos de energía</i>	66
Tabla 46. <i>Proyección financiera a 10 años.</i>	69

Lista de Figuras

Figura 1 *Componentes de un grupo eléctrico*.....18

Figura 2 *Motor de combustión*19

Figura 3 *Alternador para grupo eléctrico*.....20

Figura 4 *Motor de arranque*20

Figura 5 *Baterías conectadas en serie*21

Figura 6. *Grupo eléctrico edificio biblioteca*34

Figura 7. *Grupo eléctrico edificio Camilo Torres*36

Figura 8.. *Grupo eléctrico edificio ingeniería eléctrica*.....38

Figura 9. *Planta de emergencia edificio ciencias humanas*39

Figura 10. *Plan/ta de emergencia edificio Administración I*40

Figura 11. *Planta de emergencia CENTIC*44

Figura 12. *Planta de emergencia edificio ingeniería industrial*45

Figura 13. *Comportamiento de las cargas calculadas y acumuladas contra las cargas disponibles*.....50

Figura 14. *Cargas totales con plantas de 500kW*.....54

Figura 15. *Redistribución de las cargas del grupo 1*55

Figura 16. *Redistribución de las cargas del grupo 2*57

Figura 17. *Comportamiento de la distribución de cargas totales con planta de 625 kW.*58

Figura 18. *Consumo energético por edificios*61

Figura 19. *Distancia por grupo eléctrico*64

Figura 20. *Pérdidas con el sistema Radial*.....70

Figura 21. *Pérdidas con el sistema Microred*70

Figura 22. *Comparativo de los sistemas*71

Resumen

TITULO: “ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS DEL CAMPUS CENTRAL DE LA UIS EN EL DESARROLLO DE NUEVAS CAPACIDADES DE LA RED ELÉCTRICA”. *

AUTORES:

**CRISTHIAN PAUL DIAZ SEVERICHE
MARILUZ MORA AREVALO****

PALABRAS CLAVES: Grupo electrógeno, caracterización energética, alternativas, alternador, regulador, diagrama unifilar.

DESCRIPCION:

La mayoría de edificios que integran el campus central de la UIS cuentan con grupos electrógenos como sistema de alimentación de respaldo acorde con lo exigido en la reglamentación de instalaciones eléctricas. Dichos grupos electrógenos operan en modo stand by, es decir que solo se prenden cuando hay una interrupción del suministro, es decir muy pocas horas al año. Con el presente trabajo de grado se investigarán distintas alternativas para un mejor aprovechamiento de esos equipos buscando nuevas capacidades para la red eléctrica. Las alternativas identificadas se analizarán considerando aspectos técnicos y costos para su implementación.

Este trabajo de grado comprende la caracterización de los distintos grupos electrógenos presentes en los edificios del campus central de la UIS, se recopilará información acerca de la capacidad instalada, así como la infraestructura eléctrica asociada a dichos equipos. Conocida la capacidad instalada y la ubicación de los equipos, se buscarán alternativas y se propondrán ideas para darle un mayor aprovechamiento a éstos equipos en busca de nuevas capacidades de la red eléctrica. Esas alternativas que se formulen, serán analizadas desde el punto de vista técnico y reglamentario, y las que se encuentren viables desde ese punto de vista técnico, se les realizará una cuantificación de los costos y beneficios de su implementación.

*Trabajo de grado

**Facultad de ingenierías físico mecánicas. Escuela de ingenierías, eléctrica, electrónica y telecomunicaciones. Director: José Alejandro Amaya Palacio.

Abstract

TITLE: "ALTERNATIVES FOR THE USE OF THE GENERATOR SETS OF THE CENTRAL CAMPUS OF THE UIS IN THE DEVELOPMENT OF NEW CAPACITIES OF THE ELECTRICAL NETWORK".

AUTHORS:

CRISTHIAN PAUL DIAZ SEVERICHE

MARILUZ MORA AREVALO**

KEYWORDS: Generating set, energy characterization, alternatives, alternator, regulator, one-line diagram.

DESCRIPTION:

Most of the buildings that make up the central campus of the UIS have generators as a backup power supply system in accordance with the requirements of the regulations of electrical installations. These generators operate in standby mode, i.e. they are only turned on when there is an interruption of supply, i.e. very few hours a year.

With the present degree work, different alternatives will be investigated for a better use of these equipments looking for new capacities for the electrical network.

The identified alternatives will be analyzed considering technical aspects and costs for their implementation.

This degree work includes the characterization of the different generators present in the buildings of the central campus of the UIS, information will be collected about the installed capacity, as well as the electrical infrastructure associated with such equipment. Once the installed capacity and the location of the equipment is known, alternatives will be sought and ideas will be proposed to make better use of this equipment in search of new capacities in the electrical network. These alternatives that are formulated will be analyzed from the technical and regulatory point of view, and those that are found to be viable from this technical point of view, will have a quantification of the costs and benefits of their implementation.

*Degree work

* Faculty of physical and mechanical engineering. School of Engineering, Electrical, Electronics and Telecommunications. Director: José Alejandro Amaya Palacio.

Introducción

Un grupo electrógeno es una máquina compuesta de un motor de combustión interna y un generador eléctrico con el objetivo de convertir energía química en energía mecánica rotacional en el motor, y ésta es convertida en energía eléctrica por el generador el cual la entrega para abastecer la demanda de una instalación o de un edificio. Los grupos electrógenos son una fuente de energía independiente importante con la cual se puede satisfacer la demanda en régimen permanente o en caso de emergencia de instalaciones o edificios en especial cuando éstos no cuentan con una fuente de energía renovable instalada para suplir la demanda energética (Perea et al., 2016; Solano et al., 2014, 2015).

Generalmente, los grupos electrógenos se disponen como respaldo ante posibles interrupciones del servicio de energía. Los grupos electrógenos pueden asumirse como un componente clave en el sistema eléctrico para cualquiera que sea su aplicación dado el soporte que brindan a la red eléctrica cuando el suministro regular presenta anomalías que podrían afectar la continuidad el servicio energético. Los grupos electrógenos pueden asumirse como un componente clave en el sistema eléctrico para cualquiera que sea su aplicación dado el soporte que brindan a la red eléctrica cuando el suministro regular presenta anomalías que podrían afectar la continuidad el servicio energético (Perea et al., 2016).

Actualmente en el campus central de la UIS se encuentran funcionales grupos electrógenos ubicados en los edificios de biblioteca, facultad de ciencias humanas, ingeniería eléctrica, centic, ingeniería industrial, publicaciones, ingeniería mecánica, por mencionar algunos, los cuales se encuentran en stand-by (modo espera) aguardando para ser activados en el momento que se requieran, debido a que la red eléctrica presenta pocas salidas de servicio al año estos equipos son utilizados muy pocas veces (Perea et al., 2016;

Solano et al., 2015).

Con este trabajo de grado se pretende revisar que alternativas existen para darles mayor utilización a estos equipos, que beneficien la red eléctrica del campus central brindándole nuevas capacidades para afrontar eventos que afecten el suministro del fluido eléctrico.

El trabajo de grado se desarrolló en tres fases. En la primera fase se hace una revisión teórica concerniente al proyecto que ayudará a familiarizarnos con conceptos importantes para el entendimiento y desarrollo del proyecto y de las topologías de los grupos electrógenos existentes en el campus central de la UIS, para el desarrollo de esta fase se realizó un compilado de información guiándonos de unos proyectos de grados existentes en biblioteca y con información recogida de las diferentes divisiones pertinentes en el campus como lo son planeación, planta física y la división de mantenimiento tecnológico.

En la segunda fase después de haber analizado los consumos de las cargas y el funcionamiento de las plantas de emergencia, se proponen estrategias para el mejoramiento de la funcionalidad de dichas plantas y lograr así acoplarse a las nuevas capacidades de la red eléctrica y alcanzar la integración de todas las alternativas planteadas.

Finalizando, en la tercera fase, se realiza la interpretación y análisis de los resultados de todo el trazado recopilado anteriormente y se efectúa un contraste entre lo encontrado en la primera y lo planteado en la segunda fase, para luego poder cuantificar el costo y los beneficios de la posible implementación de lo planteado.

1 Antecedentes

En esta sección se presentan referentes históricos que sirven de orientación para el desarrollo del estudio. La investigación realizada por Martínez (2016), indica que las instituciones universitarias y las organizaciones están utilizando plantas de generación de energía propia y que actualmente se está estudiando el potencial energético de estas plantas.

El autor llevó a cabo un estudio sobre energías renovables en la Universidad Libre que aumentará el conocimiento de este sistema, el cual ha sido poco investigado. De igual modo, Martínez, (2016) trata de establecer la viabilidad de implantar la energía solar, eólica y de biomasa como soluciones alternativas a los problemas de costes de la electricidad, así como el impacto de las fuentes de energía tradicionales, lo cual es un ejemplo representativo. El estudio se fundamentó en el análisis de las energías solar, eólica y de biomasa, ya que, al incrementar la cantidad de alternativas, se tiene más de una posibilidad para dar con una que sea viable de utilizar.

Por otro lado, Niño (2010) señala que las plantas eléctricas permiten a pequeñas, medianas y grandes empresas disponer de una fuente alternativa de energía que les permite funcionar durante un cierto período de tiempo con un porcentaje de eficiencia de los procesos eléctricos, en función del tipo de planta adquirida por la empresa. Según el estudio de Niño (2010) el mercado de Grupos Electrónicos en Colombia ha visto un aumento significativo en las ventas de diferentes modelos en los últimos años, debido en gran parte a una mayor conciencia de la importancia de la continuidad del servicio.

Finalmente, Arenas (2019) declara que un sistema eléctrico de emergencia es necesario en todas las instalaciones de organizaciones donde su actividad dependa completamente de un continuo suministro de energía, este es el caso de los hospitales, industrias, universidades, instituciones bancarias, siendo de carácter obligatorio la instalación de un grupo electrógeno.

2 Componentes y funcionamiento de los grupos electrógenos

Un grupo electrógeno es un equipo que convierte la capacidad calorífica de combustibles fósiles como la gasolina, diésel o gas en energía mecánica y posteriormente en energía eléctrica. Los grupos electrógenos se conforman de un motor y un alternador acoplados y que se implementan en una base junto a otros elementos que pueden ser tanque de combustible, baterías y otros elementos eléctricos y electrónicos para el control de dicho grupo (Solano et al., 2014).

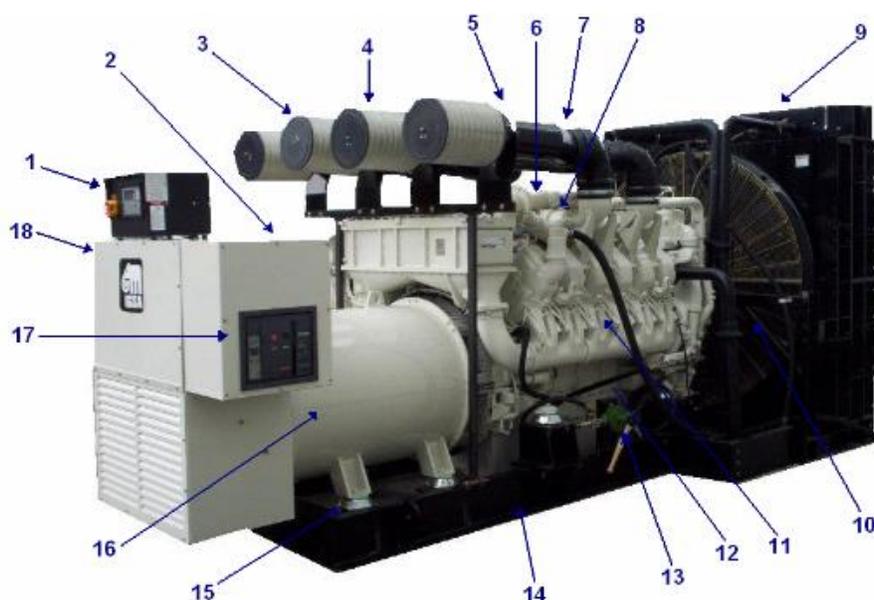
El uso de grupos electrógenos se hace para protegerse frente a la posibilidad de pérdidas periódicas o habituales de potencia de la red eléctrica que pueden ocasionar, entre otras cosas, pérdidas económicas, de potencia, de luz, apagado de equipos de mantenimiento de las constantes vitales, pérdida de producción, de datos archivados y de productos o incluso de vidas humanas.

Al producirse una interrupción del aporte de electricidad de la red principal a consecuencia de algún fallo, el conmutador de transferencia enviará una señal a la planta eléctrica, que se pondrá en funcionamiento y enviará la electricidad generada a las instalaciones. Cuando se restablezca el suministro de la red principal, el conmutador de transferencia bloqueará la salida de energía de la planta eléctrica y esta función volverá de nuevo a la red principal (Solano et al., 2014, 2015).

2.1 Componentes de un grupo electrógeno

En la siguiente figura se muestran los principales componentes que forman un grupo electrógeno.

Figura 1. Componentes de un grupo electrógeno.



Fuente: MANUAL IGSA

En la siguiente tabla se listan los componentes del grupo electrógeno

Tabla 1 Partes de un grupo electrógeno

Elemento	Descripción
1	Panel de control
2	Placa de datos montada en generador
3	Filtros de aire
4	Soporte de baterías y baterías
5	Motor/es de arranque
6	Alternador
7	Bomba de combustible
8	Turbo
9	Radiador
10	Guarda del ventilador
11	Motor de combustión interna
12	Carter
13	Bomba para drenar el aceite del carter
14	Base estructural
15	Amortiguador
16	Generador
17	Interruptor
18	Regulador de voltaje automático

2.1.1 Motor de combustión.

El motor de combustión es un componente básico en los grupos electrógenos, ya que proporcionan la energía mecánica para que el alternador gire y se genere electricidad, el motor de combustión interna puede ser de inyección mecánica o electrónica, los más utilizados son los motores diésel por ser más económicos que a gasolina y por ofrecer mayor rendimiento (Solano et al., 2015).

Figura 2 *Motor de combustión*



Fuente: MANUAL IGSA

2.1.2 Alternador

Convierte la energía mecánica proporcionada por el motor de combustión en energía eléctrica, generando una corriente alterna mediante inducción electromagnética, entre las características del alternador encontramos, que este es autoexcitado, sin escobillas y autorregulado precisamente acoplado al motor (Solano et al., 2014).

Figura 3 Alternador para grupo electrógeno

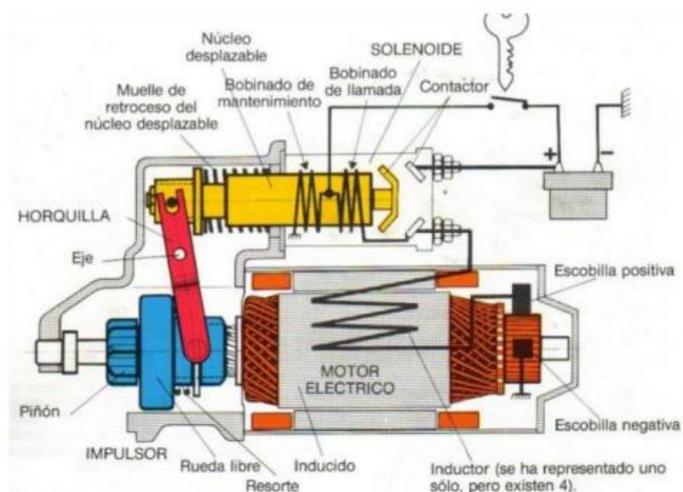


Fuente: MANUAL IGSA

2.1.3 Motor de arranque

Dado que el motor de combustión interna no puede arrancar por sí solo, se dispone de un motor de arranque de corriente continua capaz de acoplarse y desacoplarse del motor de combustión, éste transforma la energía suministrada por las baterías del grupo electrógeno en energía mecánica suministrándosela al motor de combustión para que arranque (Solano et al., 2014, 2015).

Figura 4 Motor de arranque

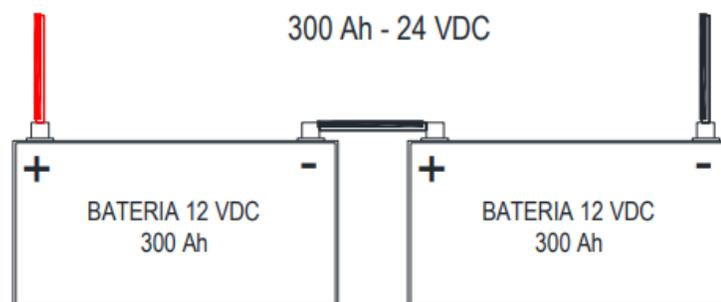


Fuente: MANUAL IGSA

2.1.4 Baterías

Proporcionan la energía al motor de arranque para que éste haga girar el motor de combustión interna, además también proporcionan energía a los elementos electrónicos que posee el grupo electrógeno. Las baterías del grupo electrógeno pueden ser de 12 V o 24 V, cuando se requieran capacidades mayores y una sola batería no puede suplir la carga se conectan varias baterías ya sea en serie o paralelo según se necesite (Solano et al., 2014).

Figura 5 Baterías conectadas en serie



Fuente: MANUAL IGSA

2.1.5 Depósito de combustible

El depósito de combustible está ubicado en la estructura que soporta al generador y al motor, y está construido para garantizar un suministro limpio y continuo al grupo electrógeno, generalmente los tanques de combustibles dan una autonomía de 8 horas de operación, por lo que si este tiempo es excedido se debe contar con un depósito de respaldo para evitar paros de la máquina por falta de combustible (Solano et al., 2014).

2.1.6 Sistema de control maniobra

Su función es controlar el arranque y parada del grupo electrógeno de manera manual o automática a través de una transferencia, esta transferencia puede estar conformada por

interruptores electromagnéticos, interruptores termomagnéticos o contactores electromagnéticos.

2.2 Dimensionamiento de un grupo electrógeno

Para el dimensionamiento de un grupo electrógeno se debe tener en cuenta ciertos factores entre los que encontramos:

2.2.1 Tipos de carga

Es importante identificar los tipos de cargas que el grupo electrógeno alimentará, en especial los tipos de carga mencionados a continuación:

Cargas de suministro de energía ininterrumpida (UPS): estas utilizan rectificadores controlados para convertir el voltaje de corriente alterna en voltaje de corriente continua para la carga de las baterías de almacenamiento, se requieren alternadores grandes para evitar el sobrecalentamiento debido a las corrientes armónicas inducidas por los rectificadores y para restringir la distorsión de voltaje del sistema al disminuir la reactancia del alternador (Solano et al., 2015).

Cargas de motores: al dimensionar el grupo electrógeno es importante identificar los tipos de motores y las cargas a alimentar, ya que estos presentan diferentes características de arranque las cuales pueden llevar a la necesidad de adquirir un grupo electrógeno grande o pequeño, durante el arranque del motor los kVA absorbidos son mayores a los de trabajo nominal, para realizar el cálculo de los kVA de arranque nos guiamos de la siguiente expresión (Solano et al., 2014):

$$kVA = \frac{HP * 0.736}{\cos\theta}, \cos\theta = 0.8$$

Conociendo los caballos de fuerza del motor HP se reemplaza en la expresión anterior y se agrega a dicha expresión un factor de corrección (Fc) que corresponde a la punta de arranque.

$$kVA = \frac{HP * 0.736 * Fc}{\cos\theta}, \cos\theta = 0.8$$

El factor de corrección según la existencia al momento de arranque del motor es la siguiente:

- Motores de arranque ligero como los que se encuentran en turbinas, ventiladores, bombas de superficie, máquinas de herramientas, máquinas de arranque en vacío, entre otras, factor de corrección $F_c = 3$.
- Motores de arranque medio como cintas transportadoras, bombas sumergidas, compresores, máquinas de bajo carga, entre otras, factor de corrección $F_c = 4$.
- Motores de arranque pesado como grúas, aparatos de elevación, máquinas de corte, máquinas de arranque bajo carga con grandes masas, entre otras, factor de corrección $F_c = 5$.
- Motores en funcionamiento, factor de corrección $F_c = 1$.

Altitud a la cual se instalará el equipo: la altitud a la que un motor es instalado, ya que la concentración de oxígeno disminuye según aumenta la altitud por lo que la cantidad de transferencia de calor del motor se reduce. La NEMA MG-1 especifica que si se supera la altitud de 3280 ft (1000 m) sobre el nivel del mar se debe considerar una reducción de la potencia del motor (derrateo), como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2 *Altitud equipo*

Altitud [ft]	Factor de derrateo
3301-5000	0.97
5001-6600	0.94
6601-8300	0.90
8301-9900	0.86
9901-11500	0.82
11501-13100	0.78
13101-14700	0.74
14701-16300	0.70

2.3 Clasificación de los grupos electrógenos

2.3.1 De acuerdo a su aplicación

Pueden ser:

Tabla 3. De acuerdo con su aplicación

Tipo	Descripción	Usos
De emergencia	Empleados por razones de seguridad en instalaciones donde el servicio eléctrico es esencial para la operación de áreas críticas. (Solano et al., 2014, 2015).	En áreas de cirugía, cuidados intensivos, operación de ascensores, bombas de suministro, iluminación de emergencia.
Continua	Empleados en lugares donde el servicio eléctrico es nulo o donde se necesite un servicio eléctrico de manera ininterrumpida. (Solano et al., 2014, 2015).	En centros de cómputo, bases de datos, emisoras, antenas de transmisión.

2.3.2 De acuerdo con su operación

Tabla 4. De acuerdo con su operación

Tipo	Descripción
Manual	Grupos electrógenos que requieren de un interruptor accionado manualmente para su arranque o parada. (Solano et al., 2014, 2015).
Semiautomático	Grupos electrógenos que cuentan con un control automático pero su sistema de transferencia se opera manualmente. (Solano et al., 2014, 2015).
Automáticos (ATS) Automatic Transfer Switch	Funcionamiento totalmente automático, cuentan con un microprocesador que le permite al equipo realizar funciones de operación, supervisión y protección. (Solano et al., 2014, 2015).
Automáticos para sincronía/peak shaving	Grupos electrógenos que cuentan con un control automático que maneja funciones de sincronía para realizar procesos de emparellamiento entre grupos o del grupo y la red. (Solano et al., 2014, 2015).

2.3.3 De acuerdo con su instalación

Tabla 5. Pueden ser del tipo

Tipo	Descripción
Estacionarias	Instalados fuera o dentro del sitio donde se encuentra la carga a alimentar, deben tener un sistema de ventilación para gases de escape. (Solano et al., 2014, 2015).
Móviles	Equipos que se encuentra apoyados sobre una plataforma con ruedas o sobre un vehículo para ser utilizadas en el lugar que se requieran. (Solano et al., 2014, 2015).

2.3.4 De acuerdo con su potencia

Tabla 6. Tipos de planta de acuerdo con su potencia

Tipo	Descripción	Usos
Potencia auxiliar de emergencia ESP (Emergency Standby Power)	Grupos electrógenos empleados para dar respaldo a la red eléctrica en caso de interrupción durante el tiempo que dure ésta. Tiempo de utilización anual no debe exceder las 200 horas y el factor de carga no superará el 70% de la potencia máxima disponible del equipo. (Solano et al., 2014, 2015).	De respaldo en hospitales, sistemas de seguridad como cámaras y sistemas de acceso codificado, cargas críticas, respaldo de servicios generales como ascensores, bombas de suministro e iluminación de emergencia, hoteles, etc.
Potencia principal por tiempo limitado LTP (Limited-time running power)	Máxima potencia que un grupo electrógeno puede suministrar hasta por 500 horas de operación al año, típicamente empleada en aplicaciones de cargas constantes. (Solano et al., 2014, 2015).	En instalaciones de telecomunicaciones, campamentos militares instalados por tiempo limitado en zonas remotas, actividades mineras.
Potencia principal de tiempo ilimitado PRP (Unlimited time prime power)	Máxima potencia que un grupo electrógeno puede suministrar a una carga variable un número ilimitadas de horas al año, el factor de carga promedio no deberá exceder el 70% de la potencia durante un tiempo de 24 horas. (Solano et al., 2014, 2015).	En lugares donde la red eléctrica es inexistente como lo son embarcaciones marítimas, casas rurales, instalaciones de telecomunicaciones, etc.
Potencia de operación continua COP (Continuos operating power)	Máxima potencia que un grupo electrógeno puede suministrar a una carga constante durante un número ilimitado de horas al año. (Solano et al., 2014, 2015).	Campamentos ubicados en zonas pocos accesibles como playas, montañas, antenas repetidoras, etc.

2.4 Exigencias RETIE y NTC 2050

En la sección 700 de la NTC 2050 y en el RETIE se indican las disposiciones para la instalación, operación y mantenimiento de los sistemas de emergencia consistentes en los circuitos y equipos destinados e instalados para suministrar, distribuir y controlar la electricidad, dentro de los diez segundos siguientes al fallo, a los sistemas de fuerza, de alumbrado o ambos para áreas y equipos previamente establecidos cuando se interrumpe el sistema normal a esas instalaciones. Los sistemas de emergencia deben abastecer los medios de comunicación, señales de salida, sistemas de ventilación, detección y alarma de sistemas contra incendios, ascensores, sistemas de comunicación, procesos industriales y sistemas en los que la interrupción del suministro eléctrico puede producir riesgos para la seguridad y vida humana.

Para la selección del grupo electrógeno se tendrá en cuenta factores como ubicación, ventilación y la potencia que se deberá satisfacer. La planta de emergencia deberá estar ubicada en un lugar con las siguientes condiciones:

- Adecuada extracción de gases a la atmosfera.
- Contar con ventilación suficiente para el enfriamiento del motor.
- Suficiente espacio para garantizar un manejo adecuado del combustible.
- Garantizar una mínima perturbación por ruido hacia el exterior del sitio.
- La planta de emergencia deberá estar ubicada en un cuarto diferente al local de la subestación y por seguridad ambos accesos deben ser independientes. El acceso debe permitir la fácil entrada y salida de personas y equipos.

Entre otros requisitos para la instalación de un sistema de emergencia se encuentran:

- El equipo de transferencia debe ser automático y estar debidamente identificado

para usarlo en emergencia, el equipo de transferencia debe estar diseñado e instalado de modo que impida la interconexión accidental de las fuentes de alimentación normal y la de emergencia al hacer cualquier manipulación.

- En los grupos electrógenos con motores primarios se deben instalar medios para arrancar el motor primario automáticamente bajo falla en el servicio normal y que transfieran automáticamente las cargas a los circuitos de emergencia y las mantengan en funcionamiento.
- Cuando el motor primario del grupo electrógeno sea de combustión interna se debe instalar en el mismo sitio del predio un depósito y un sistema de alimentación de combustible para que el sistema pueda funcionar durante dos horas como mínimo durante una falla, a excepción de lugares donde es poco probable que falle de manera simultánea el suministro exterior y la energía entregada por el operador de red.

2.5 Uso tradicional de los GE

Los grupos electrógenos son comúnmente usados para las siguientes actividades:

- Como sistema de emergencia para proporcionar la energía necesaria durante el o los momentos en que la fuente de alimentación del operador de red no esté disponible y respaldar operaciones que no soportan un corte de energía como los procesos industriales donde una paralización de actividades representa pérdidas económicas o en edificios hospitalarios donde es vital mantener el flujo eléctrico.
- Para generación en horarios punta la carga se desconecta del suministro de la red con el fin de disminuir la demanda de potencia en el horario punta.

- Para sistemas donde parte de la demanda energética se suple de autogeneración y parte de la red de suministro del operador de red, funciona en paralelo con la red.
- Para alimentar cargas en lugares que no están conectados a la red debido a ausencia de tendido eléctrico o no se cuenta con un empalme que pueda abastecer la demanda.

2.6 Mercado de Grupos Electrógenos

Los grupos electrógenos son de gran importancia en el desarrollo de áreas y actividades en donde no existe conexión de una red eléctrica o dónde los cortes son frecuentes, estos equipos pueden servir como fuente de suministro principal o de emergencia. El mercado mundial de grupos electrógenos sigue en crecimiento y según informes de Navigant Research la capacidad mundial instalada de grupos electrógenos diésel podría crecer hasta los 103,7 GW en 2024 desde los 62,5 GW en 2015, de igual manera para los grupos electrógenos a gas se espera un crecimiento desde los 12,9 GW en 2015 hasta más de 27,1 GW en 2024. (FuturEnergy, 2015).

Los grupos electrógenos diésel son los más usados debido a su bajo costo de mantenimiento y alta eficiencia del combustible usado en comparación con los de gas natural sin embargo debido a la alta volatilidad del precio del diésel y las regulaciones ambientales los grupos electrógenos a gas cuya combustión es más limpia que el diésel, han ido ganando terreno y son ahora el motor elegido para el mercado de generación estacionaria con ciclos de trabajo más elevados (500 horas al año) y fiabilidad de funcionamiento. (FuturEnergy, 2015).

Durante la reciente pandemia de Covid-19 el mercado de grupos electrógenos sufrió una caída en todo el mundo debido a la reducción de la demanda de energía principalmente en el sector industrial y comercial donde muchos negocios se vieron obligados a cerrar, debido a la reactivación económica luego de superada la crisis sanitaria un aumento de la demanda de energía fue evidente,

la necesidad de soluciones de energía de respaldo de emergencia, la falta de una estructura de red confiable y el crecimiento de la demanda han vuelto a darle un empujón al mercado de los grupos electrógenos. Los generadores de capacidad inferior a 75 kVA serán tendencia en el mercado ya que los mismos son mayormente utilizados en el sector de las telecomunicaciones, pequeños restaurantes, estaciones de servicio, entre otros.

Se espera que el mercado de grupos electrógenos de América del Sur aumente a una CAGR (tasa de crecimiento anual compuesta) de más de 2.5% durante el periodo 2020-2025, este impulso en el mercado de grupos electrógenos se deba a factores como falta de infraestructura de red confiable, la necesidad de soluciones de energía de respaldo de emergencia y el aumento de las operaciones de desarrollo en varias áreas remotas y rurales, algunos hechos en el mercado que han aumentado la venta de los grupos electrógenos son los siguientes: en 2019, Pramac fabricante de generadores suministró a una empresa de minería en Chile ocho generadores diésel que trabajan 18 horas al día durante operaciones mineras y generan de 4 a 5 MW de energía, ese mismo año Cummins Brasil vendió 30 grupos electrógenos diésel a una empresa de equipos de refrigeración y energía en Qatar y la petrolera Repsol obtuvo cuatro nuevos bloques exploratorios off shore en las Cuencas de Campos y Santos, se espera que las actividades de exploración, perforación y producción utilicen grupos electrógenos para el suministro de las estaciones costa afuera. (Mordor Intelligence, 2019).

2.7 Alternativas para el uso de energía.

Las energías renovables han sido una respuesta inmediata a los efectos del calentamiento global, a la demanda de energía de la población y también a la necesidad de encontrar una opción al uso de combustibles fósiles. Estos últimos, además de no ser renovables, son contaminantes como la producción de dióxido de carbono (CO₂), que tiene una influencia directa en el aumento

de la temperatura promedio anual en la atmósfera (Frías, 2012).

El uso de energías renovables permite el desarrollo de sistemas globales de conversión, almacenamiento y distribución, como la energía solar. A nivel mundial, las tecnologías como la fotovoltaica y la energía térmica tienen un gran potencial de desarrollo. La primera se utiliza para generar electricidad a través de celdas de silicio, mientras que la segunda se utiliza para calentar el fluido a través de concentradores o colectores de placa plana. Aprovechar esta energía para generar electricidad no solo es económicamente rentable, sino que además no produce residuos (Frías, 2012).

Frías, (2012) señala que un sistema híbrido fotovoltaico-térmico parece ser una opción viable, ya que es un sistema diseñado no solo para absorber calor, sino para generar electricidad a la vez debido a las demandas domésticas e industriales de electricidad y agua caliente. Por las razones anteriores, se considera útil construir un dispositivo que pueda satisfacer ambos requisitos.

Según Suárez, (2018) una de las formas de controlar el efecto invernadero es el uso de fuentes de energía libres de contaminantes y que sean renovables, a diferencia de los combustibles fósiles. Los combustibles fósiles no solo producen grandes cantidades de residuos contaminantes, sino que también están próximos a agotarse. Algunas de las fuentes de energías renovables y alternativas son: la solar fotovoltaica o solar térmica, biomasa en ambiente controlado, eólica, marina y geotérmica.

Este tipo de energías se han estado estudiando a nivel internacional durante un largo período de tiempo (biomasa desde el descubrimiento del fuego, eólica para los molinos de viento e impulso de barcos). Durante las décadas de 1970 y 1980, la industria en los países desarrollados experimentó un significativo avance debido a la escasez de recursos fósiles, principalmente del petróleo (Suárez, 2018).

Por otro lado, Pinzón, (2016) señala que Colombia es un país con una gran abundancia de recursos naturales, pero se ha concentrado en el uso de fuentes de energía convencionales como las hidroeléctricas y los combustibles fósiles. Estos sistemas, que son susceptibles de ser poco efectivos, como se ha puesto de manifiesto en los últimos años. Los fenómenos meteorológicos están provocando problemas que afectan al funcionamiento del servicio. En la actualidad, los métodos alternativos de generación de energía están en aumento debido a que factores como la sobreexplotación de recursos naturales y los cambios climáticos están obligando a su implementación.

Alrededor del 81% de la energía consumida a nivel mundial procede de combustibles fósiles, mientras que el 19% restante proviene de fuentes renovables. Este último se asocia principalmente con el uso tradicional de biomasa para calefacción y la generación de energía. (Pinzón, 2016).

La energía solar, geotérmica y de biomasa se aprovechan de manera menos significativa para su conversión a energía térmica mediante el empleo de tecnologías relativamente modernas, seguidas de la energía eólica para la generación de electricidad. El uso de fuentes de energía renovables se incrementa con el uso de biocombustibles en el sector de transporte, así como con la implementación de tecnologías en estadios incipientes de desarrollo, como es el caso de la energía de los mares, que puede aprovecharse mediante el uso de mareas, oleaje, gradientes térmicos o gradientes salínicos (Pinzón, 2016).

3 Revisión de las topologías de los grupos electrógenos presentes en el campus central de la UIS

En el campus central de la UIS se encuentran en funcionamiento siete grupos electrógenos que suplen las cargas asociadas a estos en caso de falla de la red de suministro, la capacidad de estos equipos va desde los 125 kVA hasta los 625 kVA, a continuación, se listan las características de estos equipos y su ubicación en el campus.

Tabla 7. Grupos electrógenos del campus

Ubicación	Capacidad instalada [kVA / kW]	Niveles de tensión [V]	Tipo combustible	Autonomía [horas]
Edificio Biblioteca	625 / 500	440 / 254	Diésel	6 / 8
Edificio Ing. Eléctrica	250 / 200	220 / 127	Diésel	6 / 8
Edificio Camilo Torres	375 / 300	220 / 127	Diésel	6 / 8
Edificio Ciencias Humanas	325 / 260	215 / 124	Diésel	6 / 8
Edificio Admon I	156 / 125	220 / 127	ACPM	6 / 8
Edificio Centic	250 / 200	208 / 120	ACPM	6 / 8
Edificio Ing. Industrial	250 / 200	440 / 254 – 220 / 127	ACPM	6 / 8

3.1 Edificio biblioteca

La subestación de la biblioteca es alimentada desde el barraje ubicado en la subestación principal ubicada en el edificio de Laboratorios de Alta Tensión, por medio de una cometa subterránea Cu 2 AWG XLPE 15 kV que llega a un seccionador de 100 A TipoHH.

El edificio de biblioteca consta de cuatro pisos y un sótano. Para satisfacer la demanda de electricidad del edificio se cuenta con dos transformadores. En las siguientes tablas se muestran las características de los transformadores.

Transformador 1: Usado para alimentar el sistema de iluminación, equipos de cómputo, equipos de cafetería y dos unidades condensadoras (aire acondicionado).

Tabla 8 Transformador 1

Transformador 1		
Código sig:0112	Clase: encapsulada	Potencia trf:315 kV
Relación trf:13200/(440-254) v	Grupo conexión Dy5	Tensión cc(uz): 3.4%
Fabricante trf: andina de trf		Corriente cc: 12 kA
Tipo seccionador: seccionador bajo carga para uso interior	Taps:	13530
Dimensiones trf:1.5*0.9*1.6 m		Tap actual
Tipo fusible: bayoneta	Tipo pararrayo n/a	12870
In fusible: 25 a	Tensión pararrayo : n/a	12540
Frecuencia: 60 Hz	Id pararrayo: n/a	12210

Fuente: Elaboración propia de los autores

Transformador 2: Usado para la alimentación el sistema de aire acondicionado del edificio.

Tabla 9 Transformador 2

Código SIG:0111	Clase: Encapsulada	Potencia TRF:315 Kva	
Relación TRF:13200/(220-127) V	Grupo Conexión Dy5	Tensión cc(Uz): 4.05%	
Fabricante TRF: SIEMENS		Corriente cc: 20 kA	
Tipo Seccionador: Seccionador bajo carga para uso interior	Taps:	Tap actual	13530
Dimensiones TRF:1.5*0.9*1.6 m		Tap actual	13200
Tipo Fusible: Bayoneta	Tipo Pararrayo N/A		12870
Corriente: 13.7/826.6A	Tensión Pararrayo : N/A		12540
Frecuencia: 60 Hz	Id Pararrayo: N/A		12210

Fuente: Elaboración propia de los autores

El edificio de biblioteca cuenta con una planta eléctrica que suministra energía eléctrica en caso de ausencia del servicio debido a fallas, la planta alimenta cargas críticas como iluminación, servidores y aires acondicionados.

Figura 6. Grupo electrógeno edificio biblioteca



Fuente: Elaboración propia de los autores

La planta de emergencia está conformada por un generador de imanes permanentes y un motor diésel, en la tabla siguiente se muestra sus características.

Tabla 10 Generador de imanes permanentes

Generador de imanes permanentes	
Potencia:	625/500 (kVA/kW)
Factor de potencia:	0,8
Tensión:	440/254 V
Velocidad:	1800 rpm
Motor diésel	
Combustible:	Diésel
Velocidad:	1800 rpm
Refrigeración:	Agua

Fuente: Elaboración propia de los autores

3.1.1 Caracterización energética del edificio Biblioteca

Las cargas presentes en el edificio de Biblioteca son equipos de cómputo, sistema de aire acondicionado, iluminación, motores (ascensor, montacargas) y otros como lo son ventiladores, cafeteras, horno microondas, licuadora y nevera. Los datos de consumo energético, así como del inventario de cargas presentes en el edificio se tomaron del trabajo de grado titulado

“Caracterización energética del edificio Biblioteca (campus central Universidad Industrial de Santander) aplicando el proceso de implementación del sistema de gestión integral de la energía (SGIE)”, en la tabla se muestra un censo de carga del edificio Biblioteca teniendo en cuenta la potencia nominal de cada equipo y las cantidades de estos.

Se hace un estimado del consumo energético demandado por las cargas en el edificio, teniendo en cuenta las horas de uso promedio de los equipos.

Tabla 11 *Energía consumo promedio*

Área	Energía consumida promedio mensual kW/h
Equipos de oficina	6896,602
Aires acondicionados	24630,036
Iluminación	16882,416
Motores	1469,760
Otras cargas	1452,720
Total	51331.534

Fuente: Elaboración propia de los autores

3.2 Edificio Camilo Torres

El edificio Camilo Torres está conformado por los bloques Camilo Torres, Laboratorio Livianos y Laboratorio de Posgrados. La subestación eléctrica del edificio Camilo Torres está ubicada en la parte oeste del bloque de Laboratorios Livianos, se conecta desde la subestación de la planta de aceros la cual a su vez se conecta con la subestación de Ingeniería Civil alimentada desde la subestación principal ubicada en el edificio de Eléctrica antigua.

Un transformador trifásico de 500 kVA alimenta los tres bloques a través de una acometida 2 AWG XLPE 15 kV, cuyo lado secundario está conectado a un tablero general de baja tensión desde el cual se alimentan los centros de carga de aires acondicionados del edificio de Laboratorio Livianos y que va a un tablero de transferencia de baja tensión el cual va conectado a una planta de emergencia.

Figura 7. Grupo electrógeno edificio Camilo Torres



Fuente: Elaboración propia de los autores

Esta planta de emergencia alimenta en caso de falla del suministro eléctrico una carga de 85 kVA del Camilo Torres, 125 kVA de Laboratorio de Livianos y 85 kVA de Laboratorio de Posgrados, también cuenta con una derivación hacia un cuarto de UPS la cual respalda una demanda de 45 kVA de Laboratorio de Livianos y 35kVA de Laboratorio de Posgrados.

Tabla 12 Características transformador de potencia del edificio Camilo Torres

Potencia:	400 kVA
Relación de transformación:	13200/208-120 V
Grupo de conexión:	Dy5
Refrigeración:	ONAN
Aislamiento lado alta tensión:	95 kV
Aislamiento lado baja tensión:	30 kV
Frecuencia:	Hz

Fuente: Elaboración propia de los autores

3.2.1 Caracterización energética edificio Camilo Torres

Los tipos de carga presentes en las distintas áreas del edificio Camilo Torres son equipos de cómputo, proyectores, equipos de aire acondicionado, luminarias, equipos de laboratorio como microscopios, bombas de vacío, incubadoras, centrifugas, entre otros. Los datos de consumo energético y del censo de carga se tomaron del trabajo de grado titulado “Caracterización energética

del edificio Camilo Torres aplicando la metodología del sistema de gestión integral de la energía”, estos datos se presentan a continuación.

Tabla 13 Consumo energético a partir del censo de cargas

Área	Energía consumida promedio mensual kWh
Áreas comunes	7820,96
Salones de clase	7599,04
Oficinas profesores	3545,76
Área administrativa	9603,084
Centro de estudios	2976,48
Auditorios	1643,656
Salas de cómputo	10138,12
Laboratorio Livianos	23677,332
Laboratorio Posgrados	18776,738
Total	85781,17

Fuente: Elaboración propia de los autores

3.3 Edificio ingeniería eléctrica

El transformador de potencia ubicado en el edificio de ingeniería eléctrica se conecta directamente al barraje 4 vías que se encuentra en el edificio Eléctrica antigua, las características de dicho transformador son las siguientes:

Tabla 14 Características transformador edificio ingeniería

Potencia:	630 kVA
Relación de transformación:	13200/220-127 V
Grupo de conexión:	Dy5
Factor de potencia:	0.8
Frecuencia:	60 Hz

Fuente: Elaboración propia de los autores

Se cuenta también con una planta de emergencia cuyos datos son los siguientes:

Figura 8. Grupo electrógeno edificio ingeniería eléctrica

Fuente: Elaboración propia de los autores

Tabla 15 Características planta emergencia

Potencia:	250 kVA – 200 kW
Relación de transformación:	220-127 V
Frecuencia:	60 Hz
Transferencia:	700 A Categoría AC3 220 V

Fuente: Elaboración propia de los autores

Tabla 16 Consumo energético anual

Área	Consumo kWh
Sótano	3128,10
Piso 1	10656
Piso 2	5000
Piso 3	5656
Piso 4	8674
Piso 5	12204,40
Otros servicios	2882
Total	48200,50

Fuente: Elaboración propia de los autores

3.4 Edificio Virginia Gutiérrez de Pineda (Facultad de Ciencias Humanas)

El edificio de la facultad de ciencias humanas se conecta desde un apoyo ubicado en la calle 9 con cra 26ª a un nivel de tensión de 13200 V, las características del transformador de potencia se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 17 Características transformador potencia

Potencia:	400 kVA
Relación de transformación:	13200/215-124 V
Frecuencia:	60 Hz
Refrigeración:	ONAN
Grupo de conexión:	Dy5

Fuente: Elaboración propia de los autores

Se cuenta con una planta de emergencia con las siguientes características:

Figura 9. Planta de emergencia edificio ciencias humanas

Fuente: Elaboración propia de los autores

Tabla 18 Características planta emergencia

Potencia:	260 kW / 325 kVA
Relación de transformación:	220-127 V
Frecuencia:	60 Hz
Transferencia:	Diésel

Fuente: Elaboración propia de los autores

3.4.1 Caracterización energética edificio Ciencias Humanas

Los tipos de carga presentes en las distintas áreas del edificio Ciencias humanas se identificaron por medio de un censo de carga, los datos de consumo energético y del censo de carga se tomaron del trabajo de grado titulado “Caracterización del edificio Virginia Gutiérrez de Pineda (Facultad de Ciencias Humanas-UIS) aplicando la metodología del sistema de gestión integral de la energía (SGIE)”, estos datos se presentan a continuación.

Tabla 19 Consumo energético por pisos

Área	Consumo kWh
Sótano	6656,35
Piso 1	9550,49
Piso 2	5615,08
Piso 3	3900,11
Piso 4	2172,8
Mezanine	1863,50
Total	29758,33

Fuente: Elaboración propia de los autores

3.5 Edificio administración I

El edificio de administración I se alimenta a través de una acometida subterránea Cu 2 AWG XLPE 15 kV conectadas a uno de los seccionadores ubicados en el edificio de biblioteca la cual llega a dos transformadores uno de 200 kVA y otro de 75 kVA encargados de suplir la demanda del edificio.

En administración I se cuenta con una planta de emergencia marca CUMMINS con potencia nominal de 156 kVA.

Figura 10. Planta de emergencia edificio Administración I



Fuente: Elaboración propia de los autores

El transformador de 200 kVA alimenta el 90% de la demanda del edificio y tiene las siguientes características.

Tabla 20 Características Transformador 1

Transformador 1			
Código SIG:	Clase: Encapsulada	Potencia TRF: 200kVA	
Relación TRF: 13200	Grupo Conexión: Dy5	Tensión Serie(Kv): 15.0/1.2	
Fabricante TRF: ONAN		Volumen de líquido aislante: 234L	
Masa Total (Kg): 980	Taps:	13530	
Dimensiones TRF: 1000msnm		Tap actual	13200
Tipo Pararrayo: N/A Tensión Pararrayo:			12870
N/AId Pararrayo: N/A			12540
		12210	

Fuente: Elaboración propia de los autores

El transformador de 75 kVA y se destina a alimentar la demanda generada por las oficinas de ingeniería y tiene las siguientes características:

Tabla 21 Características transformados 2

Transformador 2			
Código sig:	Clase: encapsulada	Potencia trf: 75kVA	
Relación trf: 13200 95/30kV	Grupo conexión: Dy5	Tensión serie(kv): 15.0/1.2	
Fabricante trf: onan		Volumen de líquido aislante: 92l	
Masa total (kg): 413	Taps:	13530	
Dimensiones trf: 1000msnm		Tap actual	13200
Tipo pararrayo: n/a Tensión pararrayo: n/aId			12870
pararrayo: n/a			12540
		12210	

Fuente: Elaboración propia de los autores

La planta eléctrica de emergencia funciona en caso de falla en el suministro de energía y sus características son las siguientes:

Tabla 22 Planta eléctrica

Planta eléctrica		
Marca: cummins power generation	Generador	Trifásico
Potencia nominal	156/125 (kVA/kW)	Tensión(V) 220/127
Eficiencia	90%	Factor de potencia 0.8
Combustible	Acpm	Frecuencia 60hz
Velocidad	1800rpm	Enfriamiento Agua

Fuente: Elaboración propia de los autores

3.5.1 Consumo energético

Los tipos de carga presentes en las distintas áreas del edificio Administración I se

identificaron por medio de un censo de carga, los datos de consumo energético y del censo de carga se tomaron del trabajo de grado titulado “Caracterización del edificio Administración I de la Universidad Industrial de Santander aplicando la metodología del sistema de gestión integral de la energía (SGIE)”, estos datos se presentan a continuación.

Tabla 23 Consumo energético por Áreas

Dependencia	Consumo kWh-mes
Admisiones y R.A	4044,26
Vicerrectoría académica	2391,276
Vicerrectoría administrativa	2506,033
División financiera	3031,832
División recursos humanos i	3300,57
División recursos humanos ii	789,44
Vicerrectoría académica ii	1018,60
Asuntos pensionales	404
Tele UIS-prensa	1315,36
Tele UIS-comunicaciones	1149,19
Rectoría	3469,26
Carnetización	475,66
Oficinas ingeniería	1555,08
Secretaría general	3746,94
Promedio	2085,536

Fuente: Elaboración propia de los autores

Cuando la planta entre a trabajar, les brindará respaldo a equipos de cómputo, detectores de olor, ascensores y luminarias y demás electrodomésticos de uso indispensable:

En el momento en que el servicio de energía falle, la planta de emergencia entra en funcionamiento para abastecer una potencia inicial de 48701,32 W, este valor equivale a 60,88kVA, como la planta de emergencia tiene una potencia de 156kVA, puede abastecer a los equipos de cómputo y luminarias satisfactoriamente inicialmente.

3.6 CENTIC

El sistema eléctrico del CENTIC está alimentado por la red de media tensión de 13,2 kV que proviene de la subestación biblioteca y que energiza dos transformadores de 500 kVA cada uno, los cuales alimentan las cargas del edificio.

El primer transformador de 500 kVA, marca SIEMENS está destinado a alimentar las cargas sensibles, como son los equipos de cómputo, servidores, sistemas de automatización:

Tabla 24 Características transformador 1 Centic

Transformador 1				
Código sig:0110	Clase: encapsulada	Potencia trf:500 kVA		
Relación trf:13200/(216-124.7) V	Grupo conexión Dy5	Tensión cc(uz): 3.9%		
Fabricante trf: siemens		Corriente cc: 34.27 kA		
Tipo seccionador: seccionador bajo carga para uso interior Dimensiones trf:1.8*1.1*1.3m		Taps:	Tap actual	13530
				13200
Tipo fusible: 40 a	Tipo pararrayo n/a			12870
In fusible: 40 a	Tensión pararrayo : n/a			12540
Tensión fusible: 24 kV	Id pararrayo: n/a			12210

Fuente: Elaboración propia de los autores

Para el transformador 2 es marca ABB, alimenta los motores relacionados con el aire acondicionado, bombas de agua, bombas contra incendios, ascensor, entre otros.

Tabla 25 Características transformador 2 Centic

Transformador 2				
Código sig:0109	Clase: encapsulada	Potencia trf:500 kVA		
Relación trf:13200/(228-131.5) V	Grupo conexión Dy5	Tensión cc(uz): 4.5%		
Fabricante trf: abb		Corriente cc: 28.14kA		
Tipo seccionador: seccionador bajo carga para uso interior Dimensiones trf:1.4*1.2*1.5m		Taps:	Tap actual	13530
				13200
Tipo fusible: bayoneta	Tipo pararrayo: n/a			12870
In fusible: 40 A	Tensión pararrayo : n/a			12540
Tensión fusible: 24 kV	Id pararrayo: n/a			12210

Fuente: Elaboración propia de los autores

La planta de emergencia se usa para alimentar el segundo gabinete del tablero general 1. Utiliza combustible ACPM, su potencia nominal es de 200 kW, tiene una eficiencia del 90% con unavelocidad de 1800rpm.

Figura 11. *Planta de emergencia CENTIC*

Fuente: Elaboración propia de los autores

Tabla 26 *Características Planta eléctrica*

Planta eléctrica			
Marca: Cummins power generation		Generador	Trifásico
Potencia nominal	250/200(kVA/kW)	Tensión (V)	208/120
Eficiencia	90%	Factor de potencia	0.8
Combustible	Acpm	Tablero de control digital	S1468
Velocidad	1800rpm	Enfriamiento	Agua

Fuente: Elaboración propia de los autores

3.6.1 *Caracterización energética edificio CENTIC*

El tipo de carga presente en el edificio Centic se registra por medio de un censo de carga en los cuatro pisos que componen el edificio, los datos de consumo energético, así como el inventario de cargas se toma del trabajo de grado titulado “Caracterización del Centro de Tecnologías de Información y Comunicación (CENTIC) aplicando la metodología del sistema de gestión integral de la energía (SGIE)”.

Tabla 27 Consumo energético por áreas

Dependencia	Consumo kWh-mes
Piso 1	10040.782
Piso 2	17470.43
Piso 3	21681.88
Piso 4	4293.11
Otros	45785.28
Promedio	99271.482

Fuente: Elaboración propia de los autores

3.7 Edificio ingeniería industrial

En el edificio de ingeniería industrial se conectan a la acometida que proviene del antiguo edificio de ingeniería eléctrica. Esta acometida llega a una caja de maniobras con tres derivaciones que salen de ella, actualmente se están utilizando dos derivaciones en las cuales se encuentran conectados los transformadores que alimentan el edificio.

Cuenta con un grupo electrógeno con motor WGDF700S marca PERKINS modelo MJB250LA4B.

Figura 12. Planta de emergencia edificio ingeniería industrial



Fuente: Elaboración propia de los autores

Las características de la planta de emergencia son las siguientes:

Tabla 28 Características planta de emergencia

Planta eléctrica			
Marca: Powergen		Generador	Trifásico
Potencia nominal	250/200(kVA/kW)	Conexión	220 V YY / 440 Y serie
Eficiencia	90%	Factor de potencia	0.8
Combustible	Acpm	Voltaje de batería	24 V
Velocidad	1800rpm	Enfriamiento	Agua

Fuente: Elaboración propia de los autores

El primer transformador tiene una potencia de 300kVA

Tabla 29 Características transformador 1 edificio ingeniería

Transformador 1			
Marca: Perkins		Generador	Trifásico
Potencia nominal	300 kVA, 13200 V	Tensión(V)	440/254
Eficiencia	90%	Factor de potencia	0.8
Conexión	Dyn5	Frecuencia	60hz

Fuente: Elaboración propia de los autores

El segundo transformador tiene una potencia de 225kVA.

Tabla 30 Características transformador 2 edificio ingeniería

Transformador 2			
Marca: Perkins		Generador	Trifásico
Potencia nominal	225 kVA, 13200 V	Tensión(V)	220/127
Eficiencia	90%	Factor de potencia	0.8
Conexión	Dyn5	Frecuencia	60hz

Fuente: Elaboración propia de los autores

El tercer transformador tiene una potencia de 15kVA

Tabla 31 Características transformador 3 edificio ingeniería

Transformador 3			
Marca: Perkins		Transformador	Reductor
Potencia nominal	15 kVA, 13200 V	Tensión(V)	440/220
Eficiencia	90%	Factor de potencia	0.8
Conexión	Dyn5	Frecuencia	60hz

Fuente: Elaboración propia de los autores

3.7.1 Caracterización energética edificio Ingeniería Industrial

Los tipos de carga presentes en el edificio, así como los datos del consumo de las mismas se determinaron por medio de un censo de carga, estos datos se tomaron del trabajo de grado titulado “Caracterización del edificio de ingeniería industrial aplicando la metodología del sistema de gestión integral de la energía (SGIE)”.

Tabla 32 Consumo energético por áreas

Área	Energía consumida promedio mensual kWh
Oficina profesores cátedra	409,36
Administrativos	4974,594
Centro de estudios	573,2
Áreas comunes	4455,52
Sistema de aire acondicionado	74664,96
Total	101383,65

Fuente: Elaboración propia de los autores

Los equipos están sobredimensionados, ya que, a la hora de entrar en uso, solo se utiliza aproximadamente un 10% de su capacidad, lo cual también genera un mal uso de la maquinaria porque no trabaja en los límites de lo establecido.

Los cuartos en donde se encuentran las máquinas no tiene las adecuaciones necesarias, no se tiene en cuenta la transferencia de calor, porque las máquinas les debe entrar ventilación y sacar el vapor que sale, la transferencia de calor no se tiene en cuenta.

Por recomendación de tryenergy los equipos deben entrar a trabajar por encima del 70% de su capacidad y se están forzando ya que solo supe el 10%.

Tabla 33 Grupos electrógenos

Grupo electrógeno	Subesta- ciones	Plantas Eléctricas	Disponibilidad kW Acumulado	Cargas Calculadas kW	Cargas Acumuladas kW	Demanda Promedio kW	Carga Disponibile Acumulada
Biblioteca	315	625 / 500	500	51,331	51,331	51,331	448,669
Edificio camilo torres	315 500	375/300	800	85,781	137,112	59,420	662,888
Ingeniería eléctrica	630	250 / 200	1000	48,200	185,312	48,200	814,688
Ciencias humanas	400	250/260	1260	78,649	263,961	34,590	996,039
Administración	200 75	156 / 125	1385	29,197	293,158	2,085	1.091,842
Centic	500 500	250 / 200	1585	99,271	392,429	99,271	1192,571
Ingeniería industrial	300 225	250/200	1785	101,383	493,812	23,105	1291,188
Totales	15 3975	1785	1785	493,812	493,812	318,002	1.291,188

Fuente: Elaboración propia de los autores

Las subestaciones de los grupos electrógenos disponen de energía suficiente para satisfacer la carga en los edificios del campus, como se puede observar en la lectura de la tabla 33, apreciándose que la demanda de energía total (493, 812 kW) sólo representa el 38,24% del total disponible. Del mismo modo se observa que la demanda promedio (318,002kW) es del 24,63%).

Para el presente trabajo se centra en la relación Oferta- Demanda de energía cuando las plantas eléctricas entran en funcionamiento, centrandó el enfoque en el análisis de la energía disponible contra las cargas acumuladas, lo cual se determina en la siguiente tabla.

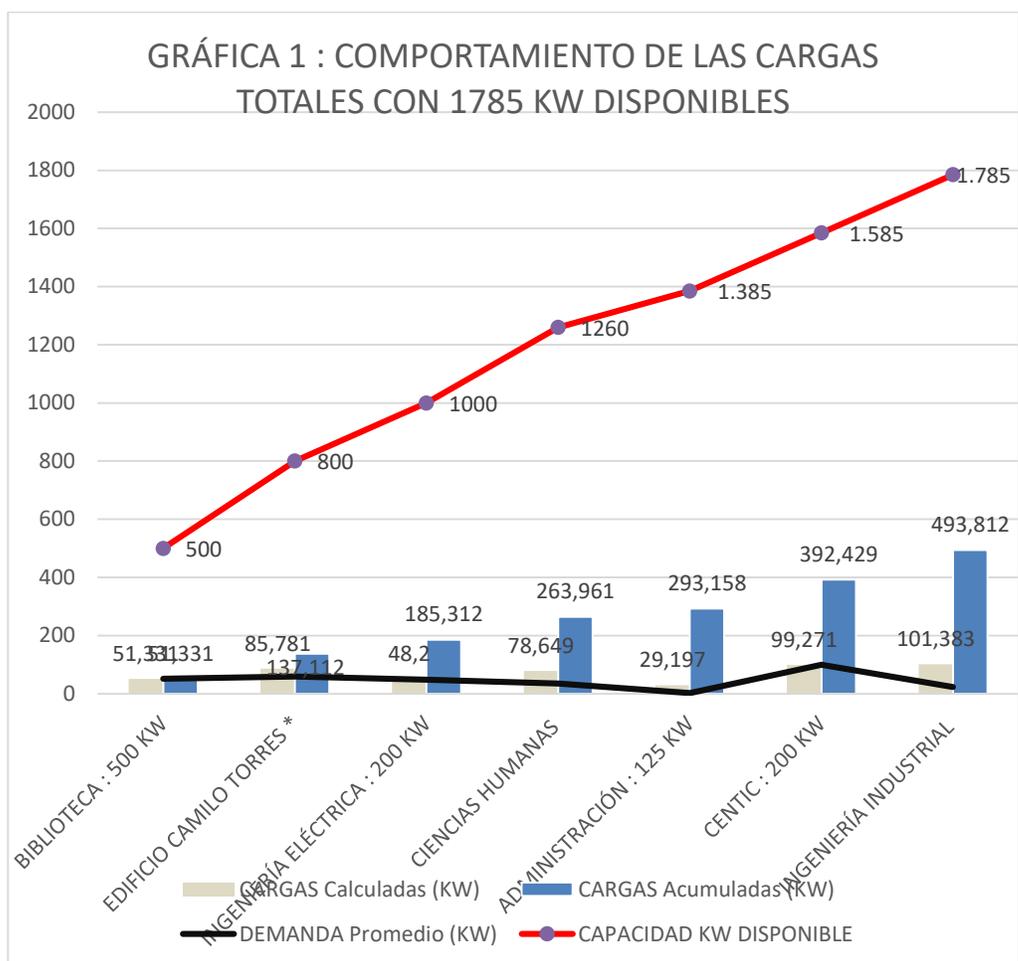
Tabla 34 *Comportamiento de las cargas acumuladas con las plantas activas*

Grupo electrógeno	Cargas		Demanda	Capacidad kW
	Calculadas (kW)	Acumuladas (kW)	Promedio (kW)	Disponible
Biblioteca : 500 kW	51,331	51,331	51,331	500
Edificio camilo torres *	85,781	137,112	59,420	800
Ingeniería eléctrica : 200 kW	48,2	185,312	48,200	1000
Ciencias humanas	78,649	263,961	34,590	1260
Administración : 125 kW	29,197	293,158	2,085	1.385
Centic : 200 kW	99,271	392,429	99,271	1.585
Ingeniería industrial	101,383	493,812	23,105	1.785
Totales	493,812	493,812	318,002	1.785

Fuente: Elaboración propia de los autores

La capacidad (kW) disponible representa la energía acumulada a medida que se va sumando cada grupo electrógeno. A continuación, se presenta el comportamiento de la demanda por grupo (en kW) contra la Disponibilidad acumulada después del consumo en cada uno de ellos, para lo cual se dispuso del siguiente gráfico.

Figura 13. Comportamiento de las cargas calculadas y acumuladas contra las cargas disponibles



La figura Comportamiento de las cargas calculadas y acumuladas contra las cargas Disponibles muestra que el consumo promedio en los edificios se mantiene por debajo de las cargas calculadas representando únicamente el 17,8% de la capacidad total, mientras que la carga total acumulada representa el 25,43% de la capacidad total. Esto se convierte en un dato importante porque la recomendación es que el consumo sea alrededor o mayor del 70%, por lo que a continuación se evaluarán alternativas para mejorar este indicador de tal manera que se cumpla con la recomendación.

4 Alternativas propuestas

En este apartado del documento se proponen una serie de alternativas para mejorar las condiciones del grupo electrógeno del campus central de la UIS, mediante las alternativas se espera alcanzar un mayor aprovechamiento de los equipos e instalaciones disponibles. Primero se visualiza las alternativas y posterior se detalla cada una de las soluciones.

Para hallar la recomendación que nos permita cumplir con los objetivos vamos a trabajar en dos estrategias que son: Alcanzar el rendimiento del 70 % del consumo de la energía suministrada por el sistema y Disminución de los costos de funcionamiento y de mantenimiento.

Cabe señalar que la disposición actual del sistema energético del campus deja entrever que no cumple con dos requisitos: uno técnico y otro financiero. En el aspecto técnico no se cumple con la especificación de mantener el régimen de funcionamiento de los equipos recomendado, lo que ocasiona mal funcionamiento y acarrea mayores costos de mantenimiento, como se halló en la evaluación inicial del sistema.

Las alternativas propuestas buscan superar el régimen de funcionamiento del sistema que se encuentra en el 25,4%.

En la **alternativa 1**, con dos plantas activas y dos en espera, el sistema alcanza a acercarse al objetivo del 70 %, pero sin lograrlo, se convierte en una opción para tener en cuenta, puesto que disminuirían los costos de mantenimiento conservando la opción de tener 1085 kW de energía suplementaria para cubrir daños en cualquiera de las plantas activas.

La alternativa 2 A, que propone un grupo independiente con una planta activa, sólo alcanza un 43,2 % que la ubica por debajo de la solución 1, pero por ser complementaria con **la alternativa 2 B**, puede ser tomada en cuenta a la hora de decidir los costos de la interconexión que

serían afectados por la longitud del cableado entre los edificios. En consecuencia, estas soluciones se alejan del requisito técnico y, por lo tanto, no serían tenidas en cuenta.

La **alternativa 3**, cumple plenamente con el requisito técnico al alcanzar un 79,0 % dejando en disponibilidad dos plantas que suman 625 kW para suplir emergencias y bajar costos de mantenimiento.

Con estas soluciones que evalúan el rendimiento y sacan del sistema cinco plantas eléctricas que pasan a ser de reserva en el caso 1, y en el caso 3 donde no solo se supera lo técnico, sino que se dispone de 625 kW tomar decisiones basadas en los costos de implementación, ya que de un modo u otro elevan el porcentaje rendimiento acercándose a la recomendación técnica la una, y otra superándola. Como valor agregado, se dispone de energía suplementaria en caso de emergencia por daños o requerimientos adicionales del sistema.

Tabla 35 Comparación estrategias planteadas

Cuadro comparativo de las estrategias planteadas							
Estrategias	Energía disponible		Cargas		%	Energía en espera	
	Plantas	kW	kW	Ocupación		Plantas	kW
Situación actual	7	1785	493,812	27,7%		0	
Solución 1. 700kW	2	700	493,812	70,5%		2	1085
Solución 2 a 500kW	1	500	215,761	43,2%		2	1285
Solución 2 b 300kW	1	300	264,561	88,2%		2	1485
Solución 3. 625kW	2	625	493,812	79,0%		2	1160

Fuente: Elaboración propia de los autores

4.1 Redistribución de las cargas totales (alternativa 1).

Se trata de reacomodar la interconexión de las plantas eléctricas dejando activas las plantas de Biblioteca (500 kW) y la de CENTIC (200 kW) desactivando o dejando como alternativas suplentes las otras cinco plantas y sugiriendo redistribución en dos grupos.

El Grupo 1, conformado por Biblioteca, Edificio Camilo Torres y Ciencias Humanas y el Grupo 2, conformado por CENTIC, ingeniería industrial, ingeniería eléctrica y

administración, para ser atendidos por dos plantas eléctricas que suman 700 kW.

Con la redistribución de las cargas totales se busca que el sistema alcance el régimen de funcionamiento del 70% recomendado para evitar mal funcionamiento que provoca daños permanentes en las plantas y reduce, por lo tanto, los costos de mantenimiento y a su vez los gastos de funcionamiento en las plantas inactivas o que no se conecten al sistema.

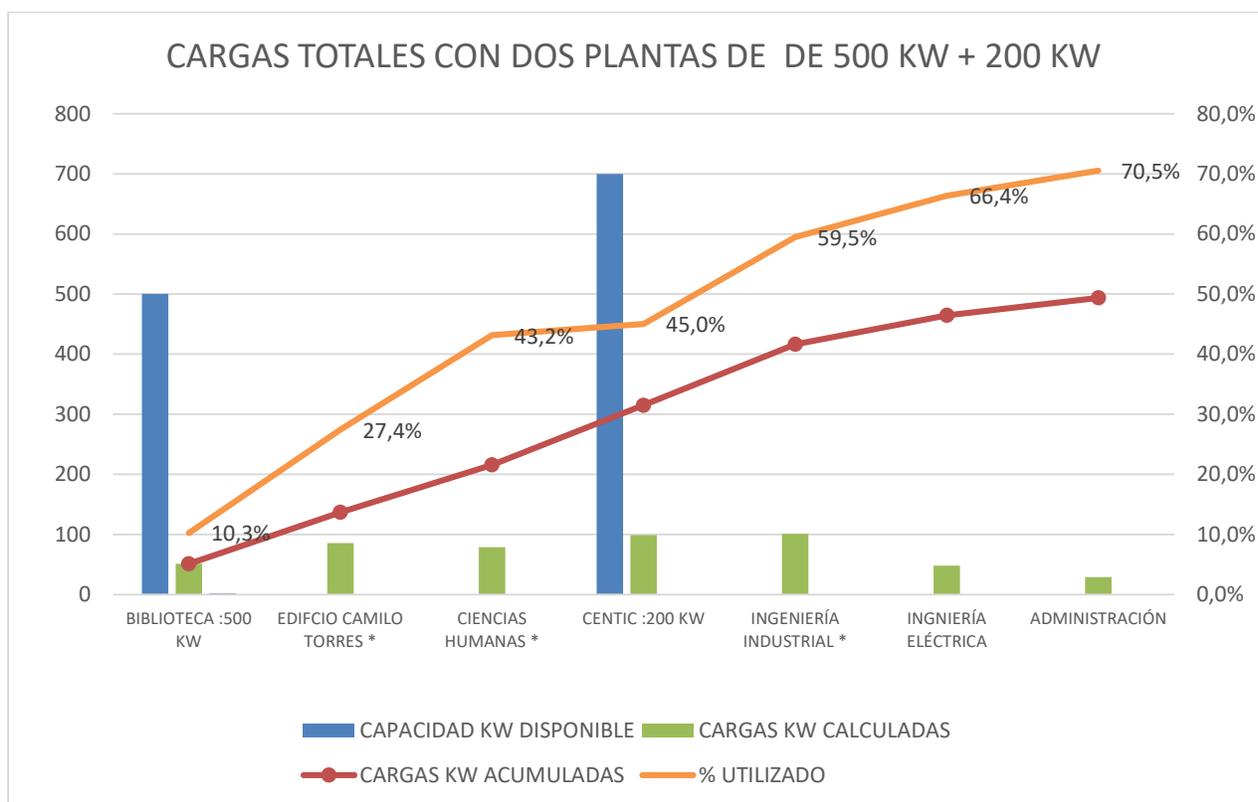
Las plantas que no se conecten pasan a ser de reserva cuando haya fallas en las plantas activas proporcionando seguridad en el suministro de energía de emergencia.

Tabla 36 Cargas totales grupo electrógeno

Redistribución de las cargas totales con dos plantas eléctricas de 500 kW + 200 kW					
Grupo electrógeno	Capacidad kW	Cargas kW	Cargas kW	%	Demanda kW
	Disponible	Calculadas	Acumuladas	Utilizado	Promedio
Biblioteca :500 kW	500	51,331	51,331	10,3%	51,331
Edificio camilo torres *	0	85,781	137,112	27,4%	59,420
Ciencias humanas *	0	78,649	215,761	43,2%	34,590
Centic :200 kW	700	99,271	315,032	45,0%	99,271
Ingeniería industrial *	0	101,383	416,415	59,5%	23,105
Ingeniería eléctrica	0	48,200	464,615	66,4%	48,200
Administración	0	29,197	493,812	70,5%	2,085
Totales	700	493,812	493,812	70,5%	318,002
Grupo 1 :	Biblioteca , edificio camilo torres , ciencias humanas				
Grupo 2 :	Centic , ingeniería industrial , ingeniería eléctrica , administración				

Fuente: Elaboración propia de los autores

Figura 14. Cargas totales con plantas de 500kW +200kW



Fuente: Elaboración propia de los autores

En el gráfico se observa el comportamiento de las cargas al redistribuir los equipos y el consumo, para lo cual se pretende dejar en funcionamiento una planta de 500 kW (Biblioteca) y otra de 200 kW (CENTIC) para estudiar el comportamiento del consumo energético que debe aproximarse al 70% con el fin de cumplir con las recomendaciones de funcionamiento.

En el primer caso, donde se dispone de la planta de 500 kW para atender los requerimientos de los grupos Biblioteca, Edificio Camilo Torres y Ciencias Humanas se obtiene un desempeño del 43,2 % y al sumar al sistema la planta de 200 kW para agregar las cargas de los cuatro edificios restantes se obtiene un rendimiento del 70,5 %, cercano al 70% que es requerido. Esto se convierte en la primera opción a tener en cuenta y es la

alternativa 1.

4.2 Redistribución de las cargas en el grupo 1 (alternativa 2A)

Para evaluar una segunda opción a continuación el sistema se divide en dos grupos independientes tal como aparecen separados en la Tabla, pero a diferencia de la Solución 1 no están interconectados y, por lo tanto, la planta de 500 kW atenderá la demanda de tres edificios, como se muestra en la Tabla.

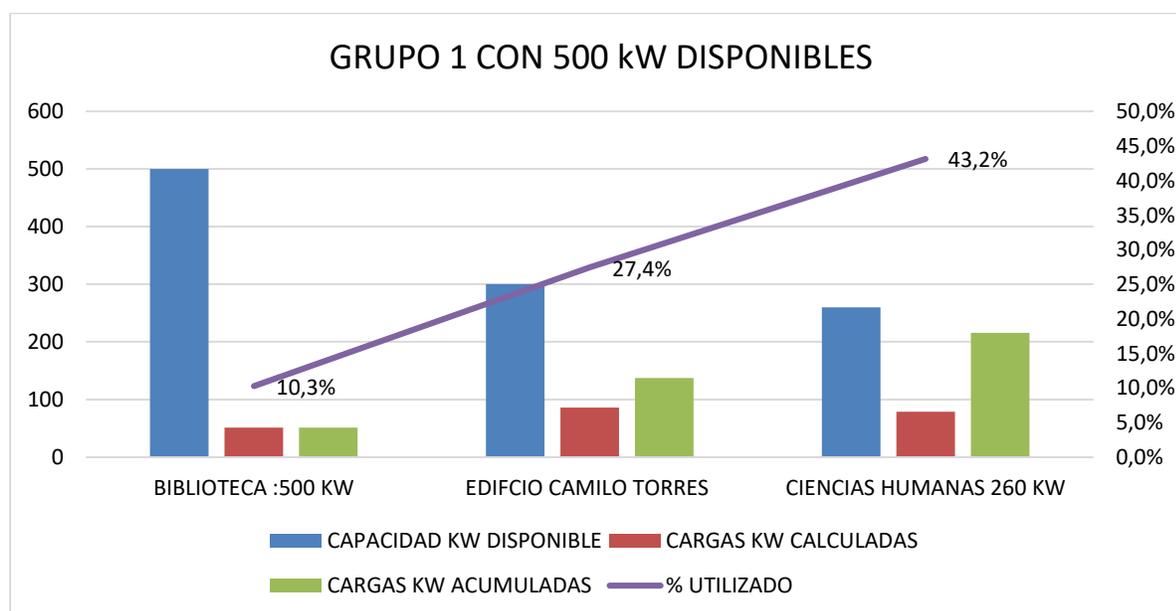
Tabla 37 Redistribución de las cargas en el grupo 1

Grupo electrógeno	Capacidad kW	Cargas kW	Cargas kW	%	Demanda kW
	Disponibles	Calculadas	Acumuladas	Utilizado	Promedio
Biblioteca :500 kW	500*	51,331	51,331	10,3%	51,331
Edificio camilo torres 300		85,781	137,112	27,4%	59,420
Ciencias humanas 260 kW		78,649	215,761	43,2%	34,590

Fuente: Elaboración propia de los autores

En la tabla se representa el primer grupo constituido por la Biblioteca, el Edificio Camilo Torres y el de Ciencias Humanas, atendido por la planta de 500 kW que se encuentra en la Biblioteca.

Figura 15. Redistribución de las cargas del grupo 1



Fuente: Elaboración propia de los autores

En la figura se observa que el primer grupo alcanza un desempeño del 43,2 % tal como ocurre en el planteamiento inicial total como es de esperarse y para efectos de comparación se llama **alternativa 1 A**.

4.3 Redistribución de las cargas del grupo 2 (alternativa 2B)

El Grupo 2 lo conforman los cuatro edificios restantes atendidos en sus requerimientos energéticos por la planta de 325 kW de Centic (200 kW) y Administración (125 kW)

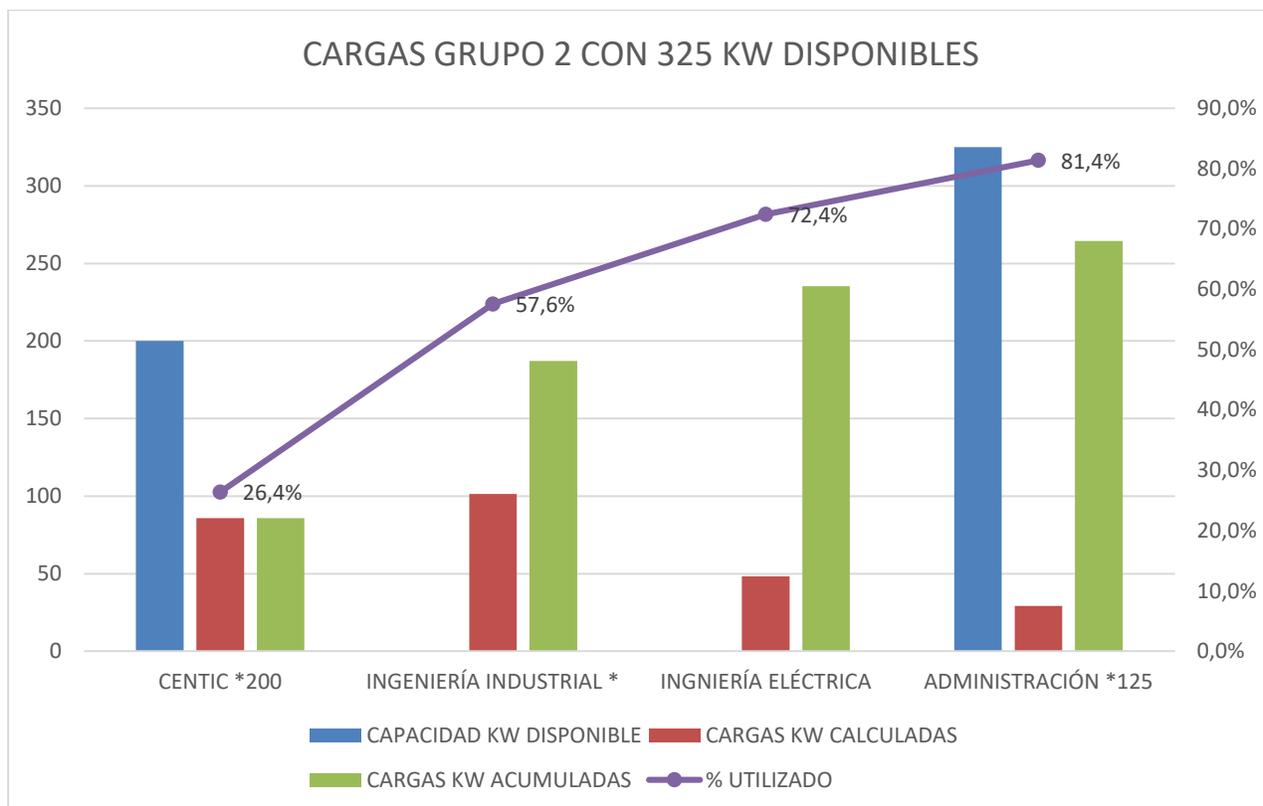
Tabla 38 Redistribución de las cargas del grupo 2

Cargas en el grupo 2 con planta de 325 kw					
Grupo electrógeno	Capacidad kW	Cargas kW	Cargas kW	%	Demanda kW
	Disponible	Calculadas	Acumuladas	Utilizado	Promedio
Centic *200	200	85,781	85,781	26,4%	99,271
Ingeniería industrial *	0	101,383	187,164	57,6%	23,105
Ingeniería eléctrica	0	48,2	235,364	72,4%	48,2
Administración *125	325	29,197	264,561	81,4%	2,085
Totales	325	264,561	264,561	81,4%	172,661

Fuente: Elaboración propia de los autores

En la tabla se representa el segundo grupo constituido por Centic, Ingeniería Industrial, Ingeniería Eléctrica y Administración, atendido por la planta eléctrica de 325 kW (CENTIC y Administración) pero en este caso conectados en forma independiente del sistema total y dejando libres las otras dos plantas para efectos de reducir costos de mantenimiento, pero disponibles para entrar al sistema en caso de ser necesario.

Figura 16. Redistribución de las cargas del grupo 2



Fuente: Elaboración propia de los autores

El gráfico muestra el comportamiento de la disponibilidad y el consumo, mostrando un desempeño del 81,4%. A esta disposición en la cual se dejan libres dos plantas de 200kW cada una. Esta es la **alternativa 2 B**.

4.4 Redistribución de las cargas totales con dos plantas de 500 kW y 125 kW (alternativa

3)

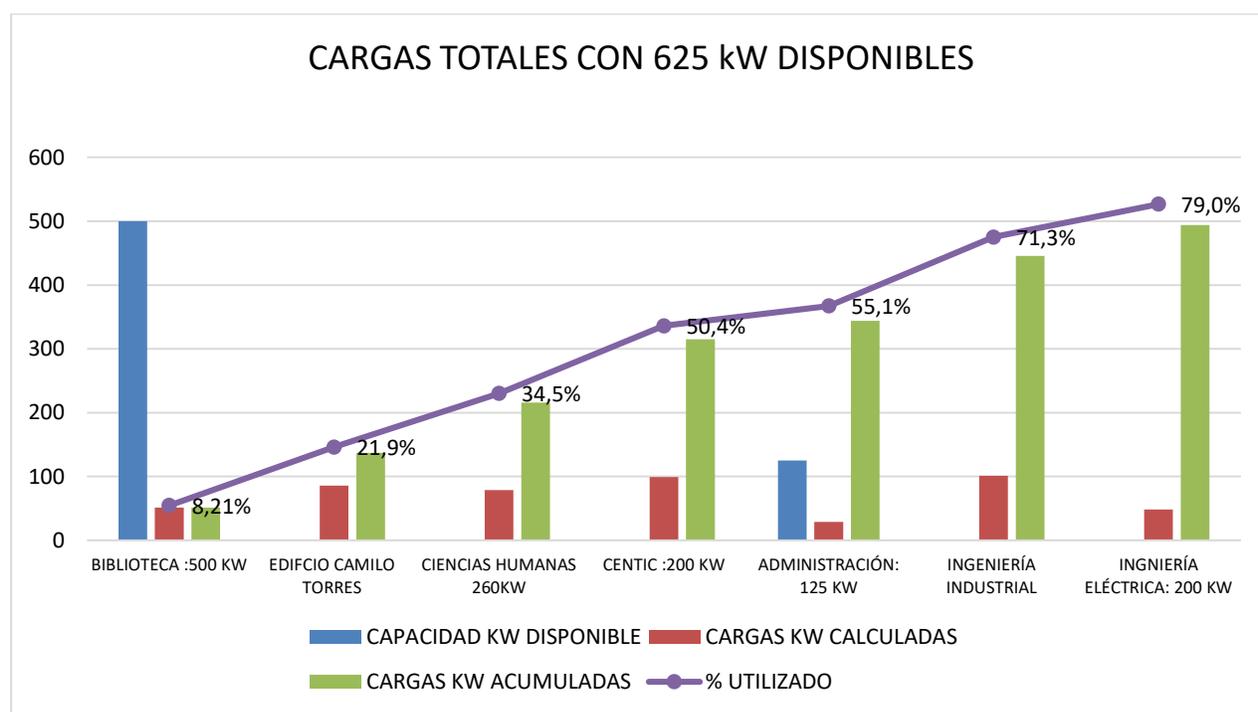
Tabla 39 Redistribución de las cargas totales con dos plantas de 500 kW y 125 kW

Grupo electrógeno	Capacidad kW	Cargas kW	Cargas kW	%	Demanda kW
	Disponibles	Calculadas	Acumuladas	Utilizado	Promedio
Biblioteca :500 kW	500	51,331	51,331	8,21%	51,331
Edificio camilo torres 300kW	0	85,781	137,112	21,9%	59,420
Ciencias humanas 260kW	0	78,649	215,761	34,5%	34,590
Centic :200 kW	0	99,271	315,032	50,4%	99,271
Administración: 125 kW	125	29,197	344,229	55,1%	2,085
Ingeniería industrial 200 kW	0	101,383	445,612	71,3%	23,105
Ingeniería eléctrica: 200 kW	0	48,200	493,812	79,0%	48,200
Totales	625	493,812	493,812	79,0%	318,002

Fuente: Elaboración propia de los autores

En este caso se conecta el sistema total pero esta vez atendido en su requerimiento energético por las plantas de 500 kW y de 125 kW, para un total de 625 kW, dejando libres las cinco plantas restantes, con el mismo propósito de suplir la demanda en caso de necesidad y bajar costos de mantenimiento.

Figura 17. Comportamiento de la distribución de cargas totales con planta de 625 kW.



Se puede observar que con esta disposición el desempeño de oferta demanda de energía alcanza el 79,0 %, convirtiéndose en la mejor opción con un desempeño superior al régimen del 70%. Esta es la **alternativa 3**.

4.4.1 Costos

En la siguiente tabla se establecen los costos respectivos a la alternativa 3:

Tabla 40 Costos alternativa 3

Materiales y obras	Costo / unidad	Cantidad	Total
Tubería pvc conduit con accesorios (metros)	\$ 44,850	1250	\$ 56,062,500
Cable encauchetado (metros) *	\$ 101,688	650	\$ 66,097,200
Punto de cableado estructural con accesorios	\$ 92,512	6	\$ 555,072
Placa de identificación de cable	\$ 25,800	8	\$ 206,400
Excavación para ducto (metros lineales)	\$ 25,000	250	\$ 6,250,000
Corte con pulidora (metros lineales)	\$ 32,000	250	\$ 8,000,000
Trámites administrativos	\$ 20,000,000	1	\$ 20,000,000
Limpieza y disposición final	\$ 80,000	75	\$ 6,000,000
Total			\$ 163,171,172

Fuente: Elaboración propia de los autores

El costo estimado de interconexión de la tercera alternativa es de noventa y nueve millones ciento veinte mil ochocientos cincuenta y ocho pesos (\$ 163,171,172). Esta interconexión tendría una capacidad total de generación de 625 kW.

4.5 Alternativa sistema radial con cogeneración

Como otra alternativa se plantea un sistema industrial confiable, este sistema industrial confiable consiste en el diseño de un sistema de distribución de energía obtenida de las plantas de

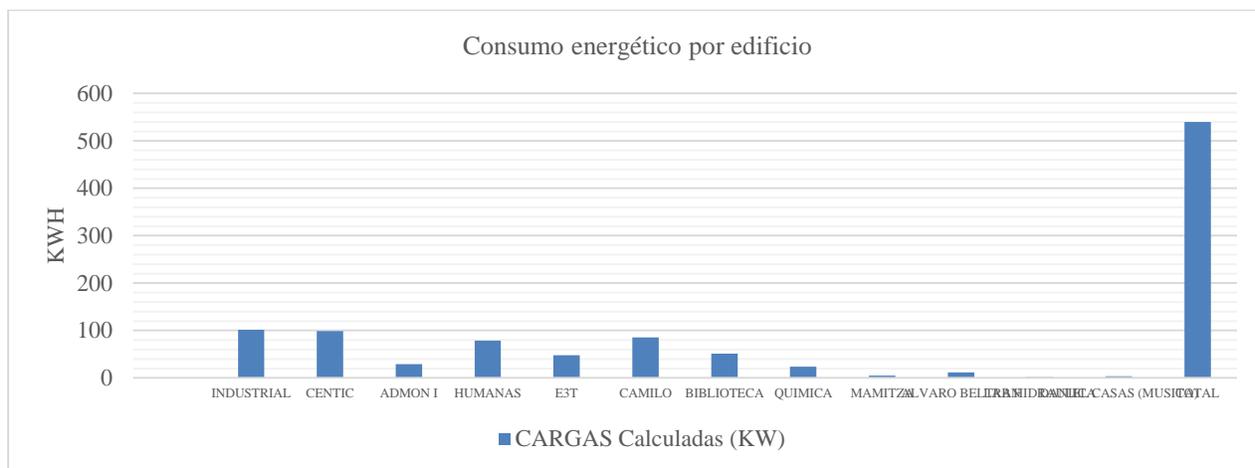
emergencia reunidas en un solo centro de generación para mejorar el respaldo de energía que se le da no solo a unos edificios, sino poder brindarle soporte a todo el campus central, de esta manera se podría utilizar la sumatoria de plantas necesarias para generar lo suficiente para suplir la necesidad de electricidad, no obstante es una opción que implica cambiar las diferentes conexiones para poder conectar todos los edificios al centro de generación y de además que las plantas en conjunto produzcan lo necesario para abastecer luces y ascensores de cada edificio y, logrando así, darle uso a las plantas que queden en el centro de generación.

Con esta alternativa se pretende brindar confiabilidad y disponibilidad a la red del campus, El término confiabilidad se refiere a la noción de que el sistema realiza su tarea especificada correctamente durante un tiempo determinado. El término disponibilidad se refiere a la preparación de un sistema para realizar inmediatamente su tarea, en un momento determinado (IEEE, 2007).

Por otro lado, la energía para las instalaciones de comunicaciones debe estar altamente disponible, lo que implica poco tiempo de inactividad. Donde los componentes del sistema pueden no ser confiables, las redundancias de ese sistema pueden ayudar a lograr una alta disponibilidad.

Un aspecto importante del diseño del sistema de potencia implica la consideración de los requisitos de confiabilidad del servicio de las cargas que se van a suministrar y la confiabilidad del servicio que proporcionará cualquier sistema propuesto.

El sistema contará con dos fuentes de alimentación provenientes del operador de red ambas en circuitos diferentes, la segunda fuente de alimentación estará desconectada, en caso de que la fuente principal falle la segunda fuente se encienda automáticamente y reemplace a la primera. También el sistema contará con un centro de generación conformado por 3 grupos electrógenos.

Figura 18. Consumo energético por edificios

Fuente: Elaboración propia de los autores

Para obtener ese valor de kW, se plantea la utilización de 3 plantas, las cuales serían la de 500 kW (de Biblioteca), la de 260 kW (de Humanas) y la de 300 kW (de Camilo Torres), la sumatoria da el resultado necesario y con esto se puede decir que sería altamente confiable el centro de generación.

4.5.1.1 Costos

Para implementar el centro de generación se tiene en cuenta los costos que dicho cambio implicaría, teniendo en cuenta que la ubicación del centro de generación sería en el parqueadero del edificio de Humanas, que es donde hay más disponibilidad de espacio, y se podría adecuar para cumplir con requisitos de ventilación e iluminación para su buen funcionamiento.

En la siguiente tabla se establecen los costos respectivos:

Tabla 41 Costos sistema radial con cogeneración

Materiales y obras	Costo / unidad	Cantidad	Total
Tubería pvc conduit con accesorios (metros)	\$ 44,850.00	896	\$ 40,185,600
Cable encauchetado (metros) *	\$ 101,688.00	896	\$ 91,112,448
Punto de cableado estructural con accesorios	\$ 92,512.00	10	\$ 925,120
Transferencia trifásica	\$ 20,000,000	1	\$ 20,000,000
Adecuación del espacio en Humanas (global)	\$ 10,000,000	1	\$ 10,000,000
Traslado de plantas (global)	\$ 5,000,000.00	1	\$ 5,000,000
Limpieza y disposición final	\$ 80,000.00	75	\$ 6,000,000
Trámite y legalización ante la empresa de energía (global)	\$ 2,212,737	1	\$ 2,212,737
Trámites administrativos	\$ 20,000,000	1	\$ 20,000,000
Total			\$ 195,435,905

Fuente: Elaboración propia de los autores

El costo total del sistema radial con cogeneración es de ciento sesenta y cinco millones ciento treinta y cinco mil novecientos cinco pesos (\$ 195,435,905). Esta interconexión tendría una capacidad total de generación de 1060 kW.

4.6 Alternativa Micro Red

Las micro redes son pequeñas redes o circuitos que tienen la capacidad de generar energía además de ser automatizado. Actualmente, un número considerable de organizaciones están empleando micro redes con el fin de tener un mayor aprovechamiento y optimización de energía. A través de las micro redes se espera proporcionar mayor energía a las instalaciones de la universidad, además de suministrar energía a las áreas de difícil acceso (Grupo Novelec, 2021).

La ventaja de las micro redes es que esta puede funcionar por sí sola, es decir, puede trabajar aislada de la red general que existe actualmente, entonces cuando se presente una falla, corte del servicio o avería, entre otros, la micro red puede seguir generando electricidad. El sistema de micro

red deberá conectarse a la red general existente, a través de un punto que mantenga el voltaje al mismo nivel, no obstante, si se identifica que existe un problema esta podrá desconectarse y no verse afectada (Energy Vm, 2020; Grupo Novelec, 2021).

Es preciso señalar que para que sea posible el diseño y desarrollo a mayor profundidad de la micro red, se requiere de un proyecto nuevo enfocado específicamente en la redistribución de micro red, donde el investigador podrá emplear softwares de optimización lo que permitirá obtener sistemas distribuidos, además de evaluar las diferentes configuraciones del sistema de energía (Mejía, 2020; Morales, 2017).

4.7 Proyecto de interconexión red interna

Para el proyecto en mención es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Distancia ente los grupos electrógenos que requieren interconexión.
- Recorridos más cortos de interconexión entre los grupos.
- Costos de materiales para la interconexión basados en las distancias más cortas y eficientes.
- Costos de la energía eléctrica generada por plantas de combustible.
- Costos de la energía eléctrica proveniente la empresa de energía

4.7.1 Distancia entre los grupos electrógenos

Tabla 42 Distancia entre los grupos electrógenos

Grupo electrógeno	Biblioteca	Edificio camilo torres	Ciencias humanas	Centic	Administración	Ing. Industrial	Ing. Eléctrica
Biblioteca :500 kW		111	216	38	191	117	114
Edificio camilo torres :300 kW	111		133	83	256	223	220
Ciencias humanas	216	133		189	319	326	334
Centic :200 kW	38	83	189		221	143	145
Administración: 125 kW	191	256	319	221		172	232
Ingeniería industrial :200 kW	117	223	326	143	172		59
Ingeniería eléctrica: 200 kW	114	220	334	145	232	59	

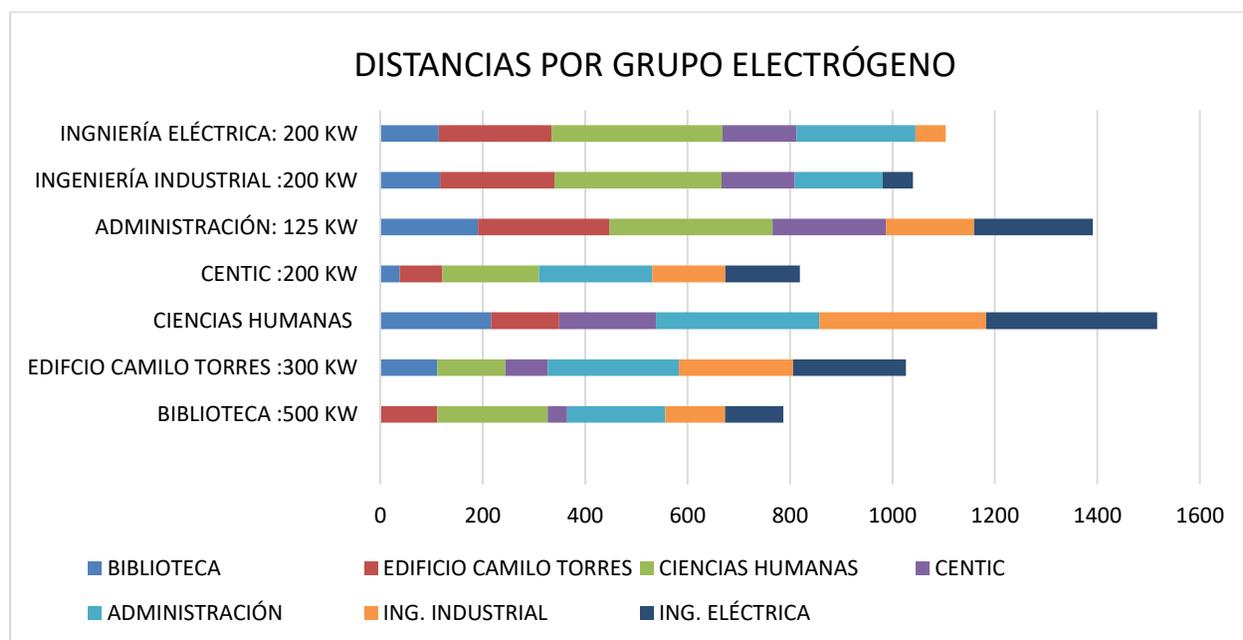
Fuente: Elaboración propia de los autores

En la tabla se muestran las distancias entre los diferentes grupos. De ella se extraerán las distancias más cortas para hacer el recorrido de interconexión más viable económicamente.

4.7.2 *Recorridos de interconexión*

Se parte con las cifras más pequeñas teniendo en cuenta las distancias más cortas para analizar su viabilidad de interconexión según la ubicación en el campus respecto de los diferentes grupos electrógenos. Para ello se valdrá del siguiente gráfico:

Figura 19. *Distancia por grupo electrógeno*



Fuente: Elaboración propia de los autores

El gráfico muestra en metros las diferentes distancias de recorrido del cableado visto desde cada grupo electrógeno. Se puede observar que los grupos de menor recorrido en cableado serían los originados en la BIBLIOTECA y en CENTIC.

Teniendo en cuenta lo anterior, y tomando las dos interconexiones más cortas, quedan por interconectar Ingeniería Industrial que se encuentra a 59 metros de Ingeniería Eléctrica; el edificio de Administración que está a 143 metros de la Biblioteca y por último el edificio de Ciencias

Humanas cuya distancia más corta de interconexión está a 133 metros del edificio Camilo Torres.

El orden para agregar los grupos finales se estableció por las distancias totales de la tabla 44.

El resultado de la distancia mínima de interconexión se presenta en el siguiente cuadro ordenadas de menor a mayor:

Tabla 43 Distancias mínimas interconexión

Interconexiones	Metros
Biblioteca - Centic	38
Ing. eléctrica - Ing. industrial	59
Centic - ed. Camilo torres	83
Biblioteca - Ing. eléctrica	114
Ed. Camilo torres - c. Humanas	133
Biblioteca - administración	191
Total	618

Fuente: Elaboración propia de los autores

La red de interconexión deberá tener una longitud de 618 metros.

4.7.3 Costos asociados al proyecto de red interna

En la siguiente tabla se establecen los costos respectivos:

Tabla 44 Costos asociados al proyecto

Materiales y obras	Costo / unidad	Cantidad	Total
Tubería pvc conduit con accesorios (metros)	\$ 44,850.00	618	\$ 27,717,300
Cable encauchetado (metros) *	\$ 101,688.00	618	\$ 62,843,184
Punto de cableado estructural con accesorios	\$ 92,512.00	7	\$ 647,584
Punto de cableado estructural con toma regulada y accesorios	\$ 799,221.00	7	\$ 5,594,547
Interruptor trifásico fijo 220/240 v	\$ 295,738.00	7	\$ 2,070,166
Demoliciones de gravilla (metros cúbicos)	\$ 4,905.00	16	\$ 78,480
Corte con pulidora (metros lineales)	\$ 6,304.00	618	\$ 3,895,872
Demolición de enchapes (metros cuadrados)	\$ 7,357.00	64	\$ 470,848
Limpieza y disposición final	\$ 80,000.00	75	\$ 6,000,000
Trámite y legalización ante la empresa de energía	\$ 20,000,000	1	\$ 20,000,000
Total			\$ 129,317,981

Fuente: Elaboración propia de los autores

El costo total del proyecto de interconexión es de ciento cinco millones quinientos treinta y cinco mil cuatro pesos (\$ 129, 317,981).

4.7.4 Costo de la energía generada en la micro red de grupos electrógenos.

- El rendimiento asociado a la generación de energía con combustibles fósiles es de 0,127 galones por kW hora.
- El combustible necesario para generar los 1785 kW del sistema aquí propuesto es de 226,7 galones.

A un precio de \$9.800 pesos por galón, cada hora tendría un costo de \$2.221.660 pesos (226,7 galones X \$9.800), lo que da como resultado un valor de \$1.244,6 pesos por kW-hora ($\$2.221.660/\text{hora} / 1785 \text{ kW}$).

4.7.5 Comparativo de costos de la energía generada

El siguiente cuadro presenta el costo comparativo de la energía eléctrica por kW-Hora, utilizando diferentes medios a precios de 2022.

Tabla 45 Comparativo de costos de energía

Comparativo de costos de energía	
Proyecto de interconexión de grupos electrógenos	\$ 1.244,64
Compra de energía eléctrica a empresa de energía	\$ 350,00
Energía solar con contrato a 20 años	\$ 260,00

Fuente: Elaboración propia de los autores

La energía solar se puede adquirir mediante un contrato a veinte años, que incluye costos de instalación, después de los cuales el sistema queda de propiedad del contratante.

5 Viabilidad financiera para el aprovechamiento de los grupos electrógenos

Para el proyecto de viabilidad financiera desarrollando las capacidades de la red eléctrica que aprovechen los grupos electrógenos del campus, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- **Oferta y demanda:** El campus ofrece una capacidad total de generación de 1.785 kW/hora en pleno funcionamiento, de los cuales hay dos opciones para atender la demanda, una es la oferta total de los 1.785 kW/hora cuando no haya demanda en el campus; y la otra es la oferta parcial cuando haya demanda interna, lo cual corresponde a una capacidad parcial de ofertar hacia el entorno 791,188 kW/hora. La demanda externa depende de la misma disponibilidad en el interior del campus.
- **Proyección del costo de los combustibles a 10 años:** La política de reducción de la brecha entre el valor de galón de combustibles y el fondo de estabilización del precio de los mismos, afecta sin lugar a dudas a mediano plazo cualquier proyecto. A lo anterior se debe sumar también la devaluación del peso colombiano frente al dólar, que en los últimos meses ha alcanzado el 25 % como efecto colateral del aumento de las tasas de interés en Estados Unidos producto de la inflación mundial.
- **Políticas mundiales de reducción del uso combustibles sólidos:** La conferencia anual que realiza la O.N.U. que acaba de llevarse a cabo con la participación de 196 países, incluida Colombia (C.O.P.) y que en esta versión llevada a cabo en Egipto (noviembre 2.022) tiene como objetivo (COP27) hallar acuerdos para reducir los impactos del cambio climático producidos por el uso de combustibles y los efectos de su dependencia debido a la guerra en Ucrania. Esta coyuntura mundial ha tenido un efecto directo sobre la economía basada en este recurso y el gobierno actual de nuestro país no se escapa a

sus consecuencias, y, por lo tanto, hay que tener en cuenta sus efectos sobre cualquier proyecto que considere el uso de esos combustibles. Así las cosas, a continuación, se pondrán en consideración los efectos que sobre este proyecto en particular tienen en su parte financiera y para lo cual se hará una evaluación a 10 años.

5.1 Proyección del costo de los combustibles

La política de reducción de la brecha entre el valor en el mercado y el fondo de estabilización de los combustibles ha considerado que esta brecha está entre \$6.000 y \$8.000 pesos el galón de combustible y debido a ello ha iniciado un plan consistente en aumentar paulatinamente el valor del galón en \$200 pesos mensuales lo que significa un incremento mensual de 2,08 %. A continuación, se presenta una tabla para visualizar los efectos de esta medida en los próximos 10 años. Para efectos de simplificar la presentación de las cifras, en la tabla se establecen los valores anualmente, lo que significa un aumento anual del 24,96 %. Los valores iniciales y las condiciones actuales son los presentados en la Tabla 41(Comparativo de los Costos de la Energía Generada) y son valores obtenidos en este mismo proyecto.

Tabla 46. *Proyección financiera a 10 años.*

Años	Precio galón (pesos)	Costo variable en millones	Utilidad sistema radial (millones)	Utilidad red interna (millones)	Utilidad energia solar (millones)
2022	\$ 9.800	\$ 8.173	-\$ 5.981	-\$ 5.885	\$ 591
2023	\$ 10.200	\$ 8.506	-\$ 5.956	-\$ 5.956	\$ 645
2024	\$ 12.600	\$ 10.507	-\$ 5.863	-\$ 5.863	\$ 738
2025	\$ 15.000	\$ 12.503	-\$ 5.766	-\$ 5.766	\$ 835
2026	\$ 17.400	\$ 14.503	-\$ 5.665	-\$ 5.665	\$ 936
2027	\$ 19.800	\$ 16.503	-\$ 5.561	-\$ 5.561	\$ 1.040
2028	\$ 22.200	\$ 18.503	-\$ 5.452	-\$ 5.452	\$ 1.148
2029	\$ 24.600	\$ 20.503	-\$ 5.340	-\$ 5.340	\$ 1.261
2030	\$ 27.000	\$ 22.503	-\$ 5.223	-\$ 5.223	\$ 1.378
2031	\$ 29.400	\$ 24.503	-\$ 5.101	-\$ 5.101	\$ 1.500
	Incrementos anuales de \$2400 por galón				
	Incremento anual de 3,39% en servicios públicos				
	Ventas anuales de kW/h		6.566.350		

La tabla 47 nos muestra el comparativo de los sistemas planteados y proyectados a 10 años, donde se muestra la inviabilidad financiera de los sistemas de interconexión de las plantas eléctricas más que todo por el costo de la generación kW/h, ya que acumularía pérdidas (nótese las cifras negativas) aún a los diez años, aunque hubiesen aumentado los precios de venta al público (3,39% anual).

Las figuras siguientes muestran la dimensión de las pérdidas si se adoptase cualquiera de los dos sistemas, que son muy similares ya que su diferencia únicamente en los costos fijos iniciales.

Figura 20. Pérdidas con el sistema Radial

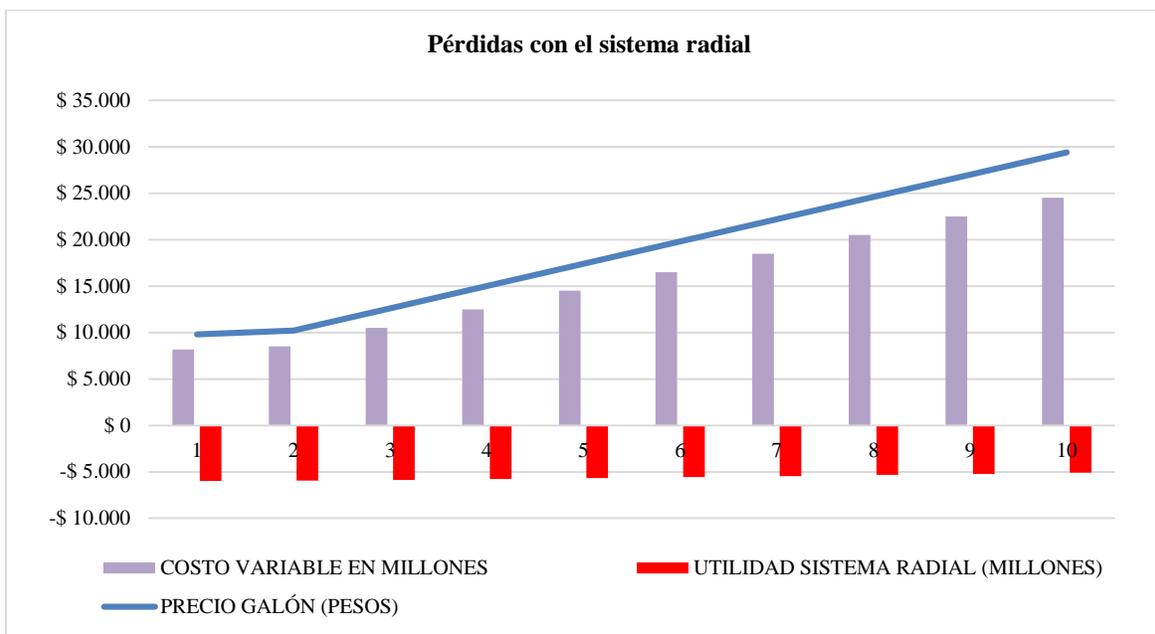
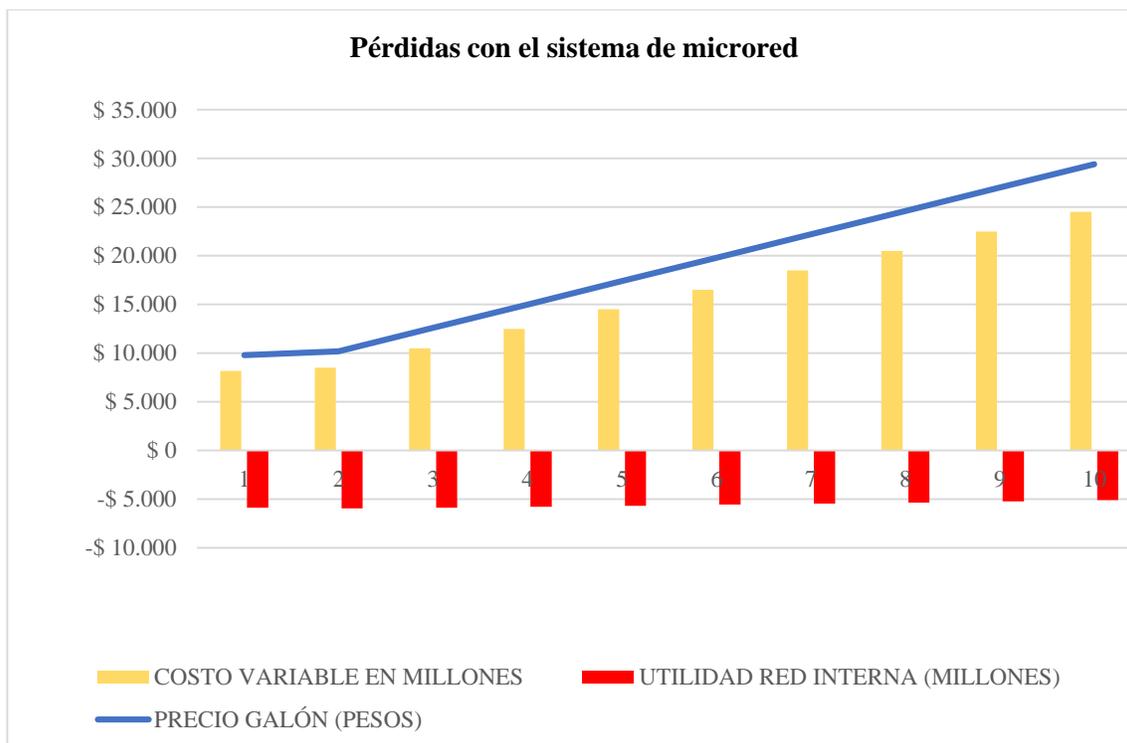


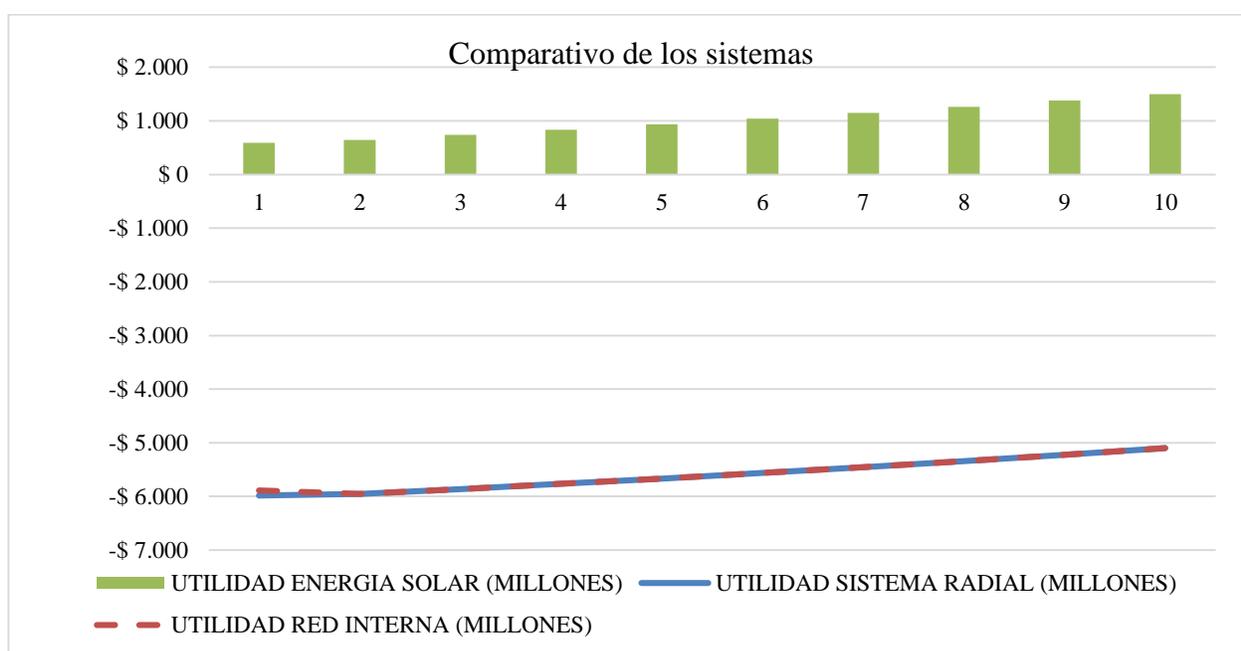
Figura 21. Pérdidas con el sistema Microred



La misma tabla 47 nos muestra por el contrario que lo ideal es invertir en la energía solar cuyo costo fijo inicial diferido e independiente del costo de los combustibles, asegura no sólo el suministro interno sino una rentabilidad segura y creciente.

La figura 22 nos muestra un comparativo de la utilidad del sistema de energía solar comparado con los otros dos sistemas. Nótese que las curvas de los otros dos sistemas se funden por su similitud ya que su diferencia se encuentra en los costos fijos iniciales.

Figura 22. Comparativo de los sistemas



Se puede observar el comportamiento creciente de las utilidades una vez descontada la inversión inicial y única diferida; contrario a lo que ocurre con los otros dos sistemas comparados.

6 Conclusiones

El presente estudio devela la presencia de equipos de generación de energía alterna para suplir necesidades de emergencia ante la falta de fluido eléctrico, que se encuentran instalados en configuración deficiente y en funcionamiento de alto costo por mantenimiento.

Una vez caracterizados los Grupos Electrógenos del campus universitario se encuentra información pertinente a las plantas de energía de emergencia, con la cual se tabulan datos para el análisis de las falencias y la proposición de soluciones viables.

El trabajo se ha orientado hacia la combinación de alternativas de distribución de las cargas y de la energía disponible en plantas activas que atienden el sistema, y plantas inactivas que cumplirán requisitos de reserva de energía en casos de daño de las plantas activas o de requerimientos adicionales en el campus.

Como alternativas de distribución de los recursos de energía disponibles y las cargas atendidas, se encuentra:

- Reducción de los costos de mantenimiento al dejar de reserva dos plantas en un caso o tres que no estarían al servicio del sistema activo reduciendo además gastos de funcionamiento. Esta reducción estaría alrededor del 50% al poner en operación activa 2 de 5, o 3 de 5 de los equipos.
- Disponibilidad permanente de plantas de reserva para suplir necesidades por mantenimiento de las plantas activas o por necesidades adicionales en el campus. Esta energía de reserva estaría formada por tres plantas con 525 kW disponibles o por dos plantas de 660 kW según la solución implementada.
- La solución ideal se centra en implementar la **alternativa 3** en la cual se obtiene en régimen de funcionamiento del sistema (ocupación de la energía disponible) del 79,0 % que

cumple con los requisitos de funcionamiento y reduce, por lo tanto, gastos de mantenimiento.

- La Solución 3 proporciona además la alternativa de mantener 660 kW de reserva conformado por dos plantas de 200 kW y una de 260 kW, que pueden suplir la planta de 500 kW, o en su defecto una de ellas suplir la planta de 125 kW manteniendo todo el sistema con energía disponible suficiente para suplir la demanda de 493,812 kW.

- Los costos del cableado de interconexión proporcionan una razón más para justificar la implementación de la **alternativa 3**, sin cambiar el objetivo técnico del régimen de funcionamiento superior al 70% ni los gastos de mantenimiento que se reducirían en un 40% de las dos plantas activas.

- El sistema de interconexión de Cogeneración Radial no cambia las expectativas económicas en cuanto a la utilización de las plantas de energía ya que su diferencia con el sistema de microred es únicamente en los costos iniciales.

- En cuanto a la viabilidad financiera de los sistemas de interconexión de los grupos electrógenos se pudo establecer que **NO ES VIABLE FINANCIERAMENTE** su implementación por sus altos costos comparados con el valor del kW-Hora en el mercado. Contra esta opción, el proyecto de implementar un sistema de Energía Solar resulta muy favorable comparativamente, además de propiciar la independencia total del suministro de energía, ya que es un sistema de generación autónomo.

Referencias Bibliográficas

- Arenas, L. (2019). *Determinación de la capacidad de un grupo electrógeno considerando la carga esencial en un hospital*. Retrieved from <https://bit.ly/3Hy8p6I>
- Energy Vm. (2020). *¿Qué son las micro redes y por qué serán importantes?* - Energya. Enérgy VM. Retrieved from <https://bit.ly/3KpzAT9>
- Grupo Novelec. (2021). *La micro red y sus tipologías*. Grupo Novelec. Retrieved from <https://bit.ly/3pt2V6K>
- IEEE. (2007). *Diseño de Confiable industriales y Energía Comercial Sistemas*.
- Martínez, A. (2016). *Factibilidad de implementación de un sistema de generación de potencia descentralizado basado en recursos renovables en la universidad libre sede bosque popular*. Retrieved from <https://bit.ly/3th4JRA>
- Mejía, B. (2020). *Factibilidad y diseño de una micro red conformada por paneles solares y turbinas eólicas en la torre A del edificio McGregor de la PUCP*. Retrieved from <https://bit.ly/3tjI9aY>
- Morales, R. (2017). *Diseño de Micro-redes para comunidades rurales con caracterización de incertidumbre de los recursos renovables y demanda eléctrica*. Retrieved from <https://bit.ly/3ICu8LX>
- Niño, C. (2010). *Plantas eléctricas*. Retrieved from <https://bit.ly/3ICraXZ>
- Perea, P., Blanco, J., & Vargas, J. (2016). *Caracterización energética del edificio administración i de la universidad industrial de santander aplicando la metodología del sistema de gestión integral de la energía (sgie)*. Retrieved from <https://bit.ly/35FLB7y>
- Solano, J., Castillo, L., & Vargas, H. (2015). *Caracterización energética del edificio biblioteca (campus central universidad industrial de santander) aplicando el proceso de*

implementacion del sistema de gestion integral de la energia (sgie). Retrieved from <https://bit.ly/3tgiPTg>

Solano, J., Jones, J., & Jones, J. (2014). *Caracterización del centro de tecnologías de informacion y comunicacion CENTIC. Aplicando la metodologia del sistema de gestion integral de la energía*. Universidad Industrial de Santander. Retrieved from <https://bit.ly/3MexpmL>

(Mordor Intelligence, 2019). *Mercado de grupos electrógenos de América del Sur: crecimiento, tendencias y pronósticos (2023-2028)*. Retrieved from <http://ibit.ly/0mpw>.

Frías, T. (2012). *Colector Térmico fotovoltaico interconectado a la red* [Cimav].
<https://bit.ly/40hsQPB>

Pinzón, Lady. (2016). *Alternativa en el aprovechamiento de energía solar ante crisis energética en Colombia* [Universidad Militar Nueva Granada]. <https://bit.ly/3Yt1Mvp>

Suárez, C. (2018). *Energías renovables y alternativas como fuente de desarrollo económico: Determinación de un plan de negocios para el municipio de Zapatoca, Santander* [Universidad Autónoma de Bucaramanga]. <https://bit.ly/3HkvfAr>