



UNIVERSIDAD  
DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Metodología para el cálculo y selección de una planta de suministro eléctrico de emergencia conformada por grupos electrógenos. Caso de estudio: Ampliación de PTAP Sullana**

Tesis para optar el Título de  
Ingeniero Mecánico - Eléctrico

**Max César Augusto Remigio Herrera**

Asesor(es):  
Mgtr. Ing. Marcoantonio Víctor Alamo Viera

Piura, agosto de 2023





### Declaración Jurada de Originalidad del Trabajo Final

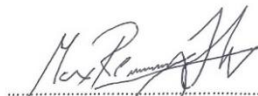
Yo, Max César Augusto Remigio Herrera., egresado del Programa Académico/ programa de posgrado de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería Mecánico – Eléctrica de la Universidad de Piura, identificado(a) con DNI 72668086.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor del trabajo final titulado:  
**“Metodología para el cálculo y selección de una planta de suministro eléctrico de emergencia conformada por grupos electrógenos. Caso de estudio: Ampliación de PTAP Sullana”**  
El mismo que presento bajo la modalidad de Tesis.<sup>1</sup> para optar el (Título profesional/Grado Académico<sup>2</sup>) de Título Profesional.
2. Que el trabajo se realizó en coautoría con los siguientes alumnos de la Universidad de Piura.
  - Haga clic o pulse aquí para escribir texto. \_\_\_\_\_, identificado con DNI N° Escribir número
  - Haga clic o pulse aquí para escribir texto. \_\_\_\_\_, identificado con DNI N° Escribir número
  - Haga clic o pulse aquí para escribir texto. \_\_\_\_\_, identificado con DNI N° Escribir número
  - Haga clic o pulse aquí para escribir texto. \_\_\_\_\_, identificado con DNI N° Escribir número
  - Haga clic o pulse aquí para escribir texto. \_\_\_\_\_, identificado con DNI N° Escribir número
3. La asesoría del trabajo estuvo a cargo de:
  - MSc. Ing. Marcoantonio Victor Alamo Viera \_\_\_\_\_, identificado con DNI N° 71228236
  - Haga clic o pulse aquí para escribir texto. \_\_\_\_\_, identificado con DNI N° Escribir número
4. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros o de ser el caso derechos de los coautores, incluidos los derechos de propiedad intelectual, datos personales, entre otros. En tal sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
5. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
6. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
7. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad de Piura.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad de Piura y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: 15/08/2023

  
.....  
Firma del autor optante<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Indicar si es tesis, trabajo de investigación, trabajo académico o trabajo de suficiencia profesional.

<sup>2</sup> Grado de Bachiller, Título de profesional, Grado de Maestro o Grado de Doctor.

<sup>3</sup> Idéntica a DNI, no se admite digital salvo certificado.



## **Dedicatoria**

Este proyecto de investigación va dedicado a mis padres, por todo el amor que me han brindado, por su guía y apoyo incondicional en cada etapa de mi vida y que hacen posible este logro profesional.





## **Agradecimientos**

El presente trabajo de investigación fue ejecutado en el marco del proyecto “Mejoramiento de la calidad del servicio de abastecimiento de agua potable en las localidades de Sullana, Querecotillo, Salitral y Marcavelica de la provincia de Sullana – Departamento de Piura” y para el desarrollo de ciertos apartados fundamentales del mismo se basó en información brindada gentilmente por las empresas Electronoroeste S. A., Provejec S.A.C. y Consorcio Inca S. A., motivo por el cual se hace expreso el agradecimiento.





## Resumen

El presente proyecto se centra en la búsqueda de un consumo energético optimizado durante un corte de energía eléctrica en una planta de tratamiento de agua potable (PTAP), donde se tratará específicamente el caso de la PTAP Sullana. Para ello, se tomarán en cuenta los aspectos relacionados con la inversión, mantenimiento, eficiencia, impacto ambiental y uso responsable de los recursos naturales. Esto implica desarrollar una metodología para el cálculo y selección adecuada de los grupos electrógenos que conformarán la planta de suministro eléctrico de emergencia, considerando las necesidades energéticas específicas de la PTAP y los estándares establecidos por las autoridades competentes.

Es importante mencionar que, se desarrolló esta metodología tomando como caso de estudio a una PTAP Sullana ya ampliada, es decir, con la capacidad de producción que obtendrá una vez culminado el proyecto. Esta capacidad será de 1200 l/s.

En primer lugar, se dispuso a ejecutar un análisis de cargas de la PTAP. En esta etapa se enumeraron cada uno de los elementos que deben ser alimentados por los grupos electrógenos y se determinó la cantidad de potencia que requieren específicamente. Se establecieron dos tipos de sistemas para el cálculo de la potencia total requerida, estos son: Sistema simplificado (que no considera la presencia de cargas no-lineales) y el sistema completo (considera presencia de cargas no-lineales). Por medio de la aplicación de los criterios que dicta la metodología, se llegó a calcular que la máxima demanda total que alimentará la planta de emergencia será de 2807.73 kW para un sistema completo (caso real). Así mismo, para satisfacer esta demanda, se propone una operación en paralelo con 4 grupos electrógenos, pues este arreglo garantiza un manejo adecuado de la energía y la inversión.

Posteriormente, se da a conocer cada paso que fue realizado durante la ejecución de la metodología, de manera que puedan ser aplicados para cualquier proyecto afín.

A manera de validación de la metodología, se dispuso a implementarla a escala menor en un proyecto ya operativo y funcional. Se trata del sistema de emergencia de los pozos N° 02 y N° 03 del Boulevard Park Plaza Miraflores Country Club. Este proyecto representa una demanda de la décima parte respecto a la PTAP Sullana, por lo tanto, se tuvieron que emplear otros criterios los cuales también son cubiertos por la metodología. Los resultados obtenidos correspondieron a la realidad, validando de esta manera a la metodología.



## Tabla de contenido

Introducción .....	19
Capítulo 1 Marco teórico.....	21
1.1 Grupos electrógenos .....	21
1.1.1 Generalidades y componentes.....	22
1.1.2 Clasificación .....	32
1.1.3 Criterios de selección y especificaciones .....	34
1.1.4 Cargas .....	42
1.1.5 Mantenimiento.....	43
1.1.6 Tableros para grupos electrógenos.....	45
1.1.7 Ventajas y desventajas .....	48
1.1.8 Importancia en la industria y aplicaciones .....	49
1.2 Calidad de la energía eléctrica en una PTAP .....	50
1.2.1 Indicadores de la calidad de la energía eléctrica .....	50
1.2.2 Armónicos eléctricos .....	53
1.2.3 Generadores de armónicos en una PTAP .....	56
1.2.4 Efectos de los armónicos en los equipos eléctricos.....	58
1.2.5 Filtro de armónicos.....	60
Capítulo 2 Desarrollo, implementación y análisis de la metodología.....	63
2.1 Identificación de la necesidad .....	63
2.1.1 Antecedentes.....	63
2.1.2 Análisis del historial de las interrupciones eléctricas en el alimentador A1014 de la provincia de Sullana.....	65
2.1.3 Regimiento a la normativa de la calidad del agua potable en el Perú.....	66
2.1.4 Rol de los grupos electrógenos en las PTAP.....	67
2.2 Identificación de las cargas en una PTAP .....	68
2.2.1 Cargas lineales .....	68
2.2.2 Cargas no lineales .....	68
2.3 Dimensionamiento de la planta de emergencia de la PTAP Sullana.....	69
2.3.1 Identificación de las cargas.....	69

2.3.2	Determinación de la potencia .....	70
2.3.3	Selección del tipo de operación .....	71
2.3.4	Selección de modelos .....	72
2.3.5	Selección de tableros.....	73
2.4	Desarrollo de metodología para cálculo y selección de la planta de emergencia en una PTAP .....	73
2.4.1	Desarrollo de metodología para un sistema simplificado.....	73
2.4.2	Desarrollo de metodología para un sistema completo.....	74
2.5	Ampliación de la metodología para el cálculo y selección del sistema de emergencia de los pozos N°2 y N°3 del Boulevard Park Plaza Miraflores Country Club .....	75
2.5.1	Identificación de las cargas.....	75
2.5.2	Determinación de la potencia .....	75
2.5.3	Aplicación de la metodología al caso real .....	75
2.5.4	Interpretación de resultados.....	76
2.6	Análisis de la implementación de la metodología para la selección y cálculo de la planta de emergencia de la PTAP Sullana .....	78
2.6.1	Análisis de resultados .....	78
2.6.2	Estudio de costo – beneficio .....	78
2.6.3	Impacto ambiental .....	79
2.6.4	Impacto social.....	79
2.7	Soluciones para la mejora del rendimiento de la PTAP Sullana durante una emergencia .....	79
2.7.1	Soluciones ante disturbios generados por cargas no lineales .....	80
	Conclusiones.....	87
	Referencias.....	89
	Apéndices .....	93
	Apéndice A Cálculo de máxima demanda - cuadro de cargas de PTAP Sullana – sistema simplificado.....	95
	Apéndice B Máxima potencia de régimen permanente de la carga (PRP) PTAP Sullana – sistema simplificado .....	99

Apéndice C Cálculo de máxima demanda – Cuadro de cargas de PTAP Sullana – sistema completo.....	103
Apéndice D Máxima potencia de régimen permanente de la carga (PRP) PTAP Sullana – sistema completo .....	107
Apéndice E Equipos .....	111
Apéndice F Zonas PTAP Sullana.....	113
Apéndice G Generator Set Rating Example.....	114





## Lista de tablas

Tabla 1 Condiciones estándar para motor de combustión interna .....	36
Tabla 2 Condiciones estándar para el alternador .....	36
Tabla 3 Condiciones estándar para tablero de control .....	37
Tabla 4 Condiciones estándar para el grupo electrógeno .....	37
Tabla 5 Condiciones referenciales para grupo electrógeno .....	37
Tabla 6 Factores $K_{na}$ de corrección por altitud de operación .....	38
Tabla 7 Factores $K_{nt}$ de corrección por temperatura de operación.....	38
Tabla 8 Factores $K_{ta}$ de corrección por altitud de operación .....	39
Tabla 9 Factores $K_{ga}$ de corrección por altitud de operación .....	39
Tabla 10 Factores $K_{gt}$ de corrección por temperatura de operación .....	39
Tabla 11 Factores $f_a$ según tipo de conexión.....	43





## Lista de figuras

Figura 1 Grupo electrógeno .....	21
Figura 2 Motor Diésel.....	23
Figura 3 Esquema del funcionamiento del motor de 4 tiempos.....	24
Figura 4 Esquema del sistema de combustible .....	24
Figura 5 Esquema del sistema de lubricación .....	25
Figura 6 Sistema de enfriamiento .....	26
Figura 7 Sistema de inducción y escape.....	27
Figura 8 Sistema eléctrico .....	27
Figura 9 Corte de un generador síncrono grande .....	28
Figura 10 Armadura rotativa .....	29
Figura 11 Generador con escobillas.....	30
Figura 12 Regulador automático de tensión.....	31
Figura 13 Tablero de control .....	31
Figura 14 Diagrama de cargas en régimen Stand - By.....	34
Figura 15 Diagrama de cargas en régimen LTP .....	35
Figura 16 Diagrama de cargas en régimen Prime .....	35
Figura 17 Diagrama de cargas en régimen continuo .....	36
Figura 18 Reparto de carga activa.....	41
Figura 19 Reparto de carga reactiva .....	42
Figura 20 Tablero general.....	45
Figura 21 Tablero de transferencia .....	46
Figura 22 Tablero de sincronismo .....	48
Figura 23 Transitorio impulsivo.....	51
Figura 24 Transitorio oscilatorio .....	51
Figura 25 Diagrama de un Sag.....	52
Figura 26 Diagrama de un Swell.....	52
Figura 27 Sistema desequilibrado .....	52
Figura 28 Fluctuación de tensión o Flicker.....	53
Figura 29 Variación de frecuencia.....	53

Figura 30 Distorsión armónica de una señal .....	54
Figura 31 Límites de intensidades armónicas para sistemas entre 120V y 69 KV .....	55
Figura 32 Punto de acoplamiento común .....	55
Figura 33 Límites de distorsión de voltaje .....	56
Figura 34 SMPS de un ordenador de escritorio .....	56
Figura 35 Sistema de alimentación ininterrumpida .....	57
Figura 36 Variadores de velocidad .....	58
Figura 37 Historial de interrupciones del alimentador de la PTAP Sullana .....	66
Figura 38 Pozo N°3 del Boulevard Park Plaza Miraflores Country Club.....	76
Figura 39 Instalación del grupo electrógeno del pozo N°3 .....	77
Figura 40 Especificaciones técnicas del grupo electrógeno del pozo N°3 .....	77
Figura 41 Diagrama unifilar de un filtro activo .....	81
Figura 42 Diagrama unifilar de un filtro pasivo.....	82
Figura 43 Diagrama unifilar de un filtro $dV/dt$ .....	83
Figura 44 Diagrama unifilar de un filtro senoidal.....	83
Figura 45 Diagrama unifilar de un reactor de carga .....	84
Figura 46 Circuito del filtro de línea trifásico EMC/EMI.....	85

## Introducción

La implementación, mejora y ampliación de las prestaciones que los proyectos pueden llegar a ofrecer en materia de servicios básicos, están relacionadas ineludiblemente con los cambios demográficos que puede experimentar un territorio. Piura, como segundo departamento más poblado del Perú, demanda especial atención en los aspectos técnicos implicados en la selección de los equipos encargados de prestar estos servicios básicos.

Para garantizar el suministro eléctrico en las PTAP, se utilizan grupos motogeneradores o grupos electrógenos que entran en funcionamiento en caso de fallas en el sistema eléctrico convencional. Sin embargo, es importante destacar que estos equipos consumen energía y deben ser seleccionados de manera óptima. En este sentido, es fundamental considerar la necesidad de contar con un suministro eléctrico confiable y, en la medida posible, constante en las plantas de tratamiento de agua potable de Piura, a fin de cumplir con las normas establecidas por SUNASS y garantizar la provisión de agua potable a la creciente población del departamento de Piura.

Este proyecto busca contribuir al desarrollo sostenible de Piura, considerando los cambios demográficos y las necesidades de servicios básicos de la población. A través de la implementación de una metodología adecuada, se pretende lograr un consumo energético optimizado en una PTAP, garantizando la disponibilidad del agua potable y promoviendo la eficiencia, la protección del medio ambiente y el uso responsable de los recursos naturales.

El trabajo de investigación consta de 2 capítulos. El primer capítulo busca esclarecer todos los conceptos teóricos involucrados en el estudio de los grupos electrógenos y la calidad de la energía eléctrica a nivel general y a nivel de una PTAP. El segundo capítulo versa sobre desarrollo, implementación y análisis de la metodología de cálculo y selección. Esta metodología será aplicada como propuesta de solución al proyecto de la ampliación de la PTAP Sullana y también se ejecutará una interpretación de resultados luego de ser aplicada al sistema de emergencia de los pozos N° 02 y N° 03 del Boulevard Park Plaza Miraflores Country Club, el cual es un proyecto que se encuentra ya operativo. Por último, se presentan algunas propuestas de mejora de la calidad energética y de la operatividad en el centro de consumo de un sistema de emergencia.



## Capítulo 1

### Marco teórico

En este capítulo se tratarán los temas teórico-introductorios respecto a los grupos electrógenos y sus aplicaciones. Antes de iniciar con el desarrollo de la metodología, se resumirán los fundamentos de los elementos eléctricos y mecánicos presentes en estos grupos motogeneradores y el adecuado mantenimiento de los mismos.

Adicionalmente se abordarán todas las variables eléctricas involucradas en el estudio de la calidad de la energía eléctrica, así como también todas las implicancias que trae consigo la intervención de la electrónica de potencia en la operación de motores clásicos representados como cargas lineales.

De esta manera se busca destacar el importante rol que desempeñan los grupos electrógenos en los distintos sectores de producción y, a su vez, presentar a detalle todas las consideraciones que serán tomadas en cuenta a la hora de realizar un correcto cálculo y selección.

#### 1.1 Grupos electrógenos

El grupo electrógeno es un equipo que proporciona energía eléctrica. Está conformado por un motor de combustión interna el cual se encuentra vinculado directamente con un generador eléctrico.

Los grupos electrógenos (a partir de ahora denominados también como “GE” en todo el documento) pueden ser los de encendido por compresión (diésel) o los de encendido por chispa (gasolina, gas). Los generadores empleados pueden ser los síncronos o los asíncronos.

La selección de estos componentes está sujeta a una serie de criterios determinados por el uso particular del equipo.

#### Figura 1

*Grupo electrógeno*



*Nota.* Extraído de Cat (Cat, s.f.)

Se abordará principalmente en los componentes del grupo electrógeno diésel con generador síncrono debido a que es el tipo de GE más comercial o llámese también de uso más difundido.

### **1.1.1 Generalidades y componentes**

Se inicia describiendo los mecanismos de funcionamiento tanto del motor diésel como del generador, incluyendo todos los sistemas y elementos que los conforman. Posteriormente, se procederá a resumir las funciones del tablero de control y también las del bastidor, debido a que este último elemento ha dotado de portabilidad a los grupos electrógenos.

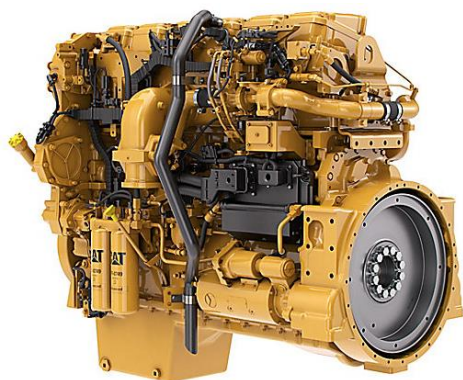
A continuación, se entrará en detalle en cada uno de estos elementos:

**1.1.1.1 Motor diésel.** Es un tipo de motor de combustión interna que logra detonar el combustible por medio de un incremento de la presión del aire en el interior del cilindro. Este incremento de presión trae consigo un incremento de temperatura responsable de la ignición del combustible. A diferencia de los motores de gasolina, los motores diésel no necesitan de un encendido por chispa.

- a) Principio de operación. Este motor utiliza como combustible desde aceite de baja volatilidad obtenido por destilación hasta petróleo crudo, toma el nombre de encendido por compresión por realizar la combustión comprimiendo aire que se mezcla con el combustible antes de finalizar la compresión.

La operación tiene lugar dentro de la cámara formada por un cilindro y un pistón, con la siguiente secuencia:

- Aspiración de aire del ambiente.
- Compresión de la masa de aire por el pistón.
- Inyección del combustible pulverizado (atomizado) antes de que el pistón alcance el máximo recorrido de compresión (PMS = Punto Muerto Superior)
- Combustión, el aire comprimido a alta temperatura (700 °C) inflama al combustible.
- Expansión de los gases de la combustión realizando Trabajo mecánico en el interior del cilindro. Los gases a la temperatura aproximada de 2500 °C se convierten también en Fluido Activo del motor, el pistón se desplaza hasta su máximo recorrido de expansión (PMI = Punto Muerto Inferior)
- Expulsión al ambiente de los gases de la combustión.

**Figura 2***Motor Diésel*

*Nota.* Extraído de Cat (Cat, s.f.)

- b) Ciclo operativo. Es el conjunto de etapas que el fluido activo desarrolla en el cilindro y que se ejecutan continuamente de manera periódica. Los principales ciclos operativos son: De 4 tiempos y de 2 tiempos, y esto dependerá del número de carreras que realice cada ciclo. Siendo el motor de 4 tiempos el que tiene un uso más amplio en la industria, a continuación, se entrará en detalle acerca de su ciclo operativo.

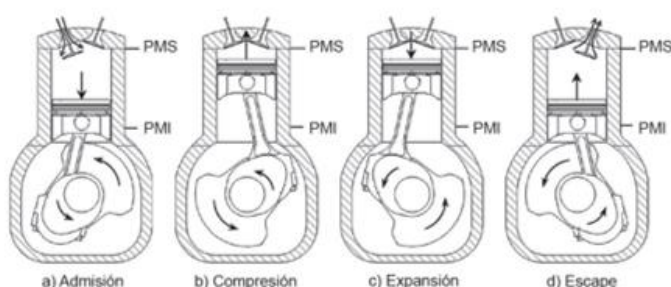
En el motor de 4 tiempos se presentan 4 carreras: De admisión, de compresión, de potencia y de escape.

Durante la carrera de admisión, el pistón se traslada hasta el punto muerto inferior (PMI), que es la posición donde se tiene el volumen máximo en el cilindro. Luego, durante la carrera de compresión, y el pistón se desplaza hasta el punto muerto superior (posición de volumen mínimo o PMS). Como consecuencia de esto, se incrementa la temperatura para luego pasar a la carrera de potencia. En su texto (Çengel, 2012) señala que el proceso de inyección de combustible inicia cuando el émbolo se acerca al punto muerto superior y prosigue durante la primera parte de esta carrera de potencia. Luego que el combustible se inflama, se produce una expansión de gases que fuerzan al pistón a desplazarse hacia el punto muerto inferior. Finalmente, se presenta la carrera de escape donde se liberan los gases producto de la combustión para posteriormente invertir el sentido de desplazamiento del pistón. Una vez que el pistón alcanza su punto muerto superior, se repiten las 4 carreras nuevamente.

Cabe resaltar que los motores diésel aprovechan su combustible a mayor escala que los motores de encendido por chispa puesto que un motor diésel suele trabajar a un número inferior de RPM y, además, su relación de masa de aire y combustible es largamente superior. Gracias a estas características en su operación, pueden llegar a eficiencias térmicas de entre 35% a 40%. Por lo tanto, se les dota de una mayor eficiencia a pesar de funcionar con un combustible más barato. Los motores diésel son la opción más adecuada para aplicaciones que demandan gran potencia tales como las que desarrollan los grupos electrógenos.

**Figura 3**

*Esquema del funcionamiento del motor de 4 tiempos*



*Nota.* Extraído de “Motores de combustión interna” (Rovira de Antonio & Muñoz Domínguez, 2015)

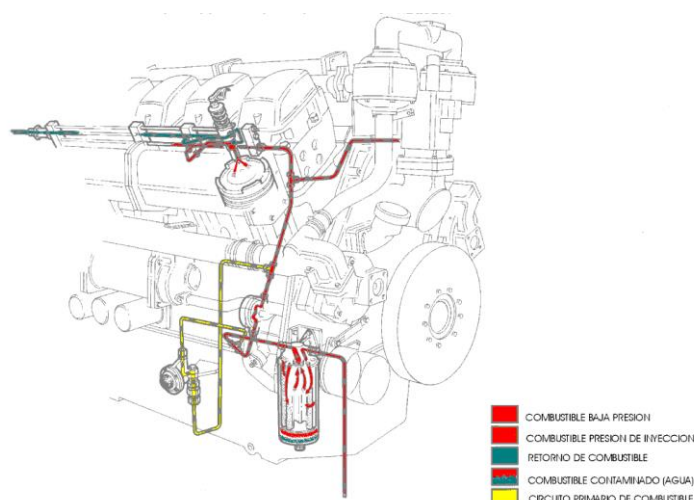
c) Sistemas. Los sistemas que posee un motor diésel son los siguientes:

- Inyección de combustible: Tiene como función transportar e introducir el combustible a la cámara de combustión, en la cantidad adecuada, en el momento preciso y en las condiciones requeridas para una óptima combustión.

En su informe (Astohuayhua Pacheco, 2017) indica que el combustible del tanque es movilizado por la bomba de transferencia (bomba de baja presión) a través de tuberías llegando hasta la bomba de inyección (bomba de alta presión). Es en este momento donde se incrementa la presión del combustible para luego ser llevado al inyector. El inyector es el responsable de pulverizarlo y dosificarlo en el interior de la cámara de combustión.

**Figura 4**

*Esquema del sistema de combustible*



*Nota.* Extraído de “Componentes del grupo electrógeno” (TECSUP, 2021)

- Lubricación: Este sistema se encarga de disminuir el desgaste y la fricción entre las piezas internas del motor por medio de un aceite lubricante presurizado. Este aceite

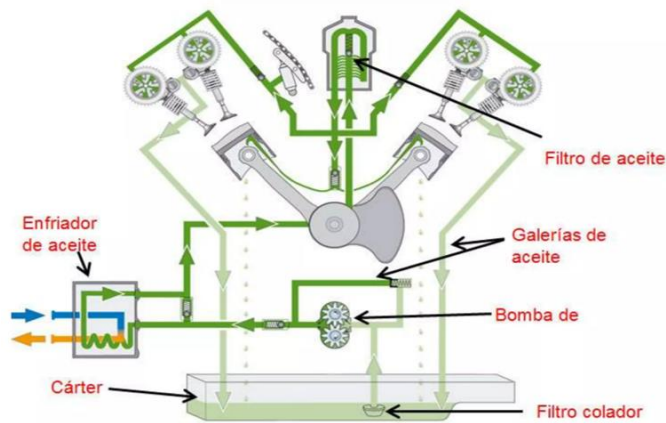
fluye entre los pequeños espacios existentes entre estas piezas cuando están en movimiento.

El aceite se sitúa por gravedad en la parte inferior del motor, sin embargo, durante el funcionamiento del motor, este aceite es impulsado por una bomba hacia el enfriador y el filtro. Posteriormente, recorre todo el sistema mecánico de transmisión de potencia para finalmente repetir el ciclo de recorrido.

Los filtros también poseen un mecanismo que permite que el aceite circule a pesar de tener un filtro saturado. También poseen un mecanismo que impide que el aceite atraviese el enfriador en caso de que el motor haya tenido un encendido muy reciente.

### Figura 5

*Esquema del sistema de lubricación*

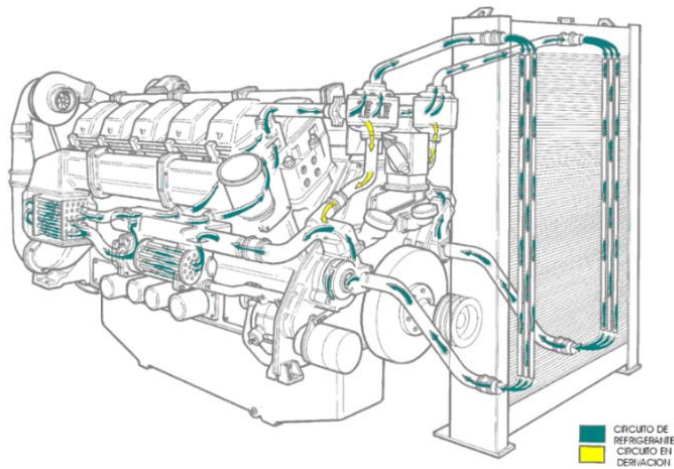


*Nota.* Extraído de “Lubricación en motores diésel” (Cabrera Nuñez, 2017)

- **Enfriamiento:** Este sistema se encarga de conservar una temperatura de funcionamiento donde se garantice la extracción continua y controlada del calor producto de la ignición del combustible y del rozamiento de las piezas internas.

Una bomba que opera con la misma energía del motor se encarga de transportar el refrigerante hacia el enfriador del aceite lubricante y hacia todos los ductos que comunican con las partes más calientes del motor tales como la culata y los cilindros. Este circuito finaliza en el radiador, el cual es un elemento del motor que se encarga de transferir el calor hacia el aire externo mediante convección forzada y también por radiación; para ello, se cuenta con un flujo de aire producido por un ventilador, el cual entra en contacto con los serpentines del radiador.

El sistema de enfriamiento o de refrigeración es muy importante para la vida útil de los motores, puesto que el 40% de las fallas de un motor están relacionadas a él.

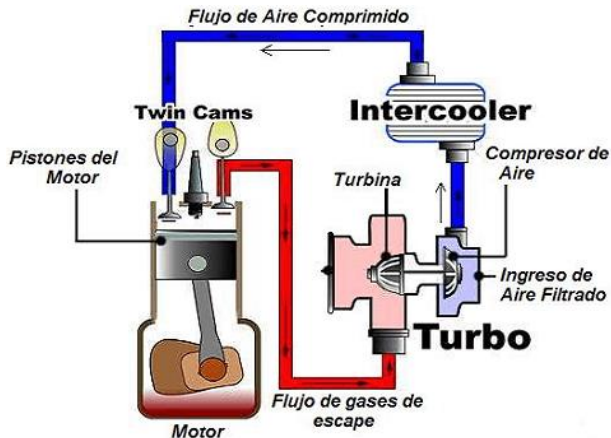
**Figura 6***Sistema de enfriamiento*

*Nota.* Extraído de “Componentes del grupo electrógeno” (TECSUP, 2021)

- Inducción de aire y escape: En su texto (Çengel, 2012) afirma que el oxígeno insuficiente y la disociación (presente en altas temperaturas) son factores que originan una combustión incompleta; incluso, esto puede ocurrir cuando se tiene más oxígeno del que se necesita.

Por lo tanto, se necesita del sistema de inducción de aire y escape para desempeñar funciones que garanticen las mejores condiciones del comburente para el enriquecimiento de la mezcla, y así, aumentar la potencia del motor. Estas funciones pueden ser: Aspiración natural (ingresa aire limpio luego de pasar por el filtro), aspiración turboalimentada (con presurización del aire) y aspiración turboalimentada con post enfriado (con presurización y enfriado del aire para evitar la disociación).

En la figura 7 aparece la turbina – compresor también llamada “turboalimentador” o “turbo”. Este elemento es el encargado de cumplir con la aspiración turboalimentada. En esta misma figura también aparece el denominado “intercooler”, el cual es un intercambiador de calor aire – agua y es el elemento encargado de cumplir con la función de post enfriado.

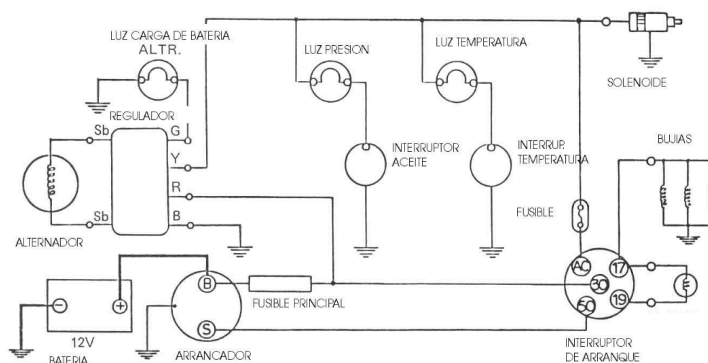
**Figura 7***Sistema de inducción y escape*

*Nota.* Extraído de “Excavadora FR 220 Familiarización” (FOTON)

- Eléctrico: Este sistema se encarga de iniciar la marcha del motor diésel, por medio un motor de corriente continua llamado arrancador, aunque si las dimensiones del motor diésel son muy grandes es común encontrar un pequeño motor de combustión interna cumpliendo el rol de arrancador.

Este sistema también se encarga de proveer energía eléctrica a los elementos de protección, de medida, de alumbrado y de control. Estos últimos son aquellos que varían la velocidad y el inyectado del carburante.

Cuando se tienen elementos eléctricos, es muy importante incluir una batería con sus respectivos elementos de carga (alternador), los cuales suelen ser accionados por la propia energía del motor en funcionamiento.

**Figura 8***Sistema eléctrico*

*Nota.* Extraído de “Componentes del grupo electrógeno” (TECSUP, 2021)

- Regulación de velocidad: La velocidad de giro es un parámetro que debe mantenerse constante en todo momento durante la operación de los grupos motogeneradores sin

importar si el funcionamiento es sin carga o a plena carga. Los elementos que buscan mantener constante esta velocidad de giro son los denominados regulares de velocidad o gobernadores, y esto lo logran mediante la dosificación de combustible que disponen a quemar. Estas regulaciones pueden ser a través de métodos mecánicos (o centrífugos), hidráulicos y electrónicos.

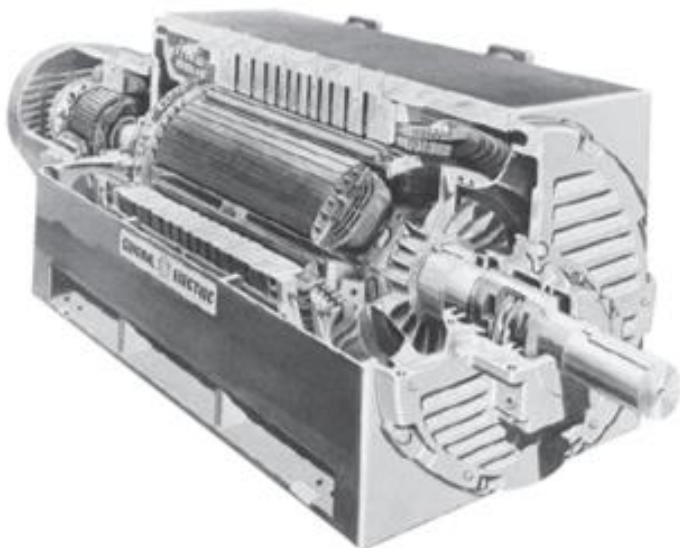
**1.1.1.2 Generador síncrono.** Es una máquina eléctrica que se sirve de un giro de su rotor para producir corriente alterna. Esta producción de corriente alterna se basa en los principios de la inducción magnética. Como indica su texto (Chapman, 2012) el campo magnético puede ser producido en el rotor funcionando éste como un imán permanente o también se puede excitar su devanado con corriente continua para que funcione como electroimán. Luego, para el caso de un grupo electrógeno, el motor diésel hará girar el rotor del generador, obteniendo así un campo magnético giratorio el cual inducirá voltajes trifásicos en las bobinas del estator.

La onda obtenida mediante el proceso descrito anteriormente es de naturaleza sinusoidal con una frecuencia síncrona que no variará durante todo el funcionamiento del GE. El valor de esta frecuencia síncrona variará según el continente donde se opere, pudiendo ser de 50 Hz o de 60 Hz.

Cabe resaltar que el sistema trifásico de generación ofrece sólidas ventajas frente a los sistemas monofásicos, principalmente debido a que las aplicaciones de este último están limitadas a la potencia de 15 KVA.

### Figura 9

*Corte de un generador síncrono grande*



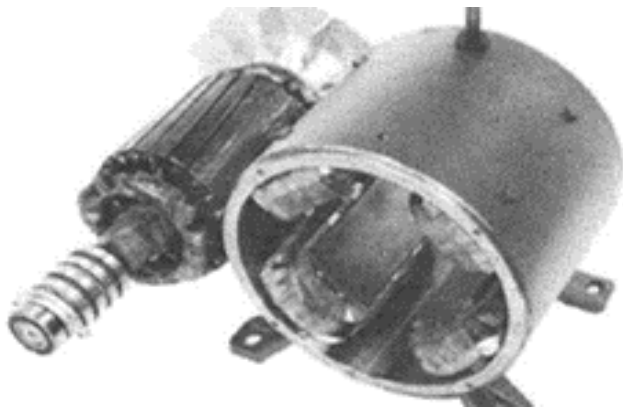
*Nota.* Extraído de “Máquinas eléctricas” (Chapman, 2012)

En los GE se encuentran generadores síncronos de las siguientes formas constructivas:

- a) Armadura rotativa. Los devanados de la armadura se ubican en el rotor, la diferencia de potencial inducida por el campo se conecta a la carga por medio de un colector de escobillas y anillos rozantes. Esta forma constructiva tiene aplicaciones que implican pequeñas potencias ya que para aplicaciones de mayor envergadura presenta limitaciones físicas tales como el aumento de las masas rotativas y también limitaciones eléctricas debido a que es difícil producir colectores que transporten corrientes elevadas.

### Figura 10

#### *Armadura rotativa*

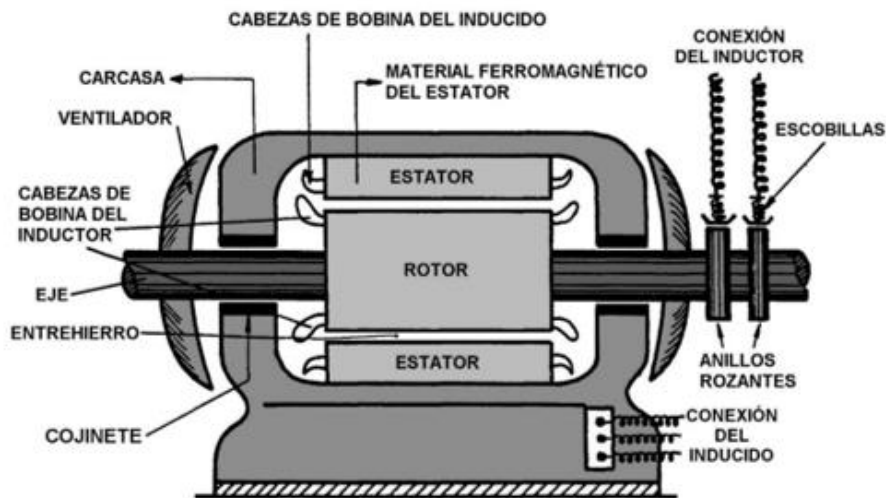


*Nota.* Extraído de “Componentes del grupo electrógeno” (TECSUP, 2021)

- b) Campo rotativo. En este caso, el estator contiene a la armadura, mientras que la carga se conecta a las salidas de voltaje generado. El campo rotativo, por otro lado, solo consume la potencia de excitación, que representa una pequeña parte de la potencia total generada.
- c) Generador con escobillas. Una escobilla es un elemento compuesto de carbón parecido al grafito y que posee buena conductividad eléctrica, además desarrolla una fricción muy baja al entrar en contacto con el anillo rozante. Si el polo positivo de una fuente de voltaje de corriente continua se conecta a una escobilla y el polo negativo se conecta a la otra, entonces se aplicará la misma tensión continua a la bobina de campo, sin importar la posición ni la velocidad del rotor.

Figura 11

## Generador con escobillas

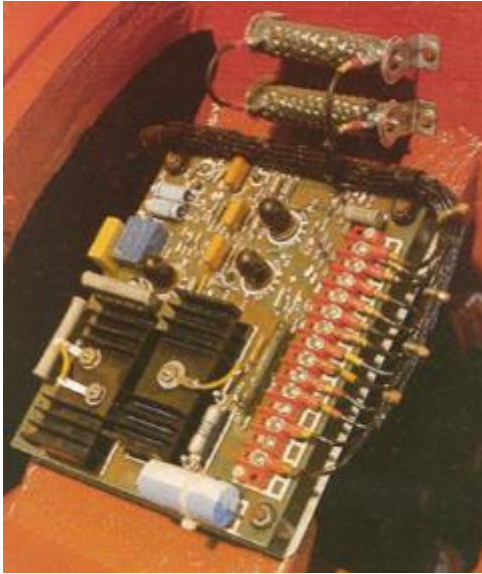


Nota. Extraído de “Máquinas síncronas” (Rodríguez Pozueta, 2015)

- d) Generador sin escobillas. Formado por un alternador de campo giratorio y otro secundario de armadura giratoria montada sobre el mismo eje. Este tipo de construcción prescinde del uso de escobillas y anillos rozantes. Esta configuración se volvió más común cuando mejoró la confiabilidad y el costo de los rectificadores semiconductores; ofreciendo así una unidad generadora más autónoma y con mejores prestaciones.

Los componentes de un generador sin escobillas son:

- Generador principal.
- Excitatriz: Es un elemento complementario instalado en el mismo eje del generador principal, y su función es proporcionar la potencia de excitación necesaria para crear el campo del generador principal. La excitatriz se sirve de una fuente secundaria denominada “generador de imán permanente” para alimentar su campo.
- Rectificador rotativo: Por medio de un circuito rectificador trifásico se obtiene corriente continua, y con ella se suministra energía al circuito de campo principal. El ajuste de la corriente de campo del generador es posible gracias al control de la pequeña corriente continua de campo de la excitatriz.
- Regulador automático de tensión: Abreviado como “AVR” (Automatic Voltage Regulator). Los AVR básicamente supervisan la tensión de entrada y de salida autorregulándolos y garantizando que sean constantes a pesar de las variaciones que pueda sufrir la carga. Estos reguladores pueden asegurar variaciones de intensidad por debajo del 2%.

**Figura 12***Regulador automático de tensión*

*Nota.* Extraído de “Componentes del grupo electrógeno” (TECSUP, 2021)1.1.1.3. Módulo de control.

**1.1.1.3 Módulo de control.** Este elemento dota de confiabilidad a los GE, pues ofrece una interfaz que permite supervisar el funcionamiento del motor, examinar continuamente los parámetros del generador y además establece una efectiva comunicación máquina – consumidor.

**Figura 13***Tablero de control*

*Nota.* Extraído de Cat (Cat, s.f.)

**1.1.1.4 Bastidor.** Es una estructura de acero de plancha que sirve como base del GE. Sus funciones principales son las de mitigar vibraciones mecánicas e impedir el desalineamiento de la instalación. En los GE de menor tamaño, el bastidor puede incluir el tanque de combustible.

### 1.1.2 Clasificación

Los GE se pueden clasificar bajo distintos criterios. Se describen los siguientes:

**1.1.2.1 Según su tipo de motor.** Los GE pueden ser clasificados también de acuerdo a las tecnologías de combustión que les permiten generar energía eléctrica. Estas son:

- GE de diésel: Empleados en requerimientos con potencias superiores a 5 kW y durante periodos extensos o indefinidos. Suelen estar presentes en entornos industriales, del sector de salud y de generación eléctrica. Pueden llegar a suministrar una potencia de hasta 4000 kVA. GE de gasolina: Estos GE tienen se enfocan más en un uso doméstico, dado que solo pueden suministrar hasta 5 kVA de potencia. Este tipo de motores presentan un mejor rendimiento que el diésel, pero es opacado por sus limitadas aplicaciones y por ser de corto tiempo de operación.
- GE de nafta: Tiene el menor desempeño para operaciones de larga duración, pero son los más económicos. Son empleados para requerimientos de hasta 2 kW. Resulta ser una solución adecuada para pequeños negocios.
- GE de gas: Poseen una alta eficiencia, son más amigables con el medio ambiente y a la vez económicos.

**1.1.2.2 Según el tipo de tensión.** En esta clasificación se determinan 2 tipos de GE:

- Monofásicos: Estos GE son empleados para requerimientos de hasta 5 kW, y trabajan con una tensión de 220 V. Se utiliza generalmente para aplicaciones de uso doméstico y que no son de uso intensivo.
- Trifásicos: Estos GE son los más comunes y se usan para aplicaciones industriales debido a que trabajan con una tensión de 400 V y son capaces de suministrar una gran potencia.

**1.1.2.3 Según la movilidad.** En esta clasificación se determinan 2 tipos de GE:

- Fijos: Son aquellos grupos de mayor tamaño, los cuales son empleados cuando se busca asegurar el suministro eléctrico en todo momento como es en el caso de las industrias o en los hospitales. Cabe precisar que estos GE pueden ser transportados con relativa facilidad si son colocados sobre un remolque.
- Móviles: Son aquellos de menor tamaño y pueden incorporar ruedas para su transporte. Estos cubren requerimientos puntuales tales como algún evento social, conciertos o secuelas de algún fenómeno natural.

**1.1.2.4 Según tipo de aislamiento.** Bajo este criterio, se tienen 2 tipos de GE:

- GE insonorizados: Es empleado cuando las condiciones de la operación requieren evitar la contaminación acústica, o también, cuando se presentan condiciones

ambientales extremas durante el funcionamiento. Como aislante acústico se emplean metales galvanizados.

- GE sin cubierta: Se emplea cuando no se tienen condiciones de aislamiento acústico durante la operación y se presentan condiciones climáticas favorables para la integridad de todos los componentes del GE.

**1.1.2.5 Según el suministro de energía.** Bajo este criterio, se tienen 2 tipos de GE:

- GE como suministro auxiliar: En este tipo de suministro se operará en paralelo con la red pública. Suele emplearse como respuesta en caso que se presente una reducción en la tensión de esta red.
- GE como suministro principal: En esta operación el GE actúa como fuente primaria de alimentación para el requerimiento. En este caso, siempre se presenta un grupo de alta potencia y durabilidad.

**1.1.2.6 Según su periodo de operación.** Se definen 2 tipos. En el primer tipo, el período de operación no tiene límite definido y es denominado “operación continua” (se debe verificar los requerimientos de mantenimiento porque pueden afectar la continuidad de la operación). En el otro tipo se tiene un tiempo de operación que no es permanente, denominado “operación de periodo limitado”.

**1.1.2.7 Según lugar de operación.** Se especifica 2 tipos. El primero cubre a todos los equipos generadores usados sobre terreno independiente de sus características de instalación. El otro, de uso marino, cubre a todos los grupos electrógenos usados sobre embarcaciones o en plataformas marítimas.

**1.1.2.8 Según forma de arranque y del control.** Cada uno de estos tipos definen sus propias características y especificaciones de tablero de control y de transferencia de los cuales se hablará más adelante. Se tienen 3 tipos:

Operación manual.

Operación semiautomática.

Operación automática.

**1.1.2.9 Según periodo de arranque.** Para algunas aplicaciones, el tiempo de arranque es un criterio importante. Se definen 2 tipos básicos. El primero donde no se requiere un tiempo específico y usualmente se opera al grupo manualmente.

En el segundo tipo el período de arranque puede ser:

- Corte prolongado.
- Corte corto.
- Sin corte.

### 1.1.3 Criterios de selección y especificaciones

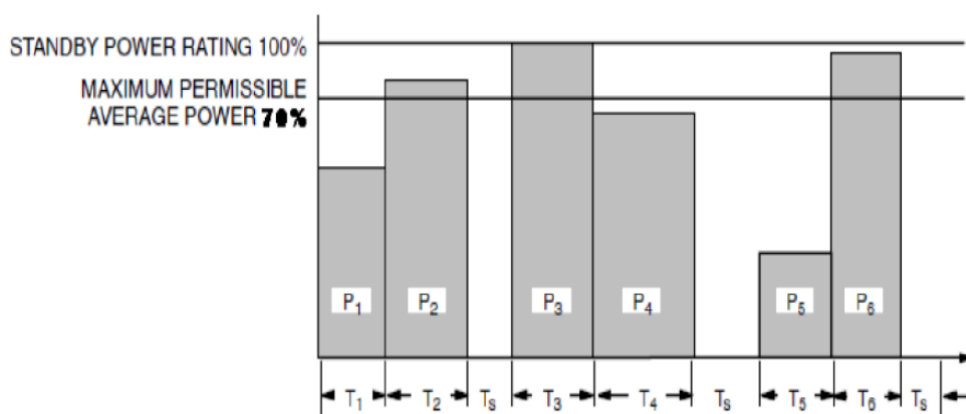
Son varios los criterios para seleccionar los GE, se presentan los siguientes:

**1.1.3.1 Según regímenes de uso.** De acuerdo a la norma ISO 8528-1 de (International Organization for Standardization, 2018), existen 4 tipos de potencias para los GE:

- Régimen Stand – By: Llamado también como potencia auxiliar de emergencia. Es usado en situaciones de corte de energía de la red pública o en condiciones de prueba. Se le denomina así al régimen donde el GE funciona con la máxima potencia de su generador, alimentando a una carga variable y funcionando hasta un máximo de 200 horas al año. Es importante señalar que en un régimen Stand – By, no se puede exceder el 70% en potencia promedio de salida durante todo 1 día de operación.

**Figura 14**

*Diagrama de cargas en régimen Stand - By*



*Nota.* Extraído de AKSA (Aksa Power Generation USA & LATAM)

- Régimen de potencia por tiempo limitado: Abreviado como “LTP”. Es usado en requerimientos de carga constante, en peak shaving, en cortes de energía programados (específicamente en situaciones donde habrá una reducción programada de la energía de la red pública). Es importante señalar que en este régimen la carga siempre debe ser no variable durante todo el evento y que el tiempo de operación no ha de exceder las 500 horas al año, donde 300 horas es el máximo tiempo de operación continua entre periodos de mantenimiento.

**Figura 15**

Diagrama de cargas en régimen LTP

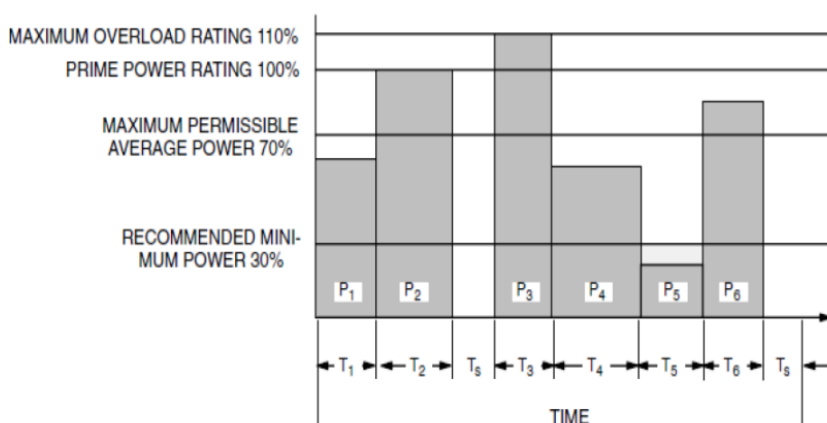


Nota. Extraído de “Criterios de selección y especificaciones” (TECSUP, 2021)

- Régimen Prime: Es en este régimen donde el GE es la fuente primaria de alimentación para el requerimiento. Durante este régimen, el GE puede entregar una determinada potencia durante un periodo de tiempo ilimitado hacia una configuración de cargas variables. El GE solo podrá detener su operación durante los intervalos de mantenimiento. Así mismo, el factor de carga promedio no deberá superar el 70% durante todo 1 día de funcionamiento. En este régimen es permitida una sobrecarga del 10% de 1 hora de duración, cada 12 horas y cuidando de no sobrepasar las 24 horas de sobrecarga anuales.

**Figura 16**

Diagrama de cargas en régimen Prime



Nota. Extraído de AKSA (Aksa Power Generation USA & LATAM)

- Régimen de funcionamiento continuo: Llamado también régimen de potencia continua y abreviado como “COP”. Es usado en requerimientos de carga constante donde la energía es suministrada durante un periodo ilimitado de horas al año y sin capacidad de sobrecarga. Se emplea esta potencia en zonas donde la red de energía es

inalcanzable y donde es vital no cortar el suministro de energía, por ejemplo, en operaciones agrícolas, militares, mineras, centro de datos y en centrales de generación eléctrica.

**Figura 17**

*Diagrama de cargas en régimen continuo*



*Nota.* Extraído de AKSA (Aksa Power Generation USA & LATAM)

**1.1.3.2 Según condiciones del lugar de operación.** Se identifican 2 tipos de condiciones:

- Condiciones estándar: La entrega de potencia de cada elemento del GE estará determinada por las siguientes condiciones:

**Tabla 1**

*Condiciones estándar para motor de combustión interna*

Parámetro	Valor
Presión barométrica total	100 kPa (1bar) <sup>1</sup>
Temperatura del aire circundante	25 °C
Temperatura del aire en admisión	25 °C
Humedad relativa	30%

<sup>1</sup> La presión barométrica de 1bar es hasta 150 m s. n. m.

*Nota.* Extraído de norma ISO 3046-1 (International Organization for Standardization, 2002)

**Tabla 2**

*Condiciones estándar para el alternador*

Parámetro	Valor
Temperatura del aire ambiente	<40 °C
Temperatura de ingreso del aire de enfriamiento	<25 °C
Altitud	1000 m s. n. m.

*Nota.* Extraído de norma IEC 34-1 (International Electrotechnical Commission, 2022)

**Tabla 3***Condiciones estándar para tablero de control*

Parámetro	Valor
Temperatura ambiente máxima	40 °C
Humedad relativa	50%
Altitud	2000 m s. n. m.

*Nota.* Extraído de norma IEC 439-2 (International Electrotechnical Commission, 2020)

**Tabla 4***Condiciones estándar para el grupo electrógeno*

Parámetro	Valor
Ambiente y temperatura de carga del aire	40 °C
Presión barométrica total	100 KPa
Humedad relativa	30%

*Nota.* Extraído de norma ISO 8528-1 (International Organization for Standardization, 2018)

- Condiciones ambientales: Se denomina bajo este término al tipo de operación que se rige de acuerdo a los siguientes factores: Temperatura, altitud, humedad, arena del ambiente, polvo del ambiente, nivel de corrosión, golpe, vibración, contaminación química, radiación, presencia de líquidos y presencia de gases inflamables. Mas adelante, se hablarán de estas condiciones y los factores de corrección que deberán ser tomados en cuenta.

En caso que las condiciones sean desconocidas o no es especificadas, se asumen las siguientes condiciones:

**Tabla 5***Condiciones referenciales para grupo electrógeno*

Parámetro	Valor
Presión barométrica total	89.9 KPa <sup>1</sup>
Temperatura ambiente	40 °C
Humedad relativa	60%

<sup>1</sup> La presión barométrica a 1000 m s. n. m.

*Nota.* Extraído de norma ISO 8528-1 (International Organization for Standardization, 2018)

**1.1.3.3 Correcciones para determinación de la potencia.** Luego de definir las aplicaciones, se procede a determinar la potencia del GE. El dimensionamiento se ejecuta de acuerdo a los siguientes parámetros:

Determinación de la carga total.

Determinación de las cargas críticas.

Simultaneidad. Se debe tener en cuenta que no siempre todas las cargas estarán operando durante una emergencia; tampoco alcanzarán su máxima potencia.

Cargas especiales. Se tienen como ejemplos al momento del arranque de los motores y a las cargas que absorben corriente con forma de onda no sinusoidal.

Condiciones del ambiente. Considerar los factores de derrateo por altitud, por temperatura, por humedad, etc.

Emisiones. Se debe considerar los decibelios emitidos, la frecuencia y la intensidad de la vibración del GE, impacto ambiental (calor y gases emitidos) y perturbaciones electromagnéticas de los variadores de velocidad (VFD) que accionan a los motores eléctricos del centro de consumo.

Regulaciones y legislación local de la zona en donde se ubicará centro de consumo.

- a) Factores de corrección de motor diésel. Los factores ambientales condicionarán la potencia de salida del motor. Se introducen a los factores  $K_{na}$  y  $K_{nt}$ , los cuales son factores de corrección que se multiplicarán al valor nominal de la potencia del motor para calcular el valor real.

Para un motor de aspiración natural: Los factores  $K_{na}$  y  $K_{nt}$  para la corrección por altitud y temperatura de operación respectivamente, son los siguientes:

**Tabla 6**

*Factores  $K_{na}$  de corrección por altitud de operación*

ASNM (metros)	Presión (kPa)	$K_{na1}$
150	100	1.00
1000	89.9	0.88
2000	79.5	0.76
3000	70.1	0.65
4000	61.5	0.54

<sup>1</sup> Para una temperatura de 25°C y una humedad del 60%

*Nota.* Extraído de norma ISO 3046-1 (International Organization for Standardization, 2002)

**Tabla 7**

*Factores  $K_{nt}$  de corrección por temperatura de operación*

Temperatura (°C)	$K_{nt1}$
25	1.00
30	0.98
35	0.96
40	0.94
45	0.93

<sup>1</sup> Para una altitud de 150m y una humedad del 30%

*Nota.* Extraído de norma ISO 3046-1 (International Organization for Standardization, 2002)

- Para un motor turbocargado: Los factores  $K_{ta}$  para la corrección por altitud de operación son los siguientes:

**Tabla 8**

*Factores  $K_{ta}$  de corrección por altitud de operación*

ASNM (metros)	Presión (kPa)	$K_{ta1}$
150	100	1.00
1000	89.9	0.92
2000	79.5	0.83
3000	70.1	0.74
4000	61.5	0.66

<sup>1</sup> Para una temperatura de 25°C y una humedad del 60%

*Nota.* Extraído de norma ISO 3046-1 (International Organization for Standardization, 2002)

- b) Factores de corrección en el generador. Se presentan las siguientes condiciones de operación con sus respectivos factores de corrección de la potencia de entrega del generador:
- Condiciones ambientales: Se observa que el motor diésel es más afectado por estas condiciones que el generador.

**Tabla 9**

*Factores  $K_{ga}$  de corrección por altitud de operación*

ASNM (metros)	$K_{ga}^1$
1000	1.00
2000	0.93
3000	0.86
4000	0.79

*Nota.* Extraído de norma IEC 34-1 (International Electrotechnical Commission, 2022)

**Tabla 10**

*Factores  $K_{gt}$  de corrección por temperatura de operación*

Temperatura (°C)	$K_{gt}^1$
40	1.00
45	0.96
50	0.93

Temperatura (°C)	Kgt <sup>1</sup>
55	0.89
60	0.86

*Nota.* Extraído de norma IEC 34-1 (International Electrotechnical Commission, 2022)

**1.1.3.4 Según el tipo de ordenamiento.** Desde el punto de vista del ordenamiento se tienen 2 tipos de operación, estos son:

- Operación individual: Es el caso en el que una sola fuente, sin el soporte de otras, abastece al centro de consumo.
- Operación en paralelo: Cuando 2 o más fuentes conectadas se encuentran suministrando energía al centro de consumo. Para este tipo de operación se requiere de un tablero de sincronismo, elemento del cual se hablará en detalle más adelante.

A continuación, se abordará con más profundidad el tema de las operaciones en paralelo puesto que son las que involucran un mayor nivel de complejidad respecto a las operaciones individuales.

- a) Justificación de las operaciones en paralelo. En el funcionamiento de los GE, el tipo de instalación de mayor dificultad y que a su vez genera muchas pérdidas es la operación en paralelo. Sin embargo, este ordenamiento es muy usado por los siguientes motivos:
  - Los cronogramas de mantenimiento pueden ser ejecutados sin necesidad de cortar la alimentación al centro de consumo.
  - Una mejor repartición de los espacios y pesos para el mismo requerimiento.
  - Una instalación en paralelo implica un menor presupuesto y a la vez garantiza la misma potencia que la que ofrecería un solo grupo de mayor capacidad.
  - Mantenimiento más barato.
  - Se desenvuelven mejor ante situaciones críticas tales como el arranque de motores eléctricos y durante la operación con la red pública en horarios de alta demanda.
- b) Condiciones operativas. Las condiciones con las que deben trabajar los GE para una adecuada operación en paralelo son:
  - Condiciones básicas: Se debe tener igual voltaje en los terminales, igual secuencia de fases (con estas fases debidamente sincronizadas), igual frecuencia de generación y la carga debe estar distribuida por igual en cada GE.

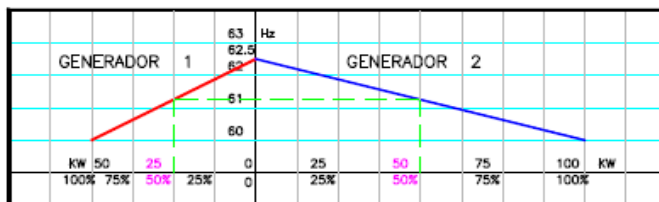
- Reparto de carga: La potencia activa es entregada por el motor, por lo tanto, esta potencia estará determinada en función del flujo de combustible que dosifique el regulador de velocidad del motor. Por otro lado, la potencia reactiva es entregada por el generador, y estará determinada en función de la intensidad de excitación que disponga el regulador automático de tensión.

Para hablar de un reparto de cargas correctamente ejecutado, el sistema en paralelo debe asignársele los mismos valores en sus parámetros que los que tendría una unidad en solitario. Esto incluye el reparto de cargas activas y reactivas y también incluye a su factor de potencia.

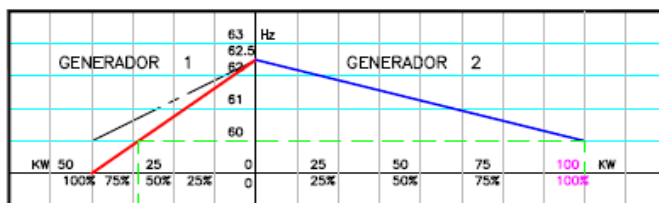
- c) Sistemas en paralelo aislados. La distribución de potencia activa está sujeta a la configuración de los reguladores de velocidad. Estos reguladores actuarán idénticamente ante los cambios de velocidad que pueda ocasionar la conexión súbita de nuevas cargas a la red y, a su vez, distribuirán estas nuevas cargas por igual. El grupo que resulte menos afectado ante estas situaciones es el que asumirá una carga activa y reactiva mayor.

**Figura 18**

*Reparto de carga activa*



IGUAL CAIDA % DE FRECUENCIA (Hz) IGUAL REPARTO % DE KW



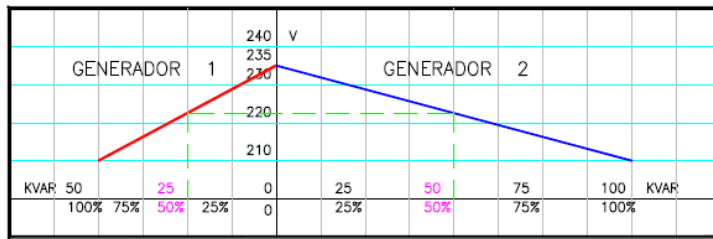
DIFERENTE CAIDA % DE FRECUENCIA (Hz) DIFERENTE REPARTO % DE KW

*Nota.* Extraído de “Operación, diagnóstico de fallas y mantenimiento” (TECSUP, 2021)

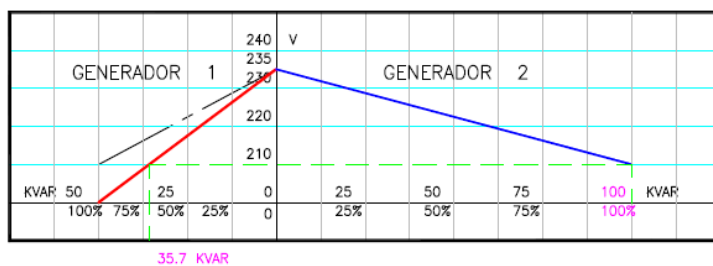
Como se mencionó anteriormente, el regulador de tensión será el encargado de distribuir en partes iguales la potencia reactiva presente en el centro de consumo; para ello, el operario deberá asegurar que esté configurado para ese fin. Ante una eventual conexión súbita de cargas, el grupo que resulte menos afectado ante esta situación es el que asumirá una carga reactiva mayor tal como se aprecia en la figura 19:

Figura 19

## Reparto de carga reactiva



IGUAL CAIDA % DE TENSION (V) IGUAL REPARTO % DE KVAR



*Nota.* Extraído de “Operación, diagnóstico de fallas y mantenimiento” (TECSUP, 2021)

- d) Sistemas en paralelo conectados a una red rígida. Los grupos se conectan en paralelo con una red de muy alta capacidad (red comercial) denominada también barra infinita. Según el equipamiento se presentan 2 opciones:
- Control de la carga usando el grupo electrógeno con gobernador y AVR con caída.
  - Reparto de la carga usando controladores de la potencia activa, controladores de potencia reactiva o del factor de potencia.

#### 1.1.4 Cargas

Las cargas en un centro de consumo vienen a ser todos los equipos presentes los cuales deberán ser alimentados por la planta de emergencia durante el corte de energía. Desde el punto de vista de los circuitos eléctricos, estas vienen a ser representadas por medio de resistencias. Los motores clásicos tales como las bombas hidráulicas presentes en una PTAP pueden ser representados como resistencias o como cargas lineales, sin embargo, ante la creciente tendencia de empleo de equipos de electrónica de potencia con fines de mejorar el control de estos motores clásicos, surgen de ellos lo que se denomina cargas no lineales las cuales absorben corriente no sinusoidal. Este comportamiento genera una serie de problemas muy engorrosos para la industria los cuales se abordarán más adelante, así como también cada una de sus soluciones.

**1.1.4.1 Factores de dimensionamiento según el tipo de carga.** Cuando se busca dimensionar correctamente un GE, es fundamental identificar con precisión los tipos de cargas presentes en el centro de consumo. A continuación, se presentan los factores a considerar ante distintos tipos de conexiones:

- Factores para cargas dinámicas de impacto: Estos factores se usarán para compensar momentos críticos en la demanda de energía tal como sucede en un arranque de motores eléctricos.

**Tabla 11**

*Factores  $f_a$  según tipo de conexión*

Tipo de arranque	Factor $f_a$
Directo puro	3
Estrella – Triángulo	1.8
Soft Starter	2.5
Variador de velocidad	1.3 - 1.5

*Nota.* Extraído de (Provejec, 2019)

### **1.1.5 Mantenimiento**

El mantenimiento de los GE es indispensable para evitar daños en los componentes de los equipos y para asegurar su correcto funcionamiento durante toda su vida útil. Toda labor de mantenimiento debe ser realizada por el personal técnico debidamente calificado.

**1.1.5.1 Objetivos.** Cuando se ejecuta un mantenimiento a los GE, se buscan los siguientes resultados:

Garantizar que el centro de consumo goce de todas las prestaciones que ofrece la máquina tanto en su ficha técnica como en su placa de características.

Evitar las paradas de operación.

Garantizar la seguridad de sus operarios.

Optimizar los costos de producción energética de los GE.

**1.1.5.2 Tipos de mantenimiento.** Los diferentes tipos de mantenimiento han de ejecutarse de manera rigurosa y complementarse entre sí para alcanzar los objetivos previamente mencionados. En su texto (TECSUP, 2021) introduce y describe los diferentes tipos de mantenimiento. Estos pueden ser:

Mantenimiento preventivo.

Mantenimiento predictivo.

Mantenimiento correctivo.

Según el tipo de mantenimiento se elaborará un cronograma específico que indica las diferentes tareas a realizarse, junto con sus respectivos tiempos de ejecución y los presupuestos que involucran.

- a) **Mantenimiento preventivo.** Es el conjunto de acciones planificadas que se ejecutan sobre los GE. Se establecen los plazos y las acciones a realizar. Se distinguen 2 tipos de mantenimiento preventivo:

**Rutinario:** Involucra las actividades sencillas tales como la lubricación, limpieza y revisión del estado de cada uno de los componentes.

**Planificado:** Referido a todas las labores previamente programadas. En el motor y en el alternador se realizan actividades de reemplazo de todos los elementos que sufren desgaste o algún deterioro gradual a través del tiempo tales como filtros, retenes, lubricantes, cojinetes, etc.

- b) **Mantenimiento predictivo.** Las actividades que este tipo de mantenimiento involucra son ejecutadas cuando los valores de los parámetros de operación difieren de los valores esperados, los cuales son expuestos en la placa de características y/o en la ficha técnica.

Comúnmente se emplean los siguientes análisis para evaluar el estado de las piezas de desgaste y la contaminación de los fluidos presentes:

Análisis vibracional.

Ferrografía.

Termografía.

Ultrasonido.

- c) **Mantenimiento correctivo.** Este tipo de mantenimiento es ejecutado cuando el equipo presenta un daño de consideración.

Se distinguen dos tipos de mantenimiento correctivo:

**Planificado:** Se ejecuta después de identificado el daño de consideración y se rige a una programación.

**Emergencia:** Cuando es inevitable la parada de la operación y solo resta corregir la falla grave en el GE.

### **1.1.6 Tableros para grupos electrógenos**

Los grupos electrógenos como fuentes autónomas de generación y suministro de la energía eléctrica en lugares de difícil acceso a la red pública, son una excelente alternativa que impacta de manera muy positiva a los distintos sectores de la industria; sin embargo, estas demandas no podrían ser cubiertas satisfactoriamente de no contarse con la intervención de equipos que complementariamente desarrollan funciones específicas de monitoreo, instrumentación, control, automatización, sincronización, arranque, protección y distribución de la energía. Estos son los denominados “tableros eléctricos” y, a continuación, se entrará a talar en los diferentes tipos de tableros que ofrece el mercado junto a sus características y funciones que desempeñan en una planta.

**1.1.6.1 Tablero general.** El tablero general es el tablero principal en todos los sistemas presentes en una planta. Se encuentran instalados junto a equipos de elevada performance y, a su vez, están equipados con elementos de protección.

Los tableros generales pueden operar sobre todo el centro de consumo o sobre una parte específica de él.

#### **Figura 20**

*Tablero general*



*Nota.* Extraído de TECNIASES (TECNIASES, s.f.)

**1.1.6.2 Tablero de distribución.** Este tablero se encarga de suministrar la energía que requiere cada circuito independiente, y a su vez cuenta con elementos de protección para

cada uno de estos circuitos. Este tipo de tableros generalmente operan a tensiones nominales máximas de 600 V y con intensidades nominales máximas de 6000 A.

**1.1.6.3 Tablero de transferencia.** Llamado también como tablero de conmutación. Estos tableros actúan cuando se presenta un corte del suministro eléctrico por parte de la red pública, asignando la tarea a la planta de emergencia conformada por GE. Cabe resaltar que este tablero transfiere la carga una vez que el GE haya alcanzado el voltaje y la frecuencia adecuada. Este proceso suele tardar unos pocos segundos.

Luego que la red pública reanuda su funcionamiento, este tablero retorna la carga a la red, para posteriormente apagar los motores de la planta de emergencia

### Figura 21

*Tablero de transferencia*



*Nota.* Extraído de PROTELEC (PROTELEC, s.f.)

Existen 3 tipos de tableros de transferencia:

**Tablero de transferencia automática:** Activan a los GE cuando se presenta un corte de energía en la red pública y también apaga el GE cuando se reanudan las operaciones de la red. Y todo esto lo ejecuta de manera automática, tal como lo menciona su nombre.

**Tablero de transferencia manual:** Transfieren la carga entre la red pública y el GE a través de un operario.

**Tablero de transferencia mixta:** Este tablero posee ofrece las configuraciones tanto de los tableros de transferencia automáticos como de los manuales.

**1.1.6.4 Tablero de potencia.** Llamados también tableros de arranque o tableros de fuerza. Son equipos de distribución de energía eléctrica en baja tensión, pero de alta intensidad (entre 1000 A hasta 6000 A) y tensiones de operación de hasta 600 V en corriente alterna.

Existen 4 tipos de tableros de potencia:

Tablero de arrancador electrónico: Llamados también "Soft Starter" o arrancadores suaves. Estos tableros son ideales para atenuar los efectos de las altas corrientes propias del momento del arranque de los motores eléctricos.

Tablero de variador de frecuencia: Este tablero es utilizado para controlar la velocidad de rotación de los motores de corriente alterna, tratando de mantener el torque a diferentes velocidades.

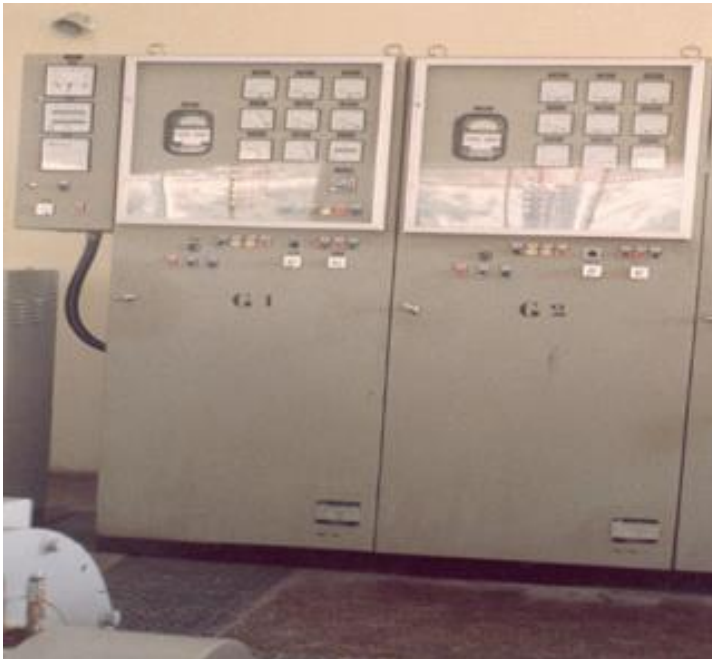
Tablero de arranque estrella-triángulo: Este tablero sirve para limitar la corriente de arranque del motor. Se aplica para potencias pequeñas.

Tablero para otros arranques: Se tienen a los de arranque por autotransformador y a los de arranque por resistencias estáticas y rotóricas.

**1.1.6.5 Tablero de control y automatización.** Este tablero supervisa los parámetros de funcionamiento de los equipos. Posee elementos de maniobra y señalización que informan de manera continua el estado de la planta. También incluye a los controladores lógicos programables (PLC), relevadores, temporizadores, sensores y otros dispositivos de control que permiten la automatización de los procesos industriales. Este tipo de tablero es fundamental en la industria moderna.

**1.1.6.6 Tablero de sincronismo.** Conocido también como tablero de barras. Este tipo de tablero permite que dos o más GE operen en paralelo igualando lo más posible la frecuencia y el voltaje de estos, verificando también que el sentido de rotación de las fases sea el mismo. La sincronización se logra mediante un controlador que monitorea a los GE y ajusta la velocidad de sus motores y el voltaje de estos.

Una diferencia en la frecuencia de los GE en paralelo de 0.1 Hz, así como una diferencia del 5% en el voltaje, y una diferencia de 5° en el ángulo de rotación de las fases, se consideran márgenes satisfactorios para la operación en paralelo.

**Figura 22***Tablero de sincronismo*

*Nota.* Extraído de “Operación, diagnóstico de fallas y mantenimiento” (TECSUP, 2021)

### **1.1.7 Ventajas y desventajas**

Los GE pueden ser instalados con diferentes características en cuanto al combustible que los alimenta y en cuanto al tipo de generador que poseen. Estas diferencias dependerán del requerimiento que se busque satisfacer

Para el análisis de los pro y contras, se presentan los siguientes criterios:

**1.1.7.1 GE de motor diésel frente al de gas.** El uso extensivo del motor diésel como máquina prima de los grupos electrógenos obedece a las siguientes razones:

Bajo consumo específico de combustible.

Alta eficiencia térmica a cargas parciales.

Operación más confiable por su diseño simple.

Excelente durabilidad por su construcción robusta y su capacidad de restauración hasta la condición de nuevo.

Los GE de motor diésel son más económicos que los GE a GNV.

Bajas emisiones de CO e hidrocarburos a carga baja y moderada.

Rapidez en el arranque y la aceptación de carga que garantiza su aplicación en sistemas de emergencia.

El diésel posee una menor inflamabilidad.

Pueden operar ininterrumpidamente por tiempos prolongados.

Posee una mayor autonomía puesto que el funcionamiento del grupo diésel solo depende de tener el tanque a disposición, mientras que el grupo a gas tendrá su funcionamiento directamente condicionado al servicio de suministro de gas o red de distribución de este combustible.

Es bueno indicar como desventaja que el grupo de diésel emite niveles de ruidos más altos. Así mismo, posee una emisión atmosférica mayor a la de los grupos de gas.

**1.1.7.2 GE de generador síncrono vs asíncrono.** Se cuentan con las siguientes ventajas del motor síncrono por encima del asíncrono:

El grupo de motor sincrónico es más robusto a la hora de alimentar súbitamente cargas nuevas a su red. Es decir que es capaz de mantener la velocidad constante ante este tipo de situaciones, incluso en presencia de oscilaciones de tensión.

La conversión de mecánica en eléctrica es eficiente, genera un mayor ahorro de energía operando con alto rendimiento.

Los motores síncronos pueden arrancar con una carga pesada de manera más eficiente que los motores asíncronos, lo que los hace más adecuados para aplicaciones con cargas pesadas.

Los motores síncronos producen menos ruido que los motores asíncronos debido a su diseño más complejo.

Otra ventaja del generador síncrono es su mejor estabilidad en aplicaciones con VFD. El motor síncrono con VFD es preferencialmente requerido para sistemas que demanden de un torque elevado, operaciones a baja velocidad y con un buen control de la misma.

Las desventajas que presenta son su mayor precio y sus mayores requisitos de control debido a su mayor complejidad en comparación al motor asíncrono. Los motores síncronos poseen elementos que pueden requerir mantenimientos más recurrentes debido al rozamiento que estas piezas sufren para permitirles alcanzar su velocidad de sincronismo luego que son arrancados; por lo tanto, son más difíciles de mantener y reparar.

### **1.1.8 Importancia en la industria y aplicaciones**

Los GE son un elemento de gran importancia en muchas industrias y en sectores estratégicos de cada nación, pues su principal prestación que es la de suministrar energía eléctrica cuando no existe otra manera de disponer de electricidad, permite a los inversionistas y al personal encargado garantizar la utilidad de la empresa o negocio y, a su vez, acatar las normas establecidas respecto a la continuidad de la operación de los equipos.

Su uso más requerido es en sectores donde se necesita un suministro ininterrumpido de energía eléctrica tales como el sector financiero, el cual suele contar con edificios

corporativos que contienen un espacio exclusivo para un Data Center. Debido a la gran densidad de datos que manejan y a su operación en tiempo real, es indispensable contar con un servicio ininterrumpido en este sector.

Otro sector que demanda estas prestaciones es el sector salud, pues en hospitales de alta complejidad se cuentan con equipos muy costosos que requieren especial atención en la calidad de su suministro energético desde el punto de vista de la continuidad. Además, disponer de energía en todo momento mejora las probabilidades de vida de los pacientes más críticos.

El sector minero y el sector petrolero también requieren indispensablemente de grupos electrógenos debido a alta exigencia en sus metas de producción diaria. Son industrias que sencillamente no pueden detener sus operaciones, pues contribuyen en un mayor porcentaje al PBI del país.

## **1.2 Calidad de la energía eléctrica en una PTAP**

La eficiencia que una instalación posee para asegurar un funcionamiento óptimo de las cargas que la componen se le denomina como “calidad de la energía eléctrica”. Para ello, se presenta el concepto de “perturbación eléctrica”, los cuales involucran distintos fenómenos que producen anomalías en el voltaje, la corriente y/o en la frecuencia de operación. Dichas perturbaciones pueden producirse en las instalaciones de la planta, en el centro de consumo o pueden provenir de la misma concesionaria encargada del servicio

### **1.2.1 Indicadores de la calidad de la energía eléctrica**

La calidad de la energía eléctrica puede dividirse en 2 grandes formas:

La calidad del servicio de energía eléctrica: Referido a la cantidad de interrupciones que puede sufrir el servicio y a la mejora de estos estándares.

La calidad de la potencia eléctrica: Referido a los cambios en la frecuencia y en la amplitud de las señales de voltaje y corriente. También evalúa que tanto difieren estas señales de la forma sinusoidal ideal.

Tomando como base a lo mencionado, se pueden definir 5 variables que determinan la calidad de la energía eléctrica:

Amplitud

Frecuencia

La forma de la señal

El balance de las fases

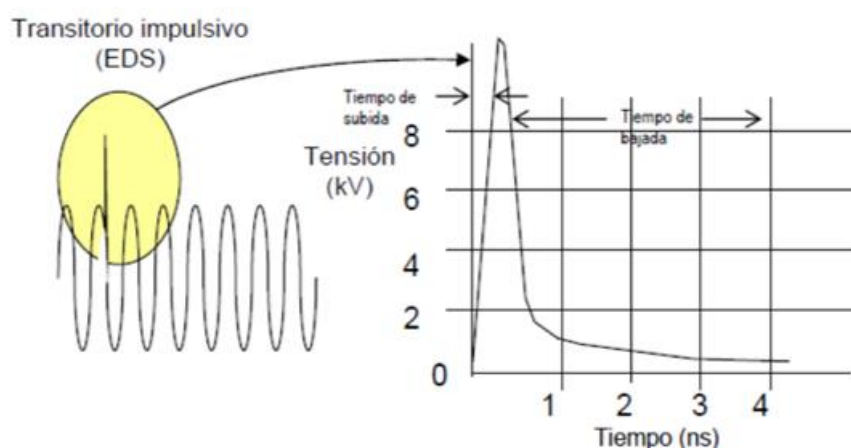
La continuidad

Basándose en las 5 variables anteriormente mencionadas, surgen varios tipos de disturbios que afectan al flujo de la corriente eléctrica. Según la norma IEEE 1159 de (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2019), estos disturbios son:

Transitorios: Pueden ser impulsos y también oscilaciones. Los transitorios de tipo impulsivo son los responsables del fenómeno de onda reflejada del cual se habla más adelante.

**Figura 23**

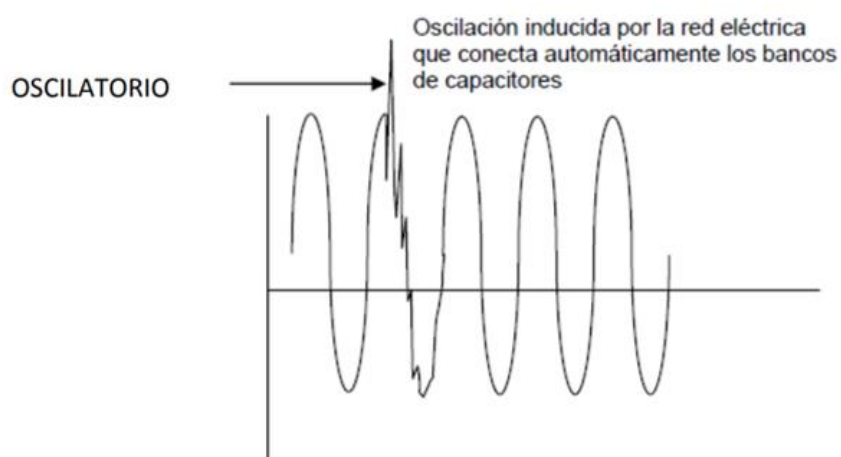
*Transitorio impulsivo*



*Nota.* Extraído de “Calidad de la energía eléctrica” (ANDI)

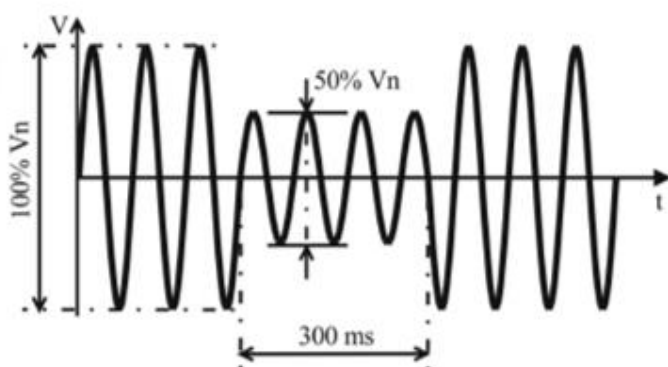
**Figura 24**

*Transitorio oscilatorio*

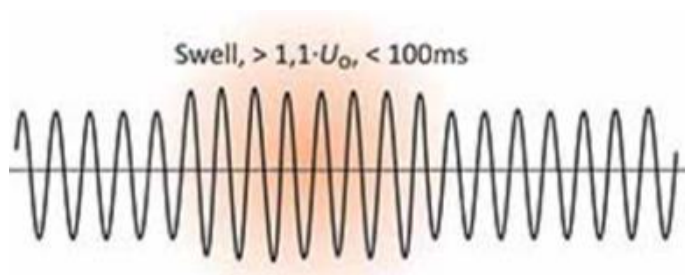


*Nota.* Extraído de “Calidad de la energía eléctrica” (ANDI)

Variaciones de corta duración: Se tiene a los “Sags” y a los “Swells”.

**Figura 25***Diagrama de un Sag*

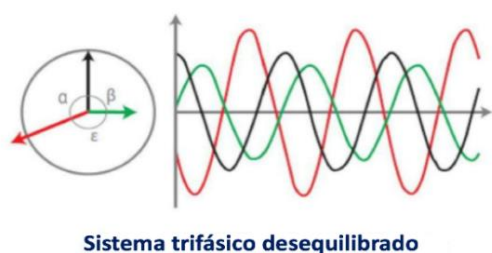
*Nota.* Extraído de “Calidad de la energía eléctrica” (ANDI)

**Figura 26***Diagrama de un Swell*

*Nota.* Extraído de “Calidad de la energía eléctrica” (ANDI)

Variaciones de larga duración: Pueden ser interrupciones, subtensiones y sobretensiones.

Desequilibrios de tensión: Este disturbio se genera cuando los ángulos de desfase entre los vectores que representan las tensiones no son iguales y cuando los módulos de estos mismos vectores tampoco lo son.

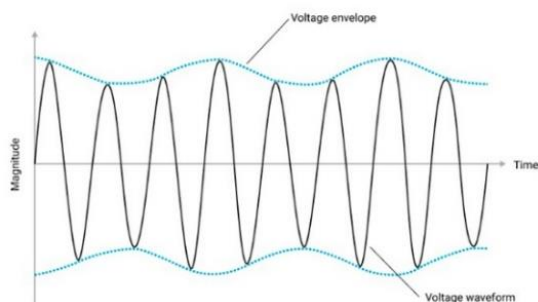
**Figura 27***Sistema desequilibrado***Sistema trifásico desequilibrado**

*Nota.* Extraído de “Calidad de la energía eléctrica” (ANDI)

Fluctuaciones de tensión: También llamados como “Flicker”. Se trata de una alteración en la forma de onda del voltaje o una sucesión de cambios de pequeña magnitud en los valores de esta misma onda. Cualquier carga que muestre cambios significativos en su corriente podrá ocasionar flickers. Un síntoma común es el parpadeo de las lámparas fluorescentes.

**Figura 28**

*Fluctuación de tensión o Flicker*



*Nota.* Extraído de “Calidad de la energía eléctrica” (ANDI)

Variaciones en la frecuencia: La variación de frecuencia no es usual en los sistemas de red pública; no obstante, cuando la localidad presenta una alimentación eléctrica deficiente o cuando sus generadores dedicados de reserva se encuentran saturados de cargas, estas variaciones de frecuencias pueden llegar a ocurrir

**Figura 29**

*Variación de frecuencia*



*Nota.* Extraído de “Calidad de la energía eléctrica” (ANDI)

Distorsión en la forma de onda: Este tipo de disturbios está referido a los armónicos eléctricos.

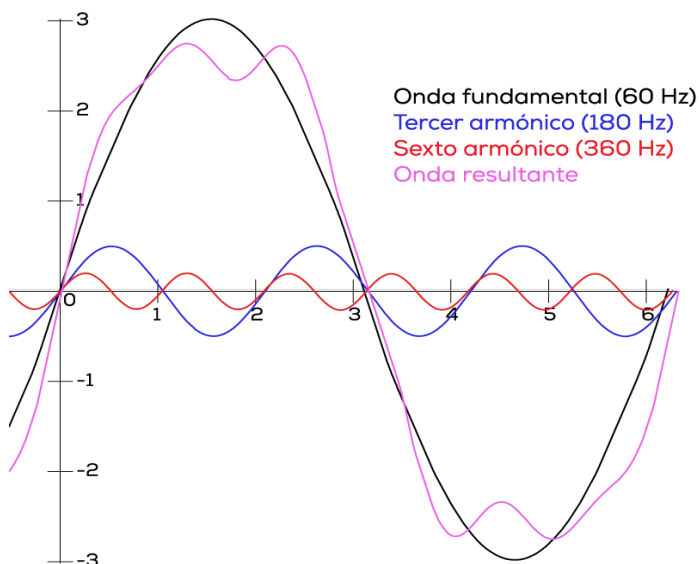
### **1.2.2 Armónicos eléctricos**

Los armónicos eléctricos se refieren a las alteraciones en la forma habitual de la onda sinusoidal de tensión y/o corriente que son ocasionadas por la presencia de cargas no lineales. El resultado es una forma de onda compuesta por la combinación de la onda fundamental de

tensión y/o corriente con múltiples ondas sinusoidales adicionales que poseen frecuencias con son múltiplos de la frecuencia fundamental.

**Figura 30**

*Distorsión armónica de una señal*



*Nota.* Extraído de Centro de Capacitación Eléctrica y Energías Alternas (CCEEA, 2022)

Como indican (Castañeda Martínez, Cruz Henriquez, & Mendez Recinos, 2008) los armónicos generalmente no son producidos por la empresa distribuidora, sino más bien son generados por los consumidores como cargas industriales no lineales. Si se da el caso que estos armónicos son una magnitud considerable, pueden llegar a afectar el sistema de potencia y a otros consumidores.

La IEEE 519-2022 de (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2022) define los límites armónicos dentro de un sistema de distribución eléctrica para asegurar el correcto funcionamiento u operación de los equipos. Es un estándar internacional para ajustar apropiadamente los límites armónicos (de voltaje y corriente) y diseñado para limitar los armónicos de las compañías suministradoras de energía, así como la contribución de los clientes hacia la red eléctrica que los alimenta. Por ejemplo, cuando un transformador este completamente cargado y la relación de cortocircuito con la carga sea de  $<20$ ; la tabla de la IEEE 519 establece que la distorsión de demanda total (TDD) debe estar por debajo del 5%. TDD es la distorsión de corriente calculada al momento de tener un nivel de carga (demanda) plena en el sistema eléctrico medido en el punto de acoplamiento común (PAC) y es la suma de todas las cargas.

**Figura 31**

*Límites de intensidades armónicas para sistemas entre 120V y 69 KV*

Maximum harmonic current distortion in percent of $I_L$						
Individual harmonic order <sup>b</sup>						
$I_{sc}/I_L$	$2 \leq h < 11^a$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
< 20 <sup>c</sup>	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20 < 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50 < 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100 < 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

*Nota.* Extraído de “Aspectos de calidad de energía y soluciones armónicas” (Trans-Coil Internacional, 2023)

Una distorsión del 8% está permitida en el punto de acoplamiento común (PAC), para aplicaciones o sistemas generales en baja tensión. El punto de Acoplamiento Común o PAC (PCC) es generalmente definido como el punto de conexión de la compañía que suministra la energía eléctrica y el cliente. Es en este punto donde se deben realizar las mediciones y se establecen los límites de distorsión según el estándar IEEE-519.

**Figura 32**

*Punto de acoplamiento común*



*Nota.* Extraído de “Aspectos de calidad de energía y soluciones armónicas” (Trans-Coil Internacional, 2023)

Para hospitales, aeropuertos, y/o edificios de gobierno, todas estas aplicaciones se consideran sistemas “especiales” y se permite o requiere máximo 3% de THD en voltaje en el PAC. El THD es la distorsión armónica total medida en una señal periódica distorsionada. La distorsión armónica total (THD) se puede medir, usualmente, en las terminales de entrada de un variador de frecuencia.

**Figura 33***Límites de distorsión de voltaje*

Bus voltage $V$ at PCC	Individual harmonic (%)	Total harmonic distortion THD (%)
$V \leq 1.0$ kV	5.0	8.0
$1$ kV $< V \leq 69$ kV	3.0	5.0
$69$ kV $< V \leq 161$ kV	1.5	2.5
$161$ kV $< V$	1.0	1.5 <sup>a</sup>

*Nota.* Extraído de “Aspectos de calidad de energía y soluciones armónicas” (Trans-Coil Internacional, 2023)

### 1.2.3 Generadores de armónicos en una PTAP

Se optó por entrar en un estudio más detallado de los armónicos eléctricos como parte de los fenómenos de disturbios eléctricos. Esta profundización se debe a que en una PTAP es común toparse con estas perturbaciones debido a la presencia de elementos electrónicos que son necesarios para el funcionamiento integral de toda la planta. Estos elementos son:

**1.2.3.1 Fuentes de alimentación conmutadas.** Abreviadas como SMPS (Switch Mode Power Supply). Son aquellas fuentes que alimentan los modernos equipos electrónicos de bajo voltaje y de corriente continua en una PTAP. Estos equipos pueden ser ordenadores de escritorio, laptops y dispositivos de instrumentación. Este tipo de fuentes vinieron en reemplazo de los transformadores pequeños de núcleo de hierro, debido a que estos transformadores presentaban un coste y un peso mayor a los SMPS y además que ofrecían menores potencias de alimentación.

Estos elementos en escaso número pueden no significar un inyectado de armónicos considerable a la red, pero en el caso de una PTAP será necesario realizar un análisis de cargas para determinar su influencia en proporción a los armónicos generados al accionar las cargas más grandes (bombas hidráulicas).

**Figura 34***SMPS de un ordenador de escritorio*

*Nota.* Extraído de CS Electrical & Electronics (CS Electrical & Electronics, s.f.)

**1.2.3.2 Sistemas de luminarias fluorescentes y led.** Los tubos de la luz fluorescente son altamente no lineales y generan principalmente armónicos de corriente impares también en el caso de los bombillos fluorescentes compactos.

La iluminación de tipo LED tiene ventajas en lo que respecta a la reducción de armónicos pues son de un consumo muy bajo.

**1.2.3.3 Sistemas de alimentación ininterrumpida.** Llamados también como UPS (Inuninterrupted Power Supply). UPS o SAI es un dispositivo que, gracias a sus baterías, permite mantener constante el suministro de alimentación eléctrica cuando hay un fallo por alguna anomalía en la red. Sirve, por tanto, para proteger los dispositivos que estén conectados a la red eléctrica y mantenerlos en funcionamiento. La presencia de armónicos aguas arriba en las instalaciones de seguridad que incorporan las UPS, son debidas al rectificador del mismo.

Mas adelante, al término del capítulo 2 de este proyecto se propondrá una alternativa de mejora a la planta de emergencia empleando un tipo particular de estos dispositivos.

### Figura 35

*Sistema de alimentación ininterrumpida*



*Nota.* Extraído de Todo Eléctrico (Mármol, 2022)

**1.2.3.4 Variadores de velocidad.** También llamados variadores de frecuencia o VFD (Variable Frequency Drive). Estos equipos se han vuelto un método estándar de arranque y control para todo tipo de máquinas que utilizan motores eléctricos. Los VFD son comúnmente utilizados el día de hoy en plantas de manufactura, plantas de tratamiento de agua, hospitales, campos petroleros, y casi en cualquier lugar donde se tengan motores eléctricos.

**Figura 36***Variadores de velocidad*

*Nota.* Extraído de Siemens (SIEMENS, 2019)

#### **1.2.4 Efectos de los armónicos en los equipos eléctricos**

Entre los problemas más comunes causados por la presencia de armónicos se tiene:

- Pérdidas mayores de potencia activa.
- Sobrecalentamiento en transformadores de distribución.
- Menor capacidad de los transformadores de distribución debido a los armónicos.
- Disparo y sobrecalentamiento en interruptores (breakers).
- Degradación o ruptura del aislamiento de las bobinas de los generadores.
- Problemas térmicos en motores.
- Sobretensiones en condensadores.
- Deterioro de los dieléctricos.
- Disminución de la vida útil de los equipos que afecta el VFD.

Las cargas no lineales al distorsionar la forma de la onda senoidal, desencadena varios problemas en la calidad de la energía donde se ven afectados las máquinas y los elementos de conducción, por ejemplo, por cada amperio en la quinta armónica se genera hasta 5 veces más calor que un amperio en la corriente fundamental.

La distorsión armónica excesiva causará múltiples cruces por cero de la forma de onda de corriente, afectando la sincronía del regulador de voltaje (AVR) del grupo electrógeno. Finalmente, esto causaría que el generador detenga su operación. Para que el generador pueda arrancar con VFD a un motor eléctrico, en caso que la instalación no cuente con filtro de armónicos de línea que asegure un THDi menor al 5%, entonces la potencia nominal del GE deberá ser mayor o igual a 3 veces la potencia nominal de la carga. En caso que la instalación esté equipada con filtro de armónicos pasivo que garantice THDi menor al 5%, entonces será suficiente que la potencia nominal del GE sea entre 1.5 veces la potencia nominal de la carga.

Hablando específicamente de los VFD, como indica (Trans-Coil Internacional, 2023), estos equipos trabajan con una modulación por ancho de pulsos (PWM), es decir, que pueden emular un ciclo con la forma de una onda senoidal mediante varios pulsos estrechos o algunos pulsos anchos. Sin embargo, para generar una forma de onda conteniendo más pulsos, los dispositivos de conmutación en el inversor deberán conmutar de manera más frecuente. La relación a la que estos dispositivos operan o conmutan se llama frecuencia de conmutación o frecuencia portadora. Es debido a este mecanismo de funcionamiento donde surge el denominado “fenómeno de onda reflejada” la cual está en función del tiempo de conmutación o “rise time” ( $dV/dt$ ) y la longitud de los cables hacia el motor. Debido a la diferencia de impedancias entre el VFD y el motor, surgen pulsos de voltaje que son reflejados en la dirección en la que llegaron. Al momento en que estas ondas se encuentran con otras, sus valores se suman, causando picos de voltaje tan altos que bordean los 1600 V. Dependiendo del nivel de aislamiento del motor, esto puede causar un deterioro paulatino o veloz del mismo dentro del motor hasta su eventual falla o daño. Inclusive puede causar daño de aislamiento en las terminales del motor.

El  $dV/dt$  (y, por tanto, los picos de voltaje) vendrá afectado por: La distancia del cable, la frecuencia de conmutación, la impedancia del motor, el tamaño del cable y su tipo. Con el tiempo, esta corriente que fluye a través de los rodamientos y hacia la carcasa causa un arco y ciertas fisuras en las pistas de los baleros o rodamientos, teniendo un incremento de ruido y vibración errática o excesiva, altas temperaturas de operación y, finalmente, un daño prematuro.

La rápida transición  $dV/dt$  en los IGBTs del VFD, incrementan la posibilidad de tener un ruido eléctrico de modo común (CM noise). Este ruido de modo común es un tipo de ruido eléctrico que puede inducir o interferir con señales inclusive aquellas con referencia a tierra. Este ruido eléctrico proveniente de la operación del drive puede interferir en equipo electrónico sensible cercano a la instalación del VFD.

La  $dV/dt$  y la  $dI/dt$  de las corrientes y ruidos circulando en los sistemas de tierra pueden acoplarse en ciertas señales y circuitos lógicos, causando una operación errática y un posible daño. Cuando las técnicas de aterrizado convencionales no funcionan, se deben emplear técnicas de adhesión de alta frecuencia.

Otro problema es el incremento del “efecto piel” (las frecuencias más altas causan que los electrones fluyan en la cara exterior del conductor). Esto reduce la habilidad del conductor para poder transportar mayor corriente debido a la reducción del diámetro en la sección transversal del mismo obteniendo finalmente, una reducción en el tamaño de la capacidad (ampacidad) del conductor, adicionando mayor calor. Estos incrementos de calor en las máquinas debido a las corrientes armónicas causan que los transformadores fallen. Los incrementos en las pérdidas del hierro y el cobre (o corrientes de Eddy) debido a pérdidas por dispersión de flujo, causan también sobrecalentamiento excesivo. La NEC establece que un incremento en calor de 7 a 10 grados puede causar un deterioro del aislamiento de la  $\frac{1}{2}$  de su vida útil. También hay que señalar que la capacidad del transformador disminuye al 52% para alimentar a los VFD de 6 pulsos. La máxima carga que un transformador debe experimentar es del 52% para alimentar a los VFD con reactor de línea del 3% (limitado por la temperatura de los devanados). Así mismo, las componentes de voltaje en altas frecuencias producirán una histéresis adicional y pérdidas de corrientes de Eddy en el estátor de los motores de CA. Estas pérdidas incrementarán la temperatura de operación de los devanados y la carcasa del motor y pueden ocasionar pulsaciones de par (torque) no deseadas.

La distorsión armónica tiene un efecto directo en el factor de potencia. Las pérdidas de calor generadas por los armónicos trasladan al uso y pago adicional de potencia reactiva por parte de la compañía suministradora de energía.

Los capacitores (para corrección de factor de potencia) son la menor ruta de impedancia para los armónicos, quienes fallarán de manera prematura en situaciones de alto contenido armónico. La corriente armónica puede causar que los capacitores fallen y/o que exploten.

#### **1.2.5 Filtro de armónicos**

Son equipos que se encargan de mitigar la aparición de los armónicos generados por las cargas no – lineales las cuales pueden estar presentes en un centro de consumo. Los filtros de armónicos son indispensables para conservar la integridad de los equipos y también disminuyen de manera considerable el consumo energético total de una planta.

Básicamente, existen 2 tipos de filtro de armónicos:

- Filtros activos: Son generadores de corrientes armónicas opuestas a las existentes en la red, que al interactuar una con la otra, consiguen anularse entre sí. Este tipo de filtros requiere de una fuente de alimentación y son adecuados para aplicaciones de baja potencia y de media y baja frecuencia.
- Filtros pasivos: Son circuitos que seleccionan ciertos tipos de frecuencias y están conformados solo con elementos pasivos (resistencias, condensadores e inductancias). Este tipo de filtros no requiere de una fuente de alimentación y son adecuados para aplicaciones de media y alta potencia y en aplicaciones que implican altas frecuencias.

Mas adelante, en la sección final del capítulo dos, se entrará más en detalle sobre los tipos de filtros y sus bondades.





## Capítulo 2

### Desarrollo, implementación y análisis de la metodología

En este segundo capítulo se aplicarán los conceptos presentados en el marco teórico para el desarrollo de la metodología. Luego de una apropiada identificación del problema, se establecerán las bases técnicas para iniciar con la elaboración e implementación de alternativas de solución que satisfagan las futuras implicancias de demanda energética involucradas en este proyecto de ampliación de la capacidad de la PTAP Sullana (de 600 l/s a 1200 l/s), tanto para un sistema simplificado como para un sistema completo.

Así mismo, esta metodología será sujeta a una interpretación de resultados luego de ser aplicada a escala en un proyecto ya operativo (el sistema de emergencia de los pozos N° 02 y N° 03 del Boulevard Park Plaza Miraflores Country Club) con el fin de afirmar sus bases, permitiéndole convertirse en un recurso de solución ante cualquiera de los proyectos afines que más adelante puedan surgir en la región.

Como complemento de la selección optimizada de equipos de emergencia que nos confiere la metodología de este proyecto, se debatirán algunas propuestas para la mejora de la calidad de la energía eléctrica y de la operatividad en el centro de consumo de una PTAP Sullana ya ampliada, y el impacto positivo que generaría su correcta aplicación tanto en un nivel económico, ambiental y social.

#### 2.1 Identificación de la necesidad

Un rasgo inherente a los grupos electrógenos, como equipos propios de las industrias más estratégicas, es el uso extensivo y variado que se les puede dar a sus prestaciones, las cuales muchas veces son de naturaleza imprescindible. Debido a ello, se procede a mencionar algunos antecedentes respecto a estos usos antes de iniciar con el enfoque específico del problema a tratar en este proyecto.

##### 2.1.1 Antecedentes

Los sistemas de suministro eléctrico de emergencia son cada vez más solicitados en diversas áreas de la industria, siendo los grupos electrógenos de motor diésel y generador síncrono los de mayor autonomía y potencia. Consecuencia de ello, se han desarrollado trabajos de investigación y tesis que ahondan en este tipo de soluciones para distintas aplicaciones y buscan optimizar el desempeño de estos equipos mediante un correcto dimensionamiento y selección. De estos trabajos se tienen principalmente:

(Silva Vigo, 2018) realiza en este caso un trabajo de investigación para dimensionar y calcular el sistema de emergencia del hospital de Chala II – Arequipa. El autor argumenta que en la localidad los cortes de la energía eléctrica son recurrentes y, como consecuencia, genera deficiencias en el servicio de los diferentes establecimientos de salud

Agrega a su argumento que estos cortes pueden llegar a averiar los costosos equipos médicos y también poner en riesgo la integridad y la vida de las personas. Mediante una investigación de tipo descriptiva y aplicada, ofrece una solución que garantice un sistema optimizado de energía ininterrumpida, valiéndose de cálculos propios en base a la información del expediente técnico del proyecto de construcción del mencionado hospital y a las especificaciones técnicas de los diferentes equipos ofrecidos en los catálogos de los proveedores.

Siguiendo con la línea del sector salud, (Arenas Alegría, 2019) determina que el país de México no cuenta con un protocolo adecuado de selección e instalación de GE, que se rija a las normas nacionales e internacionales, y que a su vez ofrezca una solución específica y práctica ante las necesidades surgidas durante la instalación de los equipos. Por lo tanto, el autor propone una metodología de selección que satisface las necesidades de instalación y operación que demanda cada área, sustentando así la inversión de estos equipos en la construcción de cualquier hospital del país.

(Bosch Fuentes & Jiménez Muñoz, 2016) proponen en su proyecto de investigación una selección de un grupo motogenerador con su respectivo tablero de transferencia para un edificio corporativo ubicado en la delegación Cuauhtémoc de Ciudad de México. Los autores señalan que para este edificio en específico es imprescindible contar con un suministro ininterrumpido de energía debido a la alta densidad de información que se maneja en tiempo real y la cual necesita de un monitoreo permanente. Para casos como los de este edificio donde se maneja un Data Center, el no cumplir con este requisito de suministro continuo de energía puede significar grandes pérdidas económicas para los inversionistas. Así mismo, los autores manifiestan que también se busca cumplir con el requisito debido a temas de disposición normativa de evacuación segura del personal en caso de contingencia.

(Cuenca Churo & Enríquez Guillén, 2012) en su investigación proponen un sistema de emergencia correctamente dimensionado para el Campus Girón de la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Quito que satisfaga todos los requerimientos de energía eléctrica tanto del personal administrativo como del personal docente durante la totalidad de sus jornadas laborales. También presentan un análisis económico a corto y mediano plazo junto con un informe de factibilidad del proyecto.

(Flores Marcelo, 2015) elabora un análisis estadístico de los parámetros de funcionamiento de los sistemas de generación eléctrica de una refinería de hidrocarburos ubicada en Iquitos con el fin de optimizar la gestión del mantenimiento de los mismos. Al término del proyecto se logró establecer indicadores tales como: disponibilidad, mantenibilidad, confiabilidad, tasa de fallas, tasa de reparación, tiempo medio para reparar y tiempo medio entre fallas; siendo todo registrado por los operadores de los GE en intervalos de cada 2 horas durante una muestra de análisis de 2 años.

### **2.1.2 Análisis del historial de las interrupciones eléctricas en el alimentador A1014 de la provincia de Sullana**

Idealmente el proceso de potabilización del agua debería ser ejecutado de manera ininterrumpida. Sin embargo, existe una gran variedad de situaciones donde el suministro de energía eléctrica de la red pública se ve afectado y no es posible desempeñar este proceso de manera continua. Según (MINEM, 2011) estas interrupciones de energía pueden ser ocasionadas mediante 3 tipos de eventos:

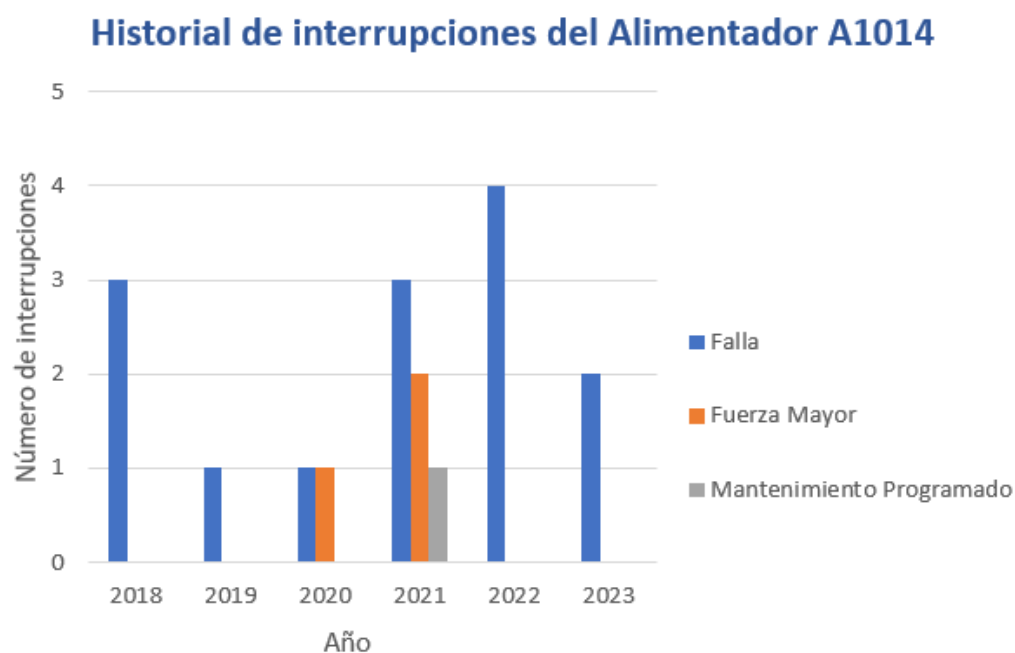
- Evento de fuerza mayor. Son aquellos eventos cuya ocurrencia escapa del control de la concesionaria encargada del servicio. Estos eventos pueden darse debido a: Actos vandálicos, impacto de vehículo contra estructura, obras de construcción, fenómenos naturales (principalmente por los FEN del norte del Perú), accidente de trabajo, hurto de conductor y/o equipos eléctricos, poda o tala de árboles, incendio aledaño, solicitud de autoridades, cortocircuito por animales y por eventos no – tipificados.
- Evento por avería. Estos eventos se ocasionan debido a un fallo de los elementos de la red de distribución eléctrica. Estos eventos son responsabilidad de la concesionaria. Las causas más comunes son: Mal dimensionamiento de conductores, fallas en transformadores por mantenimientos deficientes y por incumplimiento de la distancia mínima de seguridad (DMS).
- Interrupciones programadas. Puede ser un mantenimiento o también un trabajo de ampliación de redes, debidamente programado y notificado a los clientes con una antelación mínima de 48 horas. Se establecen horarios estrictos de inicio de fin de este tipo de mantenimiento. Los mantenimientos programados que las concesionarias de distribución ejecutan, son actividades para dar sostenimiento a las instalaciones eléctricas o de otras áreas, estas se ejecutan siguiendo un plan de mantenimiento anual, pueden ser de mantenimiento programado predictivo o preventivo.

Para energizar a la PTAP Sullana, se solicitó a ENOSA la implementación de un alimentador de uso exclusivo para la planta. En la actualidad este alimentador viene a ser el “A1014”. Una gran ventaja de contar con un alimentador exclusivo es la alta calidad del servicio de energía eléctrica referido a la cantidad de interrupciones que puede sufrir el servicio y a la potencial mejora de estos estándares.

A continuación, se presenta el historial de las interrupciones eléctricas del alimentador A1014 durante el transcurso de los últimos 5 años:

**Figura 37**

*Historial de interrupciones del alimentador de la PTAP Sullana*



*Nota.* Extraído de Electronoroeste (Saavedra Carreño, 2023)

Como se muestra en la Figura 37, en el transcurso de los últimos 5 años, se han producido un total de 18 interrupciones del servicio eléctrico. De este total de interrupciones, 14 han sido por avería, 3 por fuerza mayor y 1 corte por mantenimiento programado.

Los valores de esta estadística definen un índice de alta calidad de la energía eléctrica desde el punto de vista de las interrupciones, como era de esperarse; sin embargo, al igual que en el caso de un Data Center o de un hospital de alta complejidad, es necesario que la PTAP Sullana cuente con un suministro ininterrumpido de energía de acuerdo a las estrictas normas de los organismos competentes.

### **2.1.3 Regimiento a la normativa de la calidad del agua potable en el Perú**

La PTAP Sullana como planta perteneciente EPS Grau S.A, está sujeta a un riguroso y permanente monitoreo de la calidad del servicio. Este monitoreo evalúa las prestaciones desde el punto de vista de la continuidad del abastecimiento al consumidor y desde el punto de vista del regimiento a las normas sanitarias emitidas por la autoridad de salud.

Según el artículo 8° del Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, (MINSa, 2010), las principales entidades responsables de la gestión de la calidad del agua son:

- Ministerio de salud.
- SUNASS (Superintendencia nacional de servicios de saneamiento).
- MVCS (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento).

El artículo 29° menciona que Ministerio de Salud es el encargado de ejecutar la fiscalización sanitaria. Este proceso verifica, sanciona e instaure medidas de seguridad y sancionadoras ante los incumplimientos de las normas sanitarias establecidas en el reglamento.

Según el artículo 11°, la SUNASS ejecuta la gestión de la calidad del agua para consumo a través de la formulación de estrategias de supervisión del cumplimiento de las normas sanitarias y también tiene la facultad de notificar a la autoridad de salud sobre los incumplimientos que puedan incurrir las distintas EPS.

Para el caso del MVCS, el artículo 10° le permite aplicar las normas sanitarias del reglamento a sus proyectos de abastecimiento, así como también le autoriza la fomentación de las condiciones necesarias para el acceso al servicio, en especial, para los sectores más necesitados.

Desde punto de vista de la continuidad de abastecimiento al usuario, el Reglamento de Calidad de la Prestación de Servicios de Saneamiento, (SUNASS, 2007), dicta en el artículo 76° que, en caso de una interrupción del servicio en un tiempo mayor a 18 horas, deberán abastecer a los usuarios afectados con camiones cisterna. Así mismo, si la interrupción afecta a hospitales, estaciones de bomberos y cárceles, entonces deberán abastecer a estos usuarios luego de transcurridas las 6 horas de interrupción.

Según el Reglamento General de Fiscalización y Sanción, (SUNASS, 2007), existen 3 situaciones sancionables referidas a la interrupción del servicio:

- Al no abastecer con cisternas a los usuarios afectados. El monto de la multa es variable y se rige a una fórmula que está en función del número de usuarios afectados, el número de días sin el servicio entre otras variables que son de profundo análisis.
- No comunicar sobre las interrupciones a la SUNASS dentro de los plazos establecidos. Esta multa es fija y el monto a pagar puede ser de entre 1 UIT hasta 8 UIT dependiendo de las conexiones de agua potable con las que cuenta la EPS.
- No informar a los usuarios sobre la causa de la interrupción y el momento de reanudación del servicio. Esta multa es fija y el monto a pagar puede ser de entre 0.20 UIT hasta 4.88 IUT dependiendo de las conexiones de agua potable con las que cuenta la EPS.

#### **2.1.4 Rol de los grupos electrógenos en las PTAP**

Los grupos electrógenos desempeñan roles en muchos niveles en lo que concierne a las PTAP en general. El primer rol que se saca a colación es el más inmediato, y es el de permitir el acatamiento exitoso del artículo 70° del Reglamento de Calidad de la Prestación de Servicios de Saneamiento, el cual exige a las PTAP el contar con grupos electrógenos que puedan alimentar a sus equipos en caso de existir un riesgo de corte del fluido eléctrico.

El rol subsiguiente es el de conferirle continuidad al servicio de abastecimiento al consumidor, pues, los grupos electrógenos hacen frente a las situaciones de falla de las redes públicas que puedan afectar el proceso de potabilización del agua. Cabe resaltar que, en una PTAP, este proceso de potabilización está diseñado para funcionar de manera continua; dicho proceso solo puede reducir su capacidad mas no puede detenerse. Los cortes programados tampoco son condición de paralización de las operaciones de una planta ya que el artículo 70° también exige contar con equipos de funcionamiento alterno y/o reserva durante la ejecución del programa de mantenimiento de los motores y las bombas.

La implementación de un sistema de emergencia también contribuye al cumplimiento de estándares de la calidad del agua para consumo humano desde el punto de vista de la salubridad, pues como se mencionó anteriormente, las PTAP están diseñadas para un funcionamiento continuo en todas las etapas del proceso. Desde la captación del agua, su pretratamiento (paso a través de rejas y desarenadores), coagulación, floculación, decantación, filtrado y desinfección, es imprescindible contar con un caudal que asegure el movimiento constante del fluido a través de las secciones de la planta para ejecutar con éxito cada etapa de la potabilización. Las zonas de la PTAP Sullana que llevan a cabo estos procesos se pueden visualizar con más detalle en el Apéndice F. Un corte de energía eléctrica se traduce en pérdidas de la confiabilidad de estos procesos físico – químicos de purificación, es decir, los límites máximos permisibles de los parámetros microbiológicos, parasitológicos, organolépticos, radioactivos, químicos orgánicos e inorgánicos podrían verse superados, poniendo en peligro tanto a los intereses de la EPS como la salud de la población en general.

## **2.2 Identificación de las cargas en una PTAP**

Antes de iniciar con el proceso de identificación de las cargas presentes en una PTAP, es necesario determinar con precisión los tipos de cargas que alimentarán los GE. Estos tipos de cargas serán:

### **2.2.1 Cargas lineales**

En este grupo de cargas se puede considerar principalmente a los motores clásicos tales como las bombas hidráulicas y los motores eléctricos. Estos equipos son los que consumirán, por lejos, la mayor cantidad de potencia de la PTAP. Este tipo de cargas pueden ser representadas como una resistencia.

### **2.2.2 Cargas no lineales**

Son aquellas cargas que absorben corriente con forma no sinusoidal, es decir que su impedancia cambia de acuerdo el voltaje aplicado. Los equipos que representan cargas no lineales son las fuentes de alimentación conmutadas, los sistemas de luminarias fluorescentes y led, los sistemas de alimentación ininterrumpida, los variadores de velocidad y los sistemas modernos de aire acondicionado.

Para el caso de la PTAP Sullana las cargas no lineales que son de consideración serán las generadas por los VFD debido a que se encargarán de arrancar y accionar a las bombas hidráulicas (las cuales representan más del 85% de la demanda total de energía en toda la PTAP). Las perturbaciones generadas por las demás cargas no lineales (las luminarias led, los UPS y las fuentes de alimentación conmutadas) no serán consideradas en este proyecto debido a su valor despreciable en comparación a las perturbaciones generadas por los VFD.

### **2.3 Dimensionamiento de la planta de emergencia de la PTAP Sullana**

Para realizar el dimensionamiento de la planta de emergencia, en primer lugar, se establecerán dos distintos sistemas de cargas:

- Sistema simplificado: En este sistema no se considerarán a los VFD como equipos de arranque y accionamiento de las bombas hidráulicas. Se le denomina “simplificado” porque no existirá inyección considerable de armónicos al sistema debido a la ausencia de los VFD. En su lugar, se optará por un arranque directo puro.
- Sistema completo: En este sistema se tomará a los VFD como equipos de arranque y accionamiento de las bombas hidráulicas. Además, serán considerados en el cuadro de cargas los filtros de armónicos pasivos necesarios para mitigar las perturbaciones que surgen durante toda la operación de los VFD.

#### **2.3.1 Identificación de las cargas**

Inicia el proceso de identificación según el tipo de sistema.

**2.3.1.1 Identificación de las cargas para un sistema simplificado.** En el proyecto de ampliación de la PTAP Sullana se identifican las siguientes cargas:

- Electrobombas de turbina vertical: Se contarán con 4 bombas de 500 HP para el reservorio N°1, N°3, N°5, N°7 y N°8; 4 bombas de 200 HP para el reservorio N°2, 2 bombas de 200 HP para el reservorio N°6 y 3 bombas de 100 HP para el reservorio N°4.
- Electrobombas horizontales para estación de bombeo para emergencia: Se contará con 1 bomba de 200 HP y 3 bombas de 100 HP.
- Tableros eléctricos: Se contará con 1 tablero para cisterna de bombeo, 2 tableros para pre y post cloración, 2 tableros para abastecimiento de agua potable para la PTAP con equipo de bombeo de 25 HP, 1 tablero para planta de tratamiento de lodos, 1 tablero para sala de dosificación, 1 tablero para reservorio elevado, 1 tablero para dosificación de espesamiento de lodos, 2 tableros para bomba de lodos (equipos de bombeo de 15 HP c/u), 2 tableros para bomba de lodos (equipos de bombeo de 7.5 HP c/u), 1 tablero para sala de cloración, 1 tablero para planta de lodos, 1 tablero para sala de laboratorio, 1 tablero para administración y comedor, 1 tablero para aire acondicionado de la administración y comedor, 1 tablero para taller de maestranza y

almacén, 4 tableros para vigilancia, 1 tablero para vestuario, 1 tablero para UPS – SCADA y 1 tablero para la estación de emergencia.

- **Actuadores:** Se contarán con 93 actuadores para válvula mariposa (31 para c/u de los 3 módulos), 12 actuadores de compuerta (4 para c/u de los módulos), 24 actuadores de válvula compuerta (sedimentadores), 2 actuadores de válvula DN 900 mm (sedimentador), 3 actuadores de compuerta (caja de repartición de agua cruda), 1 actuador de válvula compuerta (caja de repartición de agua cruda), 8 actuadores de compuerta (cámara de contacto de cloro N°1 y N°2), 2 actuadores de válvula mariposa (cámara de contacto de cloro N°1 y N°2), 2 actuadores de válvula mariposa (cisterna de bombeo N°1 y N°2) y 6 actuadores de válvula compuerta (planta de lodos).
- **Bombas hidráulicas secundarias:** Se contarán con 2 bombas para agua de lavado (planta de tratamiento de lodos), 2 bombas de lodos (planta de tratamiento de lodos), 2 bombas de tornillo excéntrico (planta de tratamiento de lodos), 4 bombas de dosificador de sulfato de aluminio, 2 bombas de dosificador de sulfato de cobre, 2 bombas de dosificador de polímero, 2 bombas de lodos (cisterna de lodos) y 1 bomba de sistema contra incendio.
- **Cargas secundarias:** Se tienen 5 polipastos eléctricos (2 para cisterna de bombeo, 1 para planta de tratamiento de lodos y 2 para cámara de cloración), 5 medidores de caudal (2 para caudal de lodos, 2 para caudal de polímeros y 1 para bomba de lodos), 4 sensores de presión, 2 compresores para planta de tratamiento de lodos, 8 agitadores (4 para solución de polímero, 2 para sulfato de aluminio y 2 para solución de sulfato de cobre), 45 luminarias exteriores entre otras cargas que se detallan en el Apéndice 1.

**2.3.1.2 Identificación de las cargas para un sistema completo.** Para el caso de un sistema completo, se considerarán las mismas cargas del sistema simplificado, pero adicionando a los variadores de velocidad y sus correspondientes filtros de armónicos. Se tendrán un total de 17 VFD y 17 filtros de armónicos pasivos. Se detallan todas las cargas en este sistema en el Apéndice 3.

### **2.3.2 Determinación de la potencia**

Inicia el proceso de determinación de la potencia según el tipo de sistema.

**2.3.2.1 Determinación de la potencia en un sistema simplificado.** El cálculo detallado de la determinación de la potencia para este sistema se encuentra en el Apéndice 1 y 2 de este proyecto. La potencia en máxima demanda será de 2539.27 kW y la potencia máxima en régimen permanente será de 2116.87 kW.

**2.3.2.2 Determinación de la potencia en un sistema completo.** El cálculo detallado de la determinación de la potencia para este sistema se encuentra en el Apéndice 3 y 4 de este

proyecto. La potencia en máxima demanda será de 2612.44 kW y la potencia máxima en régimen permanente será de 2190.03 kW.

### 2.3.3 Selección del tipo de operación

En esta etapa, se determinará el tipo de ordenamiento de la planta de emergencia. Desde el punto de vista del ordenamiento se pueden establecer dos tipos de operación, los cuales son: Operación individual y operación en paralelo.

Para establecer el tipo de ordenamiento más conveniente a la PTAP Sullana, es necesario realizar un cálculo previo de la potencia en régimen de arranque y régimen continuo de los grupos electrógenos.

**2.3.3.1 Cálculo de la potencia en régimen de arranque.** La potencia máxima en régimen de arranque se presenta cuando la carga mayor de la PTAP es arrancada al final de todas, es decir, cuando se arranque a lo último a una bomba de 500 HP. Se realizará este cálculo tanto para un sistema simplificado como para uno completo.

- Para un sistema simplificado:

$$P_{\text{stand-by arranque}} = (P_{\text{máx demanda-RP}} - P_{\text{bomba 500 HP-RP}}) + f_{\text{a. directo puro}} * P_{\text{bomba 500 HP}}$$

$$P_{\text{stand-by arranque}} = (2116.87 \text{ kW} - 302.86 \text{ kW}) + 3.0 * 372.80 \text{ kW}$$

$$P_{\text{stand-by arranque}} = 2932.41 \text{ kW}$$

(Provejec, 2019) indica que para el caso de un arranque directo puro debe emplearse factor ( $f_{\text{arranque directo puro}}$ ) equivalente a 3.

- Para un sistema completo:

$$P_{\text{stand-by arranque}} = (P_{\text{máx demanda-RP}} - P_{\text{bomba 500 HP-RP}}) + f_{\text{arranque VFD}} * P_{\text{bomba 500 HP}}$$

$$P_{\text{stand-by arranque}} = (2190.03 \text{ kW} - 302.86 \text{ kW}) + 1.3 * 372.80 \text{ kW}$$

$$P_{\text{stand-by arranque}} = 2371.81 \text{ kW}$$

(Provejec, 2019) indica que para un arranque por variador de velocidad con filtro de armónicos pasivo el factor de arranque ( $f_{\text{arranque FAP}}$ ) se encuentra en un rango de entre 1.3 y 1.5. En el caso de los equipos empleados para arrancar la bomba de 500 HP indicados en el Apéndice 3, los cuales son un variador “Siemens 6SL3220-3YE60-0CF0” y un filtro de armónicos “TCI HarmonicGuard® Passive” este factor de arranque será igual a 1.3 debido a la alta calidad de estos equipos.

**2.3.3.2 Cálculo de la potencia del GE desde un régimen continuo.** Los cortes de energía pueden durar más de 12 horas debido a eventos de fuerza mayor, avería o mantenimiento programado de las líneas de media tensión. En el caso de los fenómenos naturales como el FEN, la potencia de los grupos electrógenos tiene que estar calculada para cubrir la necesidad inclusive en esas condiciones de fuerza mayor que es cuando más necesita

agua la población. Se realizará este cálculo tanto para un sistema simplificado como para uno completo.

- Para un sistema simplificado:

$$P_{\text{stand-by requerida desde un COP}} = \frac{P_{\text{máxima de régimen permanente}}}{f_{\text{COP}}}$$

$$P_{\text{stand-by requerida desde un COP}} = \frac{2116.87 \text{ kW}}{0.78}$$

$$P_{\text{stand-by requerida desde un COP}} = 2713.93 \text{ kW}$$

Según (Cummins, 2017) para un GE de 2500 kW, su factor de operación en régimen de potencia continua ( $f_{\text{COP}}$ ) es igual a 0.78. Por lo tanto, se toma este valor como referencia para el factor COP de los GE de este proyecto. Para más información de esta ficha técnica, visualizar el Anexo B

- Para un sistema completo:

$$P_{\text{stand-by requerida desde un COP}} = \frac{P_{\text{máxima de régimen permanente}}}{f_{\text{COP}}}$$

$$P_{\text{stand-by requerida desde un COP}} = \frac{2190.03 \text{ kW}}{0.78}$$

$$P_{\text{stand-by requerida desde un COP}} = 2807.73 \text{ kW}$$

La potencia Stand - By total de los grupos electrógenos debe cubrir los 2 requerimientos tanto en régimen de arranque como en régimen continuo; por lo tanto, para un sistema simplificado deberá la potencia del GE deberá ser mayor a 2932.41 kW, mientras que para un sistema completo deberá ser mayor a 2807.73 kW.

Considerando el elevado costo de un GE mayor a 2000 kW que pueda suministrar energía a la PTAP Sullana y considerando también el grado medio de simultaneidad de operación en sus cargas, conviene por lejos decantarse por la opción de una operación en paralelo en ambos tipos de sistemas.

#### **2.3.4 Selección de modelos**

Se seleccionarán modelos de GE para una operación en paralelo y que, a su vez, puedan encontrarse en el mercado peruano. Esta operación en paralelo estará conformada por 4 grupos electrógenos

- Para un sistema simplificado:

Para este sistema se repartirán la carga de 2932.41 kW en 4 partes iguales. Entonces, se dispondrá de 4 grupos generadores de 733.1 kW de motor PERKINS 4008TAG2 y alternador Stamford, módulo de control DSE, configurable a 220 / 380 / 440VAC, 60Hz.

- Para un sistema completo:

Para este sistema se repartirán la carga de 2807.73 kW en 4 partes iguales. Entonces, se dispondrá de 4 grupos generadores de 704 kW de motor DOOSAN DP222LBF y alternador Stamford, módulo de control DSE, configurable a 220 / 380 / 440VAC, 60Hz.

### **2.3.5 Selección de tableros**

El caso real del proyecto de la ampliación de la PTAP Sullana corresponde al sistema completo, por lo tanto, se procede a hacer el cálculo del tablero de transferencia automática (TTA). Cabe resaltar que este TTA también ejecuta funciones de un tablero de sincronismo.

$$I_L = \frac{704 \text{ kW}}{\sqrt{3} * 0.44 \text{ kV} * 0.8} * f_d$$

$$I_L = 1154.7 \text{ A} * 1.2$$

$$I_L = 1385.64 \text{ A}$$

Al contar con 4 grupos electrógenos, se multiplica por 4 a esta corriente de línea hallada, obteniendo 5542.56 A. Esta corriente es la que se necesitará para el interruptor termomagnético motorizado del tablero de transferencia. Según (ABB, s.f.), el modelo comercial más próximo a esta corriente es el de 6300 A. Por lo tanto, se selecciona un tablero de transferencia automática de 3x6300 A, de 440 VAC con módulo DSE8660 MKII.

## **2.4 Desarrollo de metodología para cálculo y selección de la planta de emergencia en una PTAP**

Se enumerarán los pasos a seguir para cada tipo de sistema. Es importante establecer el método de arranque que se va a emplear. Posteriormente se debe realizar el cálculo de potencia máxima en régimen de arranque y en régimen continuo de manera que los valores obtenidos puedan adaptarse a las potencias de los grupos electrógenos que ofrece el mercado.

### **2.4.1 Desarrollo de metodología para un sistema simplificado**

- Paso 1: Identificación de las cargas.
- Paso 2: Realizar un cuadro de cargas y determinar la potencia de cada una de las cargas durante su arranque y durante su punto de operación estable.
- Paso 3: Hallar la suma de todas las cargas durante su arranque y durante su punto de operación estable. Para ello, se utilizará el cuadro de cargas previamente elaborado.
- Paso 4: Elección del método de arranque. Según (Provejec, 2019) el factor de arranque para un arranque directo puro es igual a 3. Para una configuración estrella – triángulo el factor de arranque es igual a 1.8. Y para un soft starter el factor corresponde a 2.5.
- Paso 5: Una vez definido el método de arranque que se empleará, se debe realizar el cálculo de potencia máxima del grupo electrógeno en régimen de máxima demanda y

en régimen continuo. Para ello, se utilizarán las potencias obtenidas en el paso 3. El valor obtenido de estos 2 regímenes que sea mayor, es el valor que definirá el modelo del grupo electrógeno a seleccionar en el mercado.

- Paso 6: Ejecutar un análisis de costo – beneficio para definir el tipo de operación que se empleará (individual o paralelo) y que satisfaga completamente todos los requerimientos energéticos del proyecto durante una interrupción del servicio eléctrico. También habrá que evaluar del expediente técnico aspectos como el área disponible para la instalación de el/los GE, las emisiones de gases de combustión permitidas y las emisiones acústicas permitidas.

#### **2.4.2 Desarrollo de metodología para un sistema completo**

- Paso 1: Identificación de las cargas.
- Paso 2: Realizar un cuadro de cargas y determinar la potencia de cada una de las cargas durante su arranque y durante su punto de operación estable.
- Paso 3: Hallar la suma de todas las cargas durante su arranque y durante su punto de operación estable. Para ello, se utilizará el cuadro de cargas previamente elaborado. Debido a la presencia de los VFD en un sistema completo, es imprescindible contar con un filtro de armónicos pasivo de buena calidad (con una reducción armónica al 5% del THDi o menor) para que la mitigación de los efectos de las cargas no – lineales sea efectiva y nuestras sumatorias de potencias sean acertadas.
- Paso 4: Definir el factor de arranque por VDF con filtro de armónicos pasivo. Según (Provejec, 2019) este factor puede variar entre 1.3 y 1.5. Esto dependerá de la calidad del filtro de armónicos. A mayor calidad, menor factor de arranque.
- Paso 5: Una vez definido el factor de arranque a usar, se debe realizar el cálculo de potencia máxima del grupo electrógeno en régimen de máxima demanda y en régimen continuo. Para ello, se utilizarán las potencias obtenidas en el paso 3. El valor obtenido de estos 2 regímenes que sea mayor, es el valor que definirá el modelo del grupo electrógeno a seleccionar en el mercado.
- Paso 6: Ejecutar un análisis de costo – beneficio para definir el tipo de operación que se empleará (individual o paralelo) y que satisfaga completamente todos los requerimientos energéticos del proyecto durante una interrupción del servicio eléctrico. También habrá que evaluar del expediente técnico aspectos como el área disponible para la instalación de el o los GE, las emisiones de gases de combustión permitidas y las emisiones acústicas permitidas.

## 2.5 Ampliación de la metodología para el cálculo y selección del sistema de emergencia de los pozos N°2 y N°3 del Boulevard Park Plaza Miraflores Country Club

En este subcapítulo, se procede a implementar la metodología a una escala menor en un proyecto ya operativo. Antes de iniciar con la aplicación y la interpretación de resultados, se informa que ambos pozos poseen los mismos equipos y, en consecuencia, poseen también las mismas cargas. Por lo tanto, el cuadro de cargas del Apéndice 5, corresponderá a ambos pozos.

### 2.5.1 Identificación de las cargas

Inicia el proceso de identificación de las cargas para este sistema completo. Se tienen:

- 1 bomba hidráulica de 200 HP.
- Tableros eléctricos: 1 tablero general 440 V, 1 tablero de fuerza 440 V que comanda a variador de frecuencia, tablero de filtro de armónicos pasivo marca TCI modelo HGP0200AW900000 para 200HP, 1 tablero general 220 V, 1 tablero de control y 3 tableros de distribución.
- Transformador trifásico en seco impregnado en barniz dieléctrico 15kVA 440/220VAC.
- Otros equipos y demás cargas menores.

### 2.5.2 Determinación de la potencia

Para visualizar a detalle las potencias de todas las cargas de ambos pozos, se indica ir al Apéndice 5.

### 2.5.3 Aplicación de la metodología al caso real

- Cálculo de la potencia en régimen de arranque:

La potencia máxima en régimen de arranque se presenta cuando la carga mayor de la PTAP es arrancada al final de todas, es decir, cuando se arranque a lo último a la bomba de 200 HP. Cabe resaltar que, a solicitud del cliente, se dimensionó el GE de manera que esté preparado para trabajar con un arranque por VFD más filtro de armónicos pasivo y con un arranque estrella – delta. Por lo tanto, según (Provejec, 2019) se debe emplear un factor de arranque correspondiente a 1.8.

$$P_{\text{stand-by arranque}} = (P_{\text{máx.demanda-RP}} - P_{\text{bomba 200 HP-RP}}) + f_{\text{estrella triángulo}} * P_{\text{bomba 200 HP}}$$

$$P_{\text{stand-by arranque}} = (149.54 \text{ kW} - 132.64 \text{ kW}) + 1.8 * 149.20 \text{ kW}$$

$$P_{\text{stand-by arranque}} = 285.46 \text{ kW}$$

- Cálculo de la potencia del GE desde un régimen continuo:

$$P_{\text{stand-by requerida desde un COP}} = \frac{P_{\text{máxima de régimen permanente}}}{f_{\text{COP}}}$$

$$P_{\text{stand-by requerida desde un COP}} = \frac{149.54 \text{ kW}}{0.78}$$

$$P_{\text{stand-by requerida desde un COP}} = 191.71 \text{ kW}$$

Según (Cummins, 2017) el factor de operación en régimen de potencia continua ( $f_{\text{COP}}$ ) es igual a 0.78. Por lo tanto, se toma este valor como referencia para el factor COP en la aplicación de la metodología.

La potencia Stand - By total del grupo electrógeno debe cubrir los 2 requerimientos tanto en régimen de arranque como en régimen continuo; por lo tanto, se buscará un grupo con una potencia comercial y mayor a 285.46 kW.

Luego de aplicada la metodología, se concluye que el GE a elegir deberá ser de 300 kW, 440V, 3F, 60 Hz.

#### **2.5.4 Interpretación de resultados**

Para realizar una adecuada interpretación de resultados, se corroboran las especificaciones de los equipos que fueron solicitados e instalados en el mencionado proyecto con los valores obtenidos luego de haber aplicado la metodología.

**Figura 38**

*Pozo N°3 del Boulevard Park Plaza Miraflores Country Club*



**Figura 39**

*Instalación del grupo electrógeno del pozo N°3*

**Figura 40**

*Especificaciones técnicas del grupo electrógeno del pozo N°3*

OTG :03-2021					
INMOBILIARIA MIRAFLORES PERU SAC					
CLIENTE	HUACHIPA		VOLTAJE	440 VAC	
SEDE	300 KW		SERIE:	X26619D	
GRUPO ELECTROGENO	TAD1341GE-B		SERIE:	2013966207	
MOTOR	VOLVO	MODELO	HCI444D1	SERIE:	X20f232641
GENERADOR	STAMFORD	MODELO		SERIE:	7684256
MODULO DSE	7320MKII	SERIE		SERIE:	118186-0129
AVRMX 341	STAMFORD	SERIE		SERIE:	7172282
C/BATERIA	24V/5A	SERIE		SERIE:	4BYZ0318358
ITM	42/600A-SCHNEIDER	MODELO	CV5630F	SERIE:	100-03148
CALENTADOR DE REFRIGERANTE DE 1500WATS		SERIE		OBSERVACIONES	
INCLUYE					
SM61224	CAPSULA INSONORA G.E 300KW		G.E LISTO PARA SU DESPACHO		
SM101007	SILENCIADOR RESIDENCIAL 8"				
2 BATERIA /RECORD	12V- 158AH/1449A				
PROBADO	POR TECNICO		FECHA		
	ING. CARLOS INGA		15/06/2021		
	ING. HENRRY MONTALVO		15/06/2021		

Se visualizan en la figura 40 las principales especificaciones técnicas del grupo electrógeno que fue instalado en el proyecto. Esta tabla de especificaciones indica que se trata de un grupo de 300 kW. Este valor de potencia corresponde al obtenido con la aplicación de la metodología, quedando así, corroborada y validada.

## **2.6 Análisis de la implementación de la metodología para la selección y cálculo de la planta de emergencia de la PTAP Sullana**

Siendo el sistema completo el que se rige a los parámetros reales de lo que será el proyecto de ampliación de la PTAP Sullana, se procede a realizar un análisis en varios niveles luego de haber implementado la metodología de cálculo y selección para este tipo de sistema.

### **2.6.1 Análisis de resultados**

Una vez aplicada la metodología, se obtuvo un requerimiento total de 2807.73 kW para una situación de emergencia. Se observa en este caso que la potencia máxima en régimen permanente, es decir, la potencia máxima en un régimen de potencia continua (COP) se impuso sobre la potencia máxima de régimen de arranque.

Se optó por una operación en paralelo, en primer lugar, porque en este rango de potencias relativamente elevadas la inversión suele ser demasiado alta si se busca satisfacer dicha demanda con grupos que operen individualmente. En segundo lugar, se optó por la operación en paralelo con 4 grupos electrógenos porque las bombas hidráulicas de la PTAP Sullana (las cuales representan más del 90% de la carga total de la planta) difícilmente suelen operar al mismo tiempo, es decir, son cargas que operan con un grado moderado y bajo de simultaneidad. Este arreglo permite que la potencia pueda ser eficientemente dosificada según las necesidades del día a día en la PTAP. Por ejemplo, en una situación donde solo se requiera arrancar 2 de las 4 bombas de 500 HP, bastaría con encender 2 grupos electrógenos para reanudar todos los procesos de la PTAP, permitiendo así un gran ahorro de energía.

Otras de las razones para decantarse por la operación en paralelo es su mantenimiento más barato y menos problemático ante eventuales interrupciones durante el cumplimiento del cronograma.

### **2.6.2 Estudio de costo – beneficio**

De acuerdo a la implementación de la metodología, la planta de emergencia deberá abastecer una potencia de 2807.73 kW a la PTAP. Para este estudio de costo - beneficio, se plantean 3 arreglos de GE que satisfagan tal requerimiento.

- Operación individual:

En el caso de una operación en solitario, un grupo eléctrico de 3000 kW tiene un precio que ronda entre \$850,000 y \$1,000,000 según la marca del equipo. Por lo tanto, se debe desestimar esta opción para este proyecto de ampliación.

- Operación en paralelo con 2 GE:

Para una operación en paralelo con 2 grupos electrógenos de 1500 kW cada uno, se tendrá un costo que ronda entre \$700,000 y \$800,000 según sea la marca de los equipos. Se observa que esta opción es más factible que la anterior.

- Operación en paralelo con 4 GE:

Para una operación en paralelo con 4 grupos electrógenos de 704 kW cada uno, se tendrá un costo que ronda entre \$400,000 y \$480,000. Con un buen diseño de tablero de transferencia y sincronismo, esta opción se impone sobre las 2 anteriores. Por tanto, trabajar en paralelo con 4 GE es la solución más conveniente desde el punto de vista del costo – beneficio para la PTAP Sullana.

### **2.6.3 Impacto ambiental**

En el caso de la PTAP Sullana, no existe una implicancia considerable en cuanto al tema de la contaminación del medio ambiente, debido a que la recurrencia con la que se emplea a estos equipos es muy baja. Sin embargo, para otros requerimientos, lo ideal es realizar un estudio costo – impacto ambiental de acuerdo a la clasificación de emisiones de el/los GE a adquirir y a la normativa de la localidad.

Los GE más modernos poseen clasificaciones de emisión que van desde el Tier I hasta el Tier IV, sin embargo, a mayor nivel de clasificación Tier, el costo del GE se eleva considerablemente.

### **2.6.4 Impacto social**

Los grupos electrógenos y su correcta selección juegan un rol fundamental en el sector de saneamiento debido a que mantienen la continuidad del proceso de potabilización, contribuyendo así al cumplimiento de las estrictas normas establecidas por SUNASS y el MINSA. Estas prestaciones de buena calidad favorecen a los intereses de la EPS al evitar costosas sanciones (multas), y las utilidades extra generadas promueven su crecimiento como empresa y motiva a la mejora del servicio que prestan a la población.

Estas mejoras se traducen en una mejora de los índices de salud de la población y, por lo tanto, en un menor gasto público en el sector salud, pues disminuyen las consultas médicas por intoxicación o enfermedades originadas por un consumo de agua que no cumple con los límites máximos permisibles de los parámetros microbiológicos, parasitológicos, organolépticos, radioactivos, químicos orgánicos e inorgánicos.

Estos ahorros tanto de las EPS como del estado fomentan la ejecución de obras de ampliación de las PTAP y también fomentan obras que permiten el acceso al servicio de agua potable a las poblaciones más vulnerables.

## **2.7 Soluciones para la mejora del rendimiento de la PTAP Sullana durante una emergencia**

El proyecto de ampliación de la PTAP Sullana contará con muchos equipos generadores de cargas no lineales, por lo tanto, este proyecto de ampliación probablemente será susceptible a las perturbaciones que traen consigo tales como: armónicos a la entrada del VFD, armónicos a la salida del VFD (el fenómeno de onda reflejada y el ruido de modo común),

la distorsión en altas frecuencias y a factores de potencia bajos por la coexistencia con estas cargas no lineales.

Se presentan algunas alternativas para mitigar los efectos de estas perturbaciones y mejorar el rendimiento de la PTAP Sullana durante una emergencia.

### **2.7.1 Soluciones ante disturbios generados por cargas no lineales**

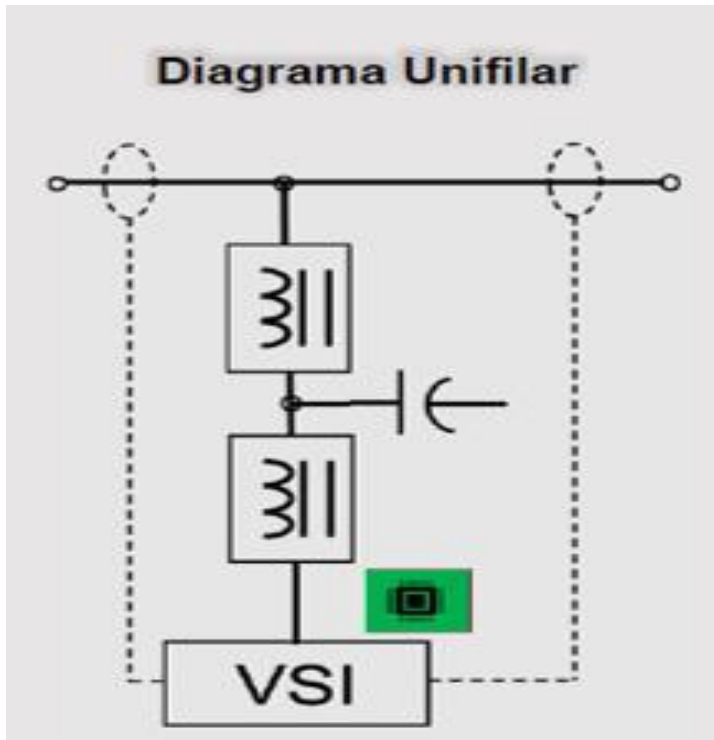
Es de vital importancia conocer los efectos negativos que acarrear la presencia de cargas no lineales en un centro de consumo de manera que se puedan plantear soluciones ante cada una de esas consecuencias. Previamente se enumeraron los efectos perjudiciales principales que traen consigo la operación con los VFD, ahora se procede a enumerar los diferentes equipos que ofrece el mercado para minimizar estos efectos donde destacan los filtros de armónicos entre otros sistemas de filtrado.

Los filtros de armónicos son complejos equipos muy requeridos en todas las industrias que incluyen variadores de velocidad en sus instalaciones. Son extremadamente indispensables para mitigar los efectos nocivos, y así, minimizar en la medida posible todos los cuantiosos costos que implica la inyección de armónicos generados por la operación de los VFD.

Según (Trans-Coil Internacional, 2023), se cuentan con las siguientes soluciones proporcionadas por diferentes equipos ante cada disturbio o perturbación provocada por la presencia de armónicos:

**2.7.1.1 Soluciones para armónicos a la entrada del VFD.** Para esta etapa se cuenta con los siguientes equipos:

- a) Filtro de armónico activo. Este tipo de filtro presenta las siguientes características:
  - Reducción armónica a 5% de TDD.
  - Dispositivo de inyección activa – no conectado en la ruta crítica (en serie) de energía eléctrica.
  - Aplicado en sistemas de VFD de 6 pulsos, usualmente de manera acumulada en cargas no lineales (CCM, tableros de distribución, etc.)
  - Costo efectivo para múltiples o redundantes VFD.
  - Monitorea el bus de CA, inyecta corriente en contra para cancelar las corrientes armónicas presentes.
  - Provee corrección de factor de potencia.
  - Para corregir corrientes o tamaño de filtros: 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 600, 700. Para tamaños mayores se utilizan configuraciones en paralelo.
  - En un sistema con múltiples VFD, el filtro activo tiende a ser la mejor opción.

**Figura 41***Diagrama unifilar de un filtro activo*

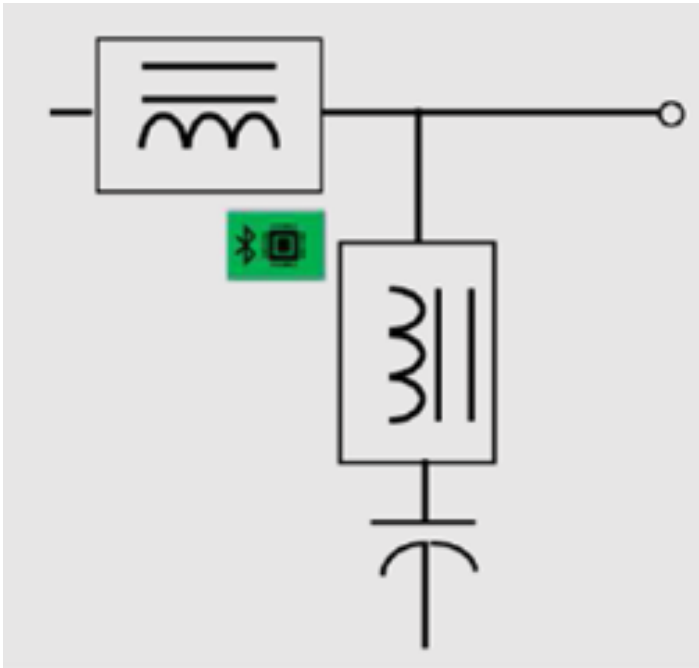
*Nota.* Extraído de TCI (Trans-Coil Internacional, 2023)

b) Filtro de armónicos pasivo. Este tipo de filtro presenta las siguientes características:

- Reducción armónica de 5% THDi.
- Filtro de banda ancha con circuito de sintonía de 5ta armónica.
- Utilizados para cumplir la especificación de IEEE-519 y otros problemas armónicos.
- Use el contactor incorporado para proteger al equipo ir al lado capacitivo.
- Cuenta con un reactor de línea (en serie) para proteger contra cualquier posible resonancia en el sistema.
- Puede ser utilizado con cualquier VFD de 6 pulsos.
- La capacitancia puede manipularse o reducirse para alimentadores como un generador.

**Figura 42**

*Diagrama unifilar de un filtro pasivo*



*Nota.* Extraído de TCI (Trans-Coil Internacional, 2023)

- c) Reactores de línea. Son la primera línea de defensa para la mitigación armónica. Proveen de una impedancia de línea con una posibilidad de impedancia de 3%, 5% y 10%.

**2.7.1.2 Soluciones para onda reflejada y ruido de modo común.** Para lidiar contra estas perturbaciones se cuentan con los siguientes equipos:

- a) Filtros  $dV/dt$ . Este tipo de filtros son utilizados para disminuir los bordes abruptos de la forma de onda de voltaje proveniente del PWM cuando incrementa la distancia del cable. Recomendado en los VFD con distancias de cable superiores a 30 metros y hasta 300 metros.

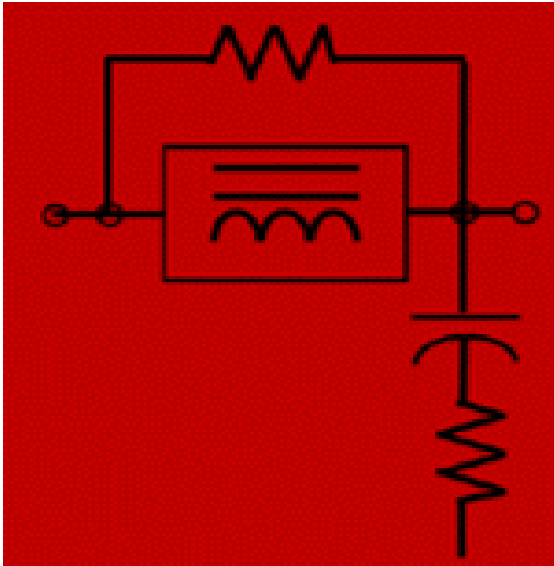
Las ventajas que ofrece este tipo de filtro son:

- Protege cables y conexiones.
- Reduce los picos de voltaje menores a 1000 voltios.
- Protege motores de devanados en corto de degradación y ruptura del aislamiento.
- Protege motores estándar al momento de realizar un “retrofit” o actualización del tipo de arranque.
- Los motores operan un poco más frescos.
- Se pueden emplear en motores que no incluyan un inversor.

- Reduce el ruido de modo común de un 30% a un 40%.

**Figura 43**

*Diagrama unifilar de un filtro  $dV/dt$*



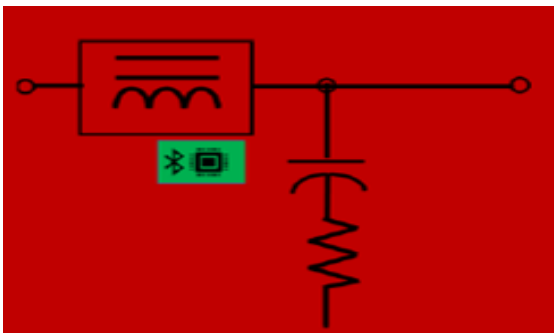
*Nota.* Extraído de TCI (Trans-Coil Internacional, 2023)

- b) Filtro senoidal. Son filtros pasa bajas que, al utilizarse en combinación con un variador de frecuencia, convierte el PWM a una forma de onda cercana a una senoide para proteger a los motores de picos excesivos de voltaje y sobrecalentamiento. Las ventajas que ofrece este tipo de filtro son:

- Elimina los picos de voltaje del PWM.
- Reduce el calentamiento y el ruido en el motor.
- Previene al motor de una falla de aislamiento.
- Extiende la vida útil del motor y el cable en aplicaciones sensibles.

**Figura 44**

*Diagrama unifilar de un filtro senoidal*



*Nota.* Extraído de TCI (Trans-Coil Internacional, 2023)

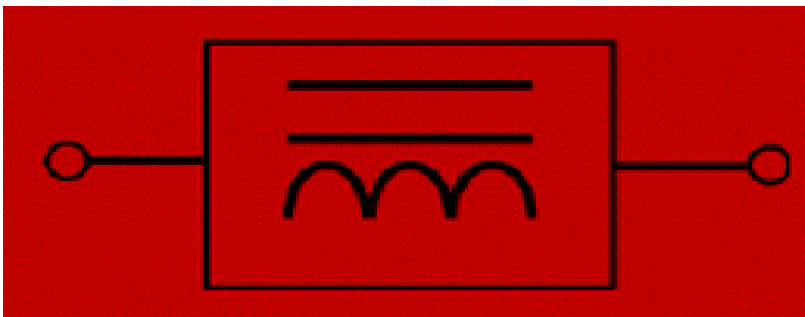
- c) Reactores de carga o salida. Los reactores actúan como amortiguador entre la salida PWM del VFD y el motor. Los reactores ayudan a reducir los picos de voltaje causados por un alto  $dV/dt$  y se recomiendan cuando la longitud de los cables hacia el motor es menor a 30 metros.

Las ventajas que ofrece este tipo de filtro son:

- Atenúa el exceso de pico de voltaje.
- Reduce el calentamiento del motor.
- Reduce el ruido audible.
- Es relativamente económico considerando sus prestaciones.

**Figura 45**

*Diagrama unifilar de un reactor de carga*



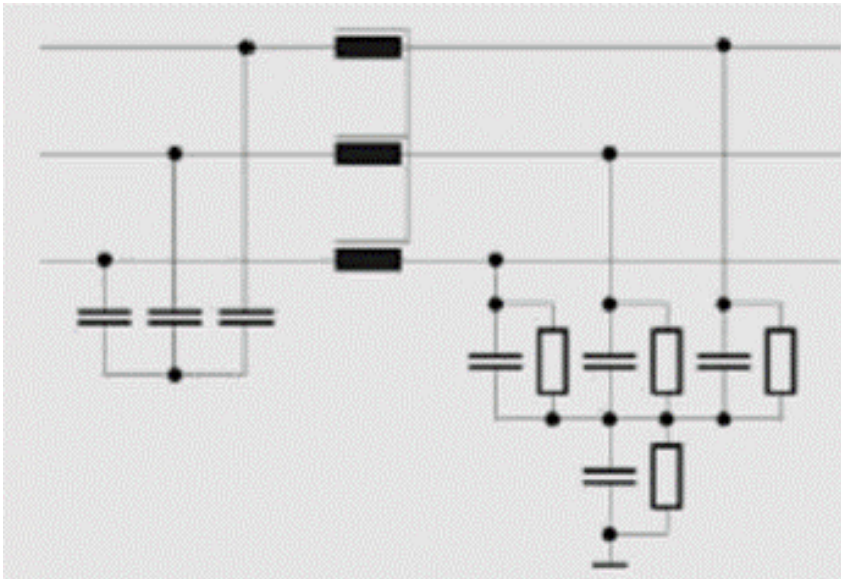
*Nota.* Extraído de TCI (Trans-Coil Internacional, 2023)

**2.7.1.3 Soluciones para distorsión en altas frecuencias.** Para lidiar contra este tipo de disturbio se cuenta con el siguiente equipo:

- Filtro de línea trifásico EMC/EMI: Las emisiones de ruido en la red eléctrica que alimenta a los variadores de frecuencia pueden causar disturbios o interferencia a equipos cercanos (inestabilidad y/o disminución de luminosidad en balastos electrónicos, pobre recepción de radio, inestabilidad o interferencia a señales analógicas o digitales de los sistemas de control, fluctuación en los equipos de medición, parpadeo en señales de E/S, falla o errores en la retroalimentación de un encoder, fallas en los PLC, etc.).

Las aplicaciones usuales son: VFD en elevadores, edificios comerciales, patios eólicos o fotovoltaicos; para empleo de UPS y fuentes de poder.

El filtro de línea trifásico EMC puede: Reducir la interferencia, proteger equipo sensible y eliminar la diafonía con el VFD.

**Figura 46***Circuito del filtro de línea trifásico EMC/EMI*

*Nota.* Extraído de TCI (Trans-Coil Internacional, 2023)

**2.7.1.4 Para corrección de FP coexistiendo con cargas no lineales.** En casos en que las cargas no lineales sean producto de la operación del VFD, se debe tomar muy en cuenta la importancia de mantener el factor de potencia elevado pues de esa manera se evitan las multas por elevada potencia reactiva y porque se reducen las pérdidas de los conductores y transformadores. Además, un bajo factor de potencia requiere de equipos y fuentes de energía más grandes donde salen perjudicados tanto los usuarios como los proveedores de energía.

Para lidiar contra este problema se cuenta con el siguiente equipo:

- Banco de capacitores con reactores de rechazo: Estos capacitores seleccionados cancelarán el 90% de la corriente de vacío del motor y/o alcanzará un FP de 0.95 a 0.98. Se suele conectar este banco lo más cercano posible al motor (o carga). Cabe resaltar que los beneficios son solamente comprendidos aguas arriba de la conexión de los capacitores



## Conclusiones

En este proyecto se ha desarrollado de manera satisfactoria una metodología para poder calcular y seleccionar una planta de emergencia conformada por grupos electrógenos para el proyecto de ampliación de la PTAP Sullana. Esta metodología ofrece un dimensionamiento aproximado para la selección de los grupos electrógenos encargados de suministrar los 2807.73 kW de potencia nominal o Stand - By necesarios en caso de una interrupción de la energía eléctrica en esta PTAP.

A través de los resultados se puede concluir que lo más conveniente para este caso es optar por una operación en paralelo, donde trabajen 4 grupos electrógenos con una potencia nominal de 704 kW cada uno debido a que no es frecuente que todas las cargas de la PTAP operen en simultáneo, por tanto, un arreglo en paralelo permitiría dosificar la potencia estratégicamente; además del hecho que 704 kW es un valor que se adapta a lo ofrecido por el mercado peruano. Con este arreglo no solo se garantiza una operatividad óptima de la PTAP, sino que también se garantiza un ahorro considerable de la inversión el cual ronda entre los \$200,000 y \$250,000 si se compara con un arreglo de 2 grupos electrógenos y entre \$400,000 y \$500,000 si se compara con una operación de 1 solo grupo electrógeno. Cabe resaltar que solo pueden darse estimaciones de estos ahorros, puesto que las empresas tanto peruanas como extranjeras suelen ofrecer los precios exactos exclusivamente por medio de solicitudes formales de oferta.

Es importante dar a conocer que, durante la ejecución de los proyectos, no siempre se elige el tipo de operación y/o arreglo más conveniente. Esto es debido a una falta de familiarización y conocimiento sobre la programación de los últimos equipos que ofrece el mercado en materia del proceso de transferencia y sincronismo con muchos grupos electrógenos en operación. Así mismo, considerando el largo tiempo que toma elaborar el estudio de factibilidad y el expediente técnico, y el lento ritmo que suelen tener las licitaciones públicas de obra, resulta una situación donde muchas veces el personal se encuentra desactualizado técnicamente y estos factores impiden la instalación de los equipos necesarios que garanticen un manejo adecuado de la energía y la inversión.

También se observa que en el sector saneamiento existe una fuerte tendencia por el uso de equipos de regulación y control automático como los VFD. Esto se debe a que el uso de estos equipos facilita a los ingenieros el diseño hidráulico de la ruta que seguirá el agua tratada desde los depósitos de reserva de la PTAP hasta el reservorio de la localidad. Sin embargo, la operación de estos equipos genera toda una serie de perturbaciones las cuales deben ser mitigadas preferentemente con filtros de armónicos pasivos de alta calidad. Se concluye que no basta realizar una correcta selección de la planta de emergencia; también es obligatorio contar con los filtros adecuados que aseguren una buena calidad eléctrica primordialmente para las electrobombas de turbina vertical, pues estas son las cargas más grandes e importantes de toda la PTAP.



## Referencias

- ABB. (s.f.). E6.2H 6300 Ekip Dip Li 3p F HR | ABB. Obtenido de <https://new.abb.com/products/es/1SDA071291R1/e6-2h-6300-ekip-dip-li-3p-f-hr>
- Aksa Power Generation USA & LATAM. (s.f.). AKSA Power generation LATAM entrenamiento de ventas (tipos de potencias). Obtenido de <https://irp-cdn.multiscreensite.com/8ad6df7e/files/uploaded/Selecci%C3%B3n%20de%20equipos.pdf>
- ANDI. (s.f.). Calidad de la energía eléctrica | Asociación Nacional de Industriales - Honduras. Obtenido de [http://www.andi.hn/wp-content/uploads/2014/11/3-Calidad-de-la-Energ%C2%A1a\\_sn.pdf](http://www.andi.hn/wp-content/uploads/2014/11/3-Calidad-de-la-Energ%C2%A1a_sn.pdf)
- Arenas Alegría, L. E. (2019). Determinación de la capacidad de un grupo electrógeno considerando la carga esencial en un hospital. Tesis de grado, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México. Obtenido de <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/28071/1/DETERMINACION%20DE%20LA%20CAPACIDAD%20DE%20UN%20GRUPO.pdf>
- Astohuayhua Pacheco, V. (2017). Guía técnica de operación y mantenimiento de grupo electrógeno del hospital Hermilio Valdizán. Lima. Obtenido de [http://www.hhv.gob.pe/wp-content/uploads/Resoluciones\\_Directoriales/2017/133-DG-10052017.pdf](http://www.hhv.gob.pe/wp-content/uploads/Resoluciones_Directoriales/2017/133-DG-10052017.pdf)
- Bosch Fuentes, J., & Jiménez Muñoz, C. A. (2016). Anteproyecto para la selección del grupo electrógeno y tablero de transferencia para un edificio de oficinas. Tesis de grado, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México. Obtenido de <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/22233/1/TESIS%20FINAL2.pdf>
- Cabrera Nuñez, J. (21 de Septiembre de 2017). Lubricación en motores diésel. Obtenido de <https://es.slideshare.net/Jordan2009/lubricacion-en-motores-diesel>
- Castañeda Martínez, B. H., Cruz Henríquez, Y. C., & Mendez Recinos, E. E. (2008). Evaluación de las normas de calidad del servicio en los sistemas de distribución de SIGET. Tesis de grado, Universidad de El Salvador, El Salvador. Obtenido de <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2873/1/Evaluaci%C3%B3n%20de%20las%20normas%20de%20calidad%20del%20servicio%20en%20los%20sistemas%20de%20distribuci%C3%B3n%20de%20SIGET.pdf>
- Cat. (s.f.). C15 Motores diésel industriales. Obtenido de [https://www.cat.com/es\\_MX/products/new/power-systems/industrial/industrial-diesel-engines/18375173.html](https://www.cat.com/es_MX/products/new/power-systems/industrial/industrial-diesel-engines/18375173.html)

- Cat. (s.f.). C27 ACERT Tier 4i Grupos electrógenos para producción terrestre. Obtenido de [https://www.cat.com/es\\_ES/products/new/power-systems/oil-and-gas/land-production-generator-sets/18552094.html](https://www.cat.com/es_ES/products/new/power-systems/oil-and-gas/land-production-generator-sets/18552094.html)
- Cat. (s.f.). Controles EMCP 4 para grupos electrógenos | Cat | Caterpillar. Obtenido de [https://www.cat.com/es\\_MX/by-industry/electric-power/electric-power-products/custom-power-solutions/ep-custom-products/custom-control-systems-and-switchgear/generator-controllers/emcp-4.html](https://www.cat.com/es_MX/by-industry/electric-power/electric-power-products/custom-power-solutions/ep-custom-products/custom-control-systems-and-switchgear/generator-controllers/emcp-4.html)
- CCEEA. (2022). Las bases de las corrientes armónicas, y su relación con los sistemas fotovoltaicos. (E. Valencia, Editor) Obtenido de <https://ccea.co/blog/energia-solar-fotovoltaica/las-bases-de-las-corrientes-armonicas-y-su-relacion-con-los-sistemas-fotovoltaicos>
- Çengel, Y. A. (2012). Termodinámica (7ma ed.). Ciudad de México: McGraw-Hill/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Chapman, S. J. (2012). Máquinas eléctricas (5ta ed.). México, D.F.: MCGRAW-HILL/Interamericana editores, S.A. DE C.V.
- CS Electrical & Electronics. (s.f.). SMPS, Switched Mode Power Supply, Working, Applications. Obtenido de <https://cselectricalandelectronics.com/smps-definition-working-advantages-disadvantages-applications/>
- Cuenca Churo, M. Á., & Enríquez Guillén, F. J. (2012). Estudio de la demanda para el dimensionamiento y fiscalización del montaje de generadores estacionarios para el Campus Girón. Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Quito. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1881>
- Cummins. (2017). Specification Sheet - Diesel generator set QSK78 series engine. Obtenido de [https://www.cumminsperu.pe/uploads/shares/DATA\\_SHEETS/DATA\\_SHEETS\\_GE\\_DIESEL\\_CUMMINS/DQLC.pdf](https://www.cumminsperu.pe/uploads/shares/DATA_SHEETS/DATA_SHEETS_GE_DIESEL_CUMMINS/DQLC.pdf)
- Flores Marcelo, J. C. (2015). Evaluación de la confiabilidad del sistema de generación eléctrica en una refinería de hidrocarburos. Tesis de grado, Universidad de Piura, Piura. Obtenido de <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/2411>
- FOTON. (s.f.). Presentación Foton. Obtenido de [http://dealers2.rewebmkt.com/themes/foton-colombia-1-homolog/assets/pdf/excavadora\\_foton.pdf](http://dealers2.rewebmkt.com/themes/foton-colombia-1-homolog/assets/pdf/excavadora_foton.pdf)
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (13 de 08 de 2019). IEEE SA - IEEE 1159-2019. Obtenido de <https://standards.ieee.org/ieee/1159/6124/>
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (05 de 08 de 2022). IEEE SA - IEEE 519-2022. Obtenido de <https://standards.ieee.org/ieee/519/10677/>

- International Electrotechnical Commission. (07 de 2020). IEC 61439-2 Ed. 3.0 b:2020 - Low-Voltage Switchgear And Controlgear Assemblies - Part 2: Power Switchgear And Controlgear Assemblies. Obtenido de [https://webstore.ansi.org/standards/iec/iec61439ed2020-2427383?\\_gl=1\\*157ul2b\\*\\_gcl\\_au\\*MTUyMTMyNTg4My4xN2hEaEFSSXNBRzJ5NnpPd3p4angtTHdzZfk3T0pqZS1lWUtGb3g3eVdzaXZja0R5SHdrRTZMc2cyUXpsUjhBdIFYb2FBanBmRUFMd193Y0I.\\*\\_gcl\\_au\\*MTUyMTMyNTg4My4xN](https://webstore.ansi.org/standards/iec/iec61439ed2020-2427383?_gl=1*157ul2b*_gcl_au*MTUyMTMyNTg4My4xN2hEaEFSSXNBRzJ5NnpPd3p4angtTHdzZfk3T0pqZS1lWUtGb3g3eVdzaXZja0R5SHdrRTZMc2cyUXpsUjhBdIFYb2FBanBmRUFMd193Y0I.*_gcl_au*MTUyMTMyNTg4My4xN)
- International Electrotechnical Commission. (02 de 2022). IEC 60034-1 Ed. 14.0 b:2022 - Rotating Electrical Machines - Part 1: Rating And Performance. Obtenido de <https://webstore.ansi.org/standards/iec/iec60034ed142022>
- International Organization for Standardization. (05 de 2002). ISO 3046-1:2002(en), Reciprocating internal combustion engines — Performance — Part 1: Declarations of power, fuel and lubricating oil consumptions and test methods — Additional requirements for engines for general use. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/28330.html>
- International Organization for Standardization. (2018). ISO 8528-1:2018 Reciprocating internal combustion engine driven alternating current generating sets — Part 1: Application, ratings and performance. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/68539.html>
- Mármol, D. (05 de 05 de 2022). UPS / SAI, Sistema de alimentación ininterrumpida. Todo Eléctrico.
- MINEM. (20 de 07 de 2011). Norma técnica de calidad de los servicios eléctricos. Obtenido de [https://www.osinergmin.gob.pe/cartas/documentos/electricidad/normativa/NTCSE\\_DS020-97-EM.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/cartas/documentos/electricidad/normativa/NTCSE_DS020-97-EM.pdf)
- MINSA. (2010). Reglamento de la calidad del agua para consumo humano. Obtenido de [http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento\\_Calidad\\_Agua.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento_Calidad_Agua.pdf)
- PROTELEC. (s.f.). Tableros de transferencia automática – PROTELEC — Productos y Tecnologías Eléctricas S.A.C. Obtenido de <https://protelec.com.pe/tableros-transferencia-automatica>
- Provejec. (2019). Selección de un grupo generador en función a la carga. Lima.
- Rodríguez Pozueta, M. Á. (2015). Máquina síncrona aislada. Obtenido de <https://personales.unican.es/rodrigma/PDFs/Maquina%20sincrona%20aislada.pdf>
- Rovira de Antonio, A., & Muñoz Domínguez, M. (Octubre de 2015). Motores de combustión interna. Obtenido de <https://lopezva.files.wordpress.com/2019/11/343564272-motores-de-combustion-interna.pdf>

- Saavedra Carreño, D. (2023). Reporte de interrupciones del alimentador 1014. Electronoroeste S.A., Área de Calidad y Fiscalización (C&F) , Piura. Recuperado el 11 de Julio de 2023
- SIEMENS. (12 de 2019). Convertidor SINAMICS G120X - Manual ES. Obtenido de <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:f9dc9f93-6450-4e88-8b6e-cca34b8fb347/manual-sinamics-g120x-es.pdf>
- Silva Vigo, L. H. (2018). Dimensionamiento y selección de un sistema de emergencia de suministro eléctrico, en el hospital de Chala II - Arequipa. Tesis de grado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque. Obtenido de <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/2882>
- SUNASS. (Febrero de 2007). Reglamento de la Calidad de la Prestación de Servicios de Saneamiento. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/sunass/normas-legales/1328300-011-2007-sunass-cd>
- SUNASS. (Enero de 2007). Reglamento General de Fiscalización y Sanción. Obtenido de <https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2022/08/RCD-N%C2%B0-003-2007-SUNASS-CD-Reglamento-de-Fiscalizacion-y-Sancion.pdf>
- TECNIASES. (s.f.). Tecniases | Industria que Mueve Industrias | Tablero General | Tablero Eléctrico. Obtenido de <https://tecniases.com/tablero-general-tablero-electrico/>
- TECSUP. (2021). Componentes del grupo electrógeno. Grupos electrógenos. Lima.
- TECSUP. (2021). Criterios de selección y especificaciones. Grupos electrógenos. Lima.
- TECSUP. (2021). Operación, diagnóstico de fallas y mantenimiento. Grupos electrógenos. Lima.
- Trans-Coil Internacional. (2023). Aspectos de calidad de energía y soluciones armónicas. En X. Riveroll (Ed.). Lima.

## Apéndices





**Apéndice A Cálculo de máxima demanda - cuadro de cargas de PTAP Sullana – sistema simplificado**

Cálculo de máxima demanda - cuadro de cargas de PTAP Sullana – sistema simplificado						
Planta PTAP: Sistema de pretratamiento, tratamiento, desinfección, laboratorio, oficina administrativas y estación de emergencia						
Item	Equipos	Cant. (unid)	Potencia unitaria (kw)	Potencia instalada (kw)	FD	Máxima demanda (kw)
1	Electrobomba Turbina Vertical@RE1 - 500HP	4	372.80	1,491.20	0.75	1,118.40
2	Electrobomba Turbina Vertical@RE2- 200HP	4	149.20	596.80	0.75	447.60
3	Electrobomba Turbina Vertical@RE6 - 200HP	2	149.20	298.40	0.50	149.20
4	Electrobomba Turbina Vertical@RE4 - 100HP	3	74.60	223.80	0.67	149.20
5	Polipasto Eléctrico de 3 kW+ Trolley de 0,75 kW de 5TN - Cisterna de Bombeo	2	3.75	7.50	1.00	7.50
6	Tableros TPCL-01 y TPCL-02 (Pre y post cloración)	2	4.10	8.20	1.00	8.20
7	Tablero TBAP- Abastecimiento de agua potable para PTAP con equipo de bombeo de 25 HP	2	3.00	6.00	0.50	3.00
8	Actuador de Válvula Mariposa- Modulo 1	31	1.00	31.00	0.48	15.00
9	Actuador de Compuerta - Modulo 1	4	1.00	4.00	0.50	2.00
10	Actuador de Válvula Mariposa- Modulo 2	31	1.00	31.00	0.48	15.00
11	Actuador de Compuerta - Modulo 2	4	1.00	4.00	0.50	2.00
12	Actuador de Válvula Mariposa- Modulo 3	31	1.00	31.00	0.48	15.00
13	Actuador de Compuerta - Modulo 3	4	1.00	4.00	0.50	2.00
14	Actuador de Válvula compuerta-Sedimentadores	24	1.00	24.00	0.50	12.00
15	Actuador de Válvula DN 900mm -Sedimentador	2	1.00	2.00	0.50	1.00
16	Prensa tornillo-Planta de Tratamiento de lodos	2	2.20	4.40	0.50	2.20

17	Bomba para agua de lavado - Planta de Tratamiento de lodos	2	1.00	2.00	0.50	1.00
18	Medidor de caudal para lodos -Planta de Tratamiento de lodos	2	0.01	0.02	1.00	0.02
19	Medidor de caudal para Polímeros -Planta de Tratamiento de lodos	2	0.01	0.02	1.00	0.02
20	Sensor de presión -Planta de Tratamiento de lodos	4	0.001	0.002	1.00	0.002
21	Compresor -Planta de Tratamiento de lodos	2	1.10	2.20	0.50	1.10
22	Bomba de lodos-Planta de Tratamiento de lodos	2	5.60	11.20	0.50	5.60
23	Bomba de tornillo excéntrico -Planta de Tratamiento de lodos	2	0.55	1.10	0.50	0.55
24	Agitador para solución de polímero-Planta de Tratamiento de lodos	2	1.10	2.20	1.00	2.20
25	Polipasto 2TN-Planta de Tratamiento de lodos	1	2.80	2.80	1.00	2.80
26	Tablero eléctrico-Planta de Tratamiento de lodos	1	5.00	5.00	1.00	5.00
27	Agitador para Sulfato de aluminio -Sala de Dosificación	2	1.10	2.20	1.00	2.20
28	Agitador para solución de polímero -Sala de Dosificación	2	1.10	2.20	1.00	2.20
29	Agitador para solución de sulfato de cobre -Sala de Dosificación	2	1.10	2.20	1.00	2.20
30	Bomba dosificadora de sulfato de aluminio-Sala de dosificación	2	1.00	2.00	0.50	1.00
31	Bomba dosificadora de sulfato de Cobre -Sala de dosificación	2	1.00	2.00	0.50	1.00
32	Bomba dosificadora de polímero-Sala de dosificación	2	1.00	2.00	0.50	1.00
33	Elevador-Sala de dosificación	1	7.46	7.46	1.00	7.46
34	Tablero eléctrico-Sala de dosificación	1	8.00	8.00	1.00	8.00

35	Reservorio Elevado	1	1.00	1.00	1.00	1.00
36	Tablero eléctrico-Reservorio Elevado	1	5.00	5.00	1.00	5.00
37	Bomba dosificadora de sulfato de aluminio- Sala de dosificación y almacén (dosificación de espesamiento de lodos)	2	1.00	2.00	0.50	1.00
38	Tablero eléctrico - Dosificación de espesamiento de lodos	1	5.00	5.00	1.00	5.00
39	Tablero Bomba de lodos TBS-01, para equipos de bombeo de 15 HP c/u	2	3.00	6.00	0.50	3.00
40	Tablero de Bomba de lodos TBS-02, para equipos de bombeo de 7.5 HP c/u.	2	2.00	4.00	0.50	2.00
41	Actuador de Compuerta - Caja de repartición de agua Cruda	3	1.00	3.00	0.33	1.00
42	Actuador de Válvula Compuerta -Caja de repartición de agua Cruda	1	1.00	1.00	1.00	1.00
43	Actuador de compuerta - Cámara de contacto de cloro N°1 y N°2	8	1.00	8.00	0.50	4.00
44	Actuador de Válvula Mariposa - Cámara de contacto de cloro N°1 y N°2	2	1.00	2.00	0.50	1.00
45	Actuador de Válvula Mariposa - Cisterna de Bombeo N°1 y N°2	2	1.00	2.00	0.50	1.00
46	Lavador de gas Cloro	1	0.75	0.75	1.00	0.75
47	Polipasto Eléctrico de 3 kW+ Trolley de 0,4 kW de 2TN - Sala de Cloración	2	3.40	6.80	1.00	6.80
48	Tablero eléctrico-Sala de cloración	1	19.27	19.27	1.00	19.27
49	Bomba de lodos-Cisterna de lodos	2	0.75	1.50	0.50	0.75
50	Medidor de caudal bomba de lodos -Cisterna de lodos	1	0.01	0.01	1.00	0.01
51	Actuador de Válvula compuerta -Planta de Lodos	6	1.00	6.00	0.50	3.00
52	Tablero eléctrico-Planta de lodos	1	10.00	10.00	1.00	10.00

53	Tablero eléctrico-Sala de Laboratorio	1	10.00	10.00	1.00	10.00
54	Tablero eléctrico - Administración y comedor	1	3.00	3.00	1.00	3.00
55	Tablero Aire acondicionado - Administración y comedor	1	5.00	5.00	1.00	5.00
56	Tablero eléctrico- Taller de Maestranza y almacén	1	5.00	5.00	1.00	5.00
57	Tablero de vigilancia TDCV	4	1.00	4.00	1.00	4.00
58	Tablero eléctrico- Vestuario	1	4.00	4.00	1.00	4.00
59	Alumbrado Exterior	45	0.05	2.25	1.00	2.25
60	Bomba sistema contra incendios	1	50.00	50.00	1.00	50.00
61	Equipo SCRUBBER	1	15.00	15.00	1.00	15.00
62	Tablero UPS -SCADA	1	10.00	10.00	0.80	8.00
Máxima demanda de planta de tratamiento de agua potable proyectada (PTAP)						2,164.47
Subtotal						2,164.47

Cuadro de cargas de estación de bombeo para emergencia						
Ite,	Equipos	Cant. (unid)	Potencia unitaria (kw)	Potencia instalada (kw)	Fd	Máxima demanda (kw)
1	Tablero TD Estación de Emergencia	1	2.00	2.00	1.00	2.00
2	Electrobomba horizontal de 200 hp Estación de Emergencia	1	149.12	149.12	1.00	149.12
3	Electrobomba horizontal de 100 hp Estación de Emergencia	3	74.56	223.68	1.00	223.68
Máxima demanda estación de emergencia						374.80
Subtotal						374.80
Máxima demanda total a solicitar a ENOSA (planta PTAP + estación de emergencia) (kw)						2,539.27

**Apéndice B Máxima potencia de régimen permanente de la carga (PRP) PTAP Sullana – sistema simplificado**

Máxima potencia de régimen permanente de la carga (PRP) - PTAP SULLANA – S. Simplificado						
Planta PTAP: Sistema de pretratamiento, tratamiento, desinfección, laboratorio, oficina administrativas y estación de emergencia						
Item	Equipos	Cant. (unidad)	PRP unitaria (kw)	PRP total (kw)	FD	PRP máxima (kw)
1	Electrobomba Turbina Vertical@RE1 - 500HP	4	302.86	1,211.45	0.75	908.59
2	Electrobomba Turbina Vertical@RE2- 200HP	4	117.80	471.22	0.75	353.41
3	Electrobomba Turbina Vertical@RE6 - 200HP	2	120.71	241.43	0.50	120.71
4	Electrobomba Turbina Vertical@RE4 - 100HP	3	58.38	175.14	0.67	116.76
5	Polipasto Eléctrico de 3 kW+ Trolley de 0,75 kW de 5TN - Cisterna de Bombeo	2	3.75	7.50	1.00	7.50
6	Tableros TPCL-01 y TPCL-02 (Pre y post cloración)	2	4.10	8.20	1.00	8.20
7	Tablero TBAP-abastecimiento de agua potable para PTAP con equipo de bombeo de 25 HP	2	3.00	6.00	0.50	3.00
8	Actuador de Válvula Mariposa-Modulo 1	31	1.00	31.00	0.48	15.00
9	Actuador de Compuerta - Modulo 1	4	1.00	4.00	0.50	2.00
10	Actuador de Válvula Mariposa-Modulo 2	31	1.00	31.00	0.48	15.00
11	Actuador de Compuerta - Modulo 2	4	1.00	4.00	0.50	2.00
12	Actuador de Válvula Mariposa-Modulo 3	31	1.00	31.00	0.48	15.00
13	Actuador de Compuerta - Modulo 3	4	1.00	4.00	0.50	2.00
14	Actuador de Válvula compuerta-Sedimentadores	24	1.00	24.00	0.50	12.00
15	Actuador de Válvula DN 900mm - Sedimentador	2	1.00	2.00	0.50	1.00
16	Prensa Tornillo-Planta de Tratamiento de lodos	2	2.20	4.40	0.50	2.20
17	Bomba para agua de lavado -Planta de Tratamiento de lodos	2	1.00	2.00	0.50	1.00
18	Medidor de caudal para lodos -Planta de Tratamiento de lodos	2	0.01	0.02	1.00	0.02

19	Medidor de caudal para Polímeros - Planta de Tratamiento de lodos	2	0.01	0.02	1.00	0.02
20	Sensor de presión -Planta de Tratamiento de lodos	4	0.001	0.002	1.00	0.002
21	Compresor -Planta de Tratamiento de lodos	2	1.10	2.20	0.50	1.10
22	Bomba de lodos-Planta de Tratamiento de lodos	2	5.60	11.20	0.50	5.60
23	Bomba de tornillo excéntrico -Planta de Tratamiento de lodos	2	0.55	1.10	0.50	0.55
24	Agitador para Solución de Polímero- Planta de Tratamiento de lodos	2	1.10	2.20	1.00	2.20
25	Polipasto 2TN-Planta de Tratamiento de lodos	1	2.80	2.80	1.00	2.80
26	Tablero eléctrico-Planta de Tratamiento de lodos	1	5.00	5.00	1.00	5.00
27	Agitador para Sulfato de aluminio - Sala de dosificación	2	1.10	2.20	1.00	2.20
28	Agitador para Solución de Polímero - Sala de dosificación	2	1.10	2.20	1.00	2.20
29	Agitador para Solución de Sulfato de cobre -Sala de dosificación	2	1.10	2.20	1.00	2.20
30	Bomba dosificadora de sulfato de aluminio-Sala de dosificación	2	1.00	2.00	0.50	1.00
31	Bomba dosificadora de sulfato de Cobre -Sala de dosificación	2	1.00	2.00	0.50	1.00
32	Bomba dosificadora de Polímero-Sala de dosificación	2	1.00	2.00	0.50	1.00
33	Elevador-Sala de dosificación	1	7.46	7.46	1.00	7.46
34	Tablero eléctrico-Sala de dosificación	1	8.00	8.00	1.00	8.00
35	Reservorio Elevado	1	1.00	1.00	1.00	1.00
36	Tablero eléctrico-Reservorio Elevado	1	5.00	5.00	1.00	5.00
37	Bomba dosificadora de sulfato de aluminio- Sala de dosificación y almacén (dosificación de espesamiento de lodos)	2	1.00	2.00	0.50	1.00
38	Tablero eléctrico - Dosificación de espesamiento de lodos	1	5.00	5.00	1.00	5.00
39	Tablero Bomba de lodos TBS-01, para equipos de bombeo de 15 HP c/u	2	3.00	6.00	0.50	3.00
40	Tablero de Bomba de lodos TBS-02, para equipos de bombeo de 7.5 HP c/u.	2	2.00	4.00	0.50	2.00

41	Actuador de Compuerta -Caja de repartición de agua Cruda	3	1.00	3.00	0.33	1.00
42	Actuador de Válvula Compuerta -Caja de repartición de agua Cruda	1	1.00	1.00	1.00	1.00
43	Actuador de compuerta -Cámara de contacto de cloro N°1 y N°2	8	1.00	8.00	0.50	4.00
44	Actuador de Válvula Mariposa - Cámara de contacto de cloro N°1 y N°2	2	1.00	2.00	0.50	1.00
45	Actuador de Válvula Mariposa - Cisterna de Bombeo N°1 y N°2	2	1.00	2.00	0.50	1.00
46	Lavador de gas Cloro	1	0.75	0.75	1.00	0.75
47	Polipasto Eléctrico de 3 kW+ Trolley de 0,4 kW de 2TN -Sala de Cloración	2	3.40	6.80	1.00	6.80
48	Tablero eléctrico-Sala de cloración	1	19.27	19.27	1.00	19.27
49	Bomba de lodos-Cisterna de lodos	2	0.75	1.50	0.50	0.75
50	Medidor de caudal bomba de lodos - Cisterna de lodos	1	0.01	0.01	1.00	0.01
51	Actuador de Válvula compuerta - Planta de Lodos	6	1.00	6.00	0.50	3.00
52	Tablero eléctrico-Planta de lodos	1	10.00	10.00	1.00	10.00
53	Tablero eléctrico-Sala de Laboratorio	1	10.00	10.00	1.00	10.00
54	Tablero eléctrico - Administración y comedor	1	3.00	3.00	1.00	3.00
55	Tablero Aire acondicionado - Administración y comedor	1	5.00	5.00	1.00	5.00
56	Tablero eléctrico- Taller de Maestranza y almacén	1	5.00	5.00	1.00	5.00
57	Tablero de vigilancia TDCV	4	1.00	4.00	1.00	4.00
58	Tablero eléctrico- Vestuario	1	4.00	4.00	1.00	4.00
59	Alumbrado Exterior	45	0.05	2.25	1.00	2.25
60	Bomba sistema contraincendios	1	50.00	50.00	1.00	50.00
61	Equipo SCRUBBER	1	15.00	15.00	1.00	15.00
62	Tablero UPS -SCADA	1	10.00	10.00	0.80	8.00
MAXIMA PRP DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PROYECTADA (PTAP)						1,799.55
SUB TOTAL						1,799.55

Cuadro de cargas de estación de bombeo para emergencia						
Item	Equipos	Cant. (unid)	Potencia unitaria (kw)	Potencia instalada (kw)	FD	Máxima demanda (kw)
1	Tablero TD Estación de Emergencia	1	2.00	2.00	1.00	2.00
2	Electrobomba horizontal de 200 hp Estación de Emergencia	1	121.61	121.61	1.00	121.61
3	Electrobomba horizontal de 100 hp Estación de Emergencia	3	64.57	193.71	1.00	193.71
Máxima PRP estación de emergencia						317.31
Subtotal						317.31
Máxima PRP (planta PTAP + estación de emergencia) (kW)						2,116.87

**Apéndice C Cálculo de máxima demanda – Cuadro de cargas de PTAP Sullana – sistema completo**

Cálculo de máxima demanda – Cuadro de cargas de PTAP Sullana – sistema completo						
Planta PTAP: Sistema de pretratamiento, tratamiento, desinfección, laboratorio, oficina administrativas y estación de emergencias						
Item	Equipos	Cant. (unid)	Potencia unitaria (kw)	Potencia instalada (kw)	Fd	Máxima demanda (kw)
1	Electrobomba Turbina Vertical@RE1 - 500HP	4	372.80	1,491.20	0.75	1,118.40
2	Electrobomba Turbina Vertical@RE2- 200HP	4	149.20	596.80	0.75	447.60
3	Electrobomba Turbina Vertical@RE6 - 200HP	2	149.20	298.40	0.50	149.20
4	Electrobomba Turbina Vertical@RE4 - 100HP	3	74.60	223.80	0.67	149.20
5	TF por VFD Siemens 6SL3220-3YE60-0CF0@RE1 - 500 HP	4	8.83	35.32	0.75	26.49
6	TF por VFD Siemens 6SL3220-3YE48-0UF0@RE2 - 200 HP	4	3.16	12.64	0.75	9.48
7	TF por VFD Siemens 6SL3220-3YE48-0UF0@RE6 - 200 HP	2	3.16	6.32	0.50	3.16
8	TF por VFD Siemens 6SL3220-3YE48-0UF0@EBE - 200 HP	1	3.16	3.16	1.00	3.16
9	TF por VFD Siemens 6SL3220-3YE42-0UF0@RE4 - 100 HP	3	2.00	6.00	0.67	4.02
10	TF por VFD Siemens 6SL3220-3YE42-0UF0@EBE - 100 HP	3	2.00	6.00	1.00	6.00
11	FAP TCI HarmonicGuard® Passive@RE1 - 500 HP	4	3.73	14.92	0.75	11.19
12	FAP TCI HarmonicGuard® Passive@RE2 - 200 HP	4	1.49	5.96	0.75	4.47
13	FAP TCI HarmonicGuard® Passive@RE6 - 200 HP	2	1.49	2.98	0.50	1.49
14	FAP TCI HarmonicGuard® Passive@RE4 - 100 HP	3	0.74	2.22	0.67	1.49
15	FAP TCI HarmonicGuard® Passive@EBE - 100 HP	3	0.74	2.22	1.00	2.22
16	Polipasto Eléctrico de 3 kW+ Trolley de 0,75 kW de 5TN - Cisterna de Bombeo	2	3.75	7.50	1.00	7.50
17	Tableros TPCL-01 y TPCL-02 (Pre y post cloración)	2	4.10	8.20	1.00	8.20

18	Tablero TBAP-abastecimiento de agua potable para PTAP con equipo de bombeo de 25 HP	2	3.00	6.00	0.50	3.00
19	Actuador de Válvula Mariposa-Modulo 1	31	1.00	31.00	0.48	15.00
20	Actuador de Compuerta - Modulo 1	4	1.00	4.00	0.50	2.00
21	Actuador de Válvula Mariposa-Modulo 2	31	1.00	31.00	0.48	15.00
22	Actuador de Compuerta - Modulo 2	4	1.00	4.00	0.50	2.00
23	Actuador de Válvula Mariposa-Modulo 3	31	1.00	31.00	0.48	15.00
24	Actuador de Compuerta - Modulo 3	4	1.00	4.00	0.50	2.00
25	Actuador de Válvula compuerta-Sedimentadores	24	1.00	24.00	0.50	12.00
26	Actuador de Válvula DN 900mm - Sedimentador	2	1.00	2.00	0.50	1.00
27	Prensa Tornillo-Planta de Tratamiento de lodos	2	2.20	4.40	0.50	2.20
28	Bomba para agua de lavado -Planta de Tratamiento de lodos	2	1.00	2.00	0.50	1.00
29	Medidor de caudal para lodos -Planta de Tratamiento de lodos	2	0.01	0.02	1.00	0.02
30	Medidor de caudal para Polímeros -Planta de Tratamiento de lodos	2	0.01	0.02	1.00	0.02
31	Sensor de presión -Planta de Tratamiento de lodos	4	0.001	0.002	1.00	0.002
32	Compresor -Planta de Tratamiento de lodos	2	1.10	2.20	0.50	1.10
33	Bomba de lodos-Planta de Tratamiento de lodos	2	5.60	11.20	0.50	5.60
34	Bomba de tornillo excéntrico -Planta de Tratamiento de lodos	2	0.55	1.10	0.50	0.55
35	Agitador para Solución de Polímero-Planta de Tratamiento de lodos	2	1.10	2.20	1.00	2.20
36	Polipasto 2TN-Planta de Tratamiento de lodos	1	2.80	2.80	1.00	2.80
37	Tablero eléctrico-Planta de Tratamiento de lodos	1	5.00	5.00	1.00	5.00
38	Agitador para Sulfato de aluminio -Sala de dosificación	2	1.10	2.20	1.00	2.20
39	Agitador para Solución de Polímero -Sala de dosificación	2	1.10	2.20	1.00	2.20
40	Agitador para Solución de Sulfato de cobre -Sala de dosificación	2	1.10	2.20	1.00	2.20

41	Bomba dosificadora de sulfato de aluminio-Sala de dosificación	2	1.00	2.00	0.50	1.00
42	Bomba dosificadora de sulfato de Cobre -Sala de dosificación	2	1.00	2.00	0.50	1.00
43	Bomba dosificadora de Polímero-Sala de dosificación	2	1.00	2.00	0.50	1.00
44	Elevador-Sala de dosificación	1	7.46	7.46	1.00	7.46
45	Tablero eléctrico-Sala de dosificación	1	8.00	8.00	1.00	8.00
46	Reservorio Elevado	1	1.00	1.00	1.00	1.00
47	Tablero eléctrico-Reservorio Elevado	1	5.00	5.00	1.00	5.00
48	Bomba dosificadora de sulfato de aluminio- Sala de dosificación y almacén (dosificación de espesamiento de lodos)	2	1.00	2.00	0.50	1.00
49	Tablero eléctrico - Dosificación de espesamiento de lodos	1	5.00	5.00	1.00	5.00
50	Tablero Bomba de lodos TBS-01, para equipos de bombeo de 15 HP c/u	2	3.00	6.00	0.50	3.00
51	Tablero de Bomba de lodos TBS-02, para equipos de bombeo de 7.5 HP c/u.	2	2.00	4.00	0.50	2.00
52	Actuador de Compuerta -Caja de repartición de agua Cruda	3	1.00	3.00	0.33	1.00
53	Actuador de Válvula Compuerta -Caja de repartición de agua Cruda	1	1.00	1.00	1.00	1.00
54	Actuador de compuerta -Cámara de contacto de cloro N°1 y N°2	8	1.00	8.00	0.50	4.00
55	Actuador de Válvula Mariposa - Cámara de contacto de cloro N°1 y N°2	2	1.00	2.00	0.50	1.00
56	Actuador de Válvula Mariposa - Cisterna de Bombeo N°1 y N°2	2	1.00	2.00	0.50	1.00
57	Lavador de gas Cloro	1	0.75	0.75	1.00	0.75
58	Polipasto Eléctrico de 3 kW+ Trolley de 0,4 kW de 2TN -Sala de Cloración	2	3.40	6.80	1.00	6.80
59	Tablero eléctrico-Sala de cloración	1	19.27	19.27	1.00	19.27
60	Bomba de lodos-Cisterna de lodos	2	0.75	1.50	0.50	0.75
61	Medidor de caudal bomba de lodos - Cisterna de lodos	1	0.01	0.01	1.00	0.01
62	Actuador de Válvula compuerta - Planta de Lodos	6	1.00	6.00	0.50	3.00
63	Tablero eléctrico-Planta de lodos	1	10.00	10.00	1.00	10.00
64	Tablero eléctrico-Sala de Laboratorio	1	10.00	10.00	1.00	10.00

65	Tablero eléctrico - Administración y comedor	1	3.00	3.00	1.00	3.00
66	Tablero Aire acondicionado - Administración y comedor	1	5.00	5.00	1.00	5.00
67	Tablero eléctrico- Taller de Maestranza y almacén	1	5.00	5.00	1.00	5.00
68	Tablero de vigilancia TDCV	4	1.00	4.00	1.00	4.00
69	Tablero eléctrico- Vestuario	1	4.00	4.00	1.00	4.00
70	Alumbrado Exterior	45	0.05	2.25	1.00	2.25
71	Bomba sistema contraincendios	1	50.00	50.00	1.00	50.00
72	Equipo SCRUBBER	1	15.00	15.00	1.00	15.00
73	Tablero UPS -SCADA	1	10.00	10.00	0.80	8.00
Máxima demanda de planta de tratamiento de agua potable proyectada (PTAP)						2,237.64
Subtotal						2,237.64

Cuadro de cargas de estación de bombeo para emergencia					
Equipos	Cant. (unid)	Potencia unitaria (kw)	Potencia instalada (kw)	FD	Máxima demanda (kw)
Tablero TD Estación de Emergencia	1	2.00	2.00	1.00	2.00
Electrobomba horizontal de 200 HP Estación de Emergencia	1	149.12	149.12	1.00	149.12
Electrobomba horizontal de 100 HP Estación de Emergencia	3	74.56	223.68	1.00	223.68
Máxima demanda estación de emergencia					374.80
Subtotal					374.80
Máxima demanda total a solicitar a ENOSA (Planta PTAP + estación de emergencia) (kW)					2,612.44

**Apéndice D Máxima potencia de régimen permanente de la carga (PRP) PTAP Sullana – sistema completo**

Máxima potencia de régimen permanente de la carga (PRP) PTAP Sullana – sistema completo						
Planta PTAP: Sistema de pretratamiento, tratamiento, desinfección, laboratorio, oficina administrativa y estación de emergencia						
Item	Equipos	Cant. (unid)	PRP unitaria (kw)	PRP total (kw)	Fd	PRP máxima (kw)
1	Electrobomba Turbina Vertical@RE1 - 500HP	4	302.86	1,211.45	0.75	908.59
2	Electrobomba Turbina Vertical@RE2- 200HP	4	117.80	471.22	0.75	353.41
3	Electrobomba Turbina Vertical@RE6 - 200HP	2	120.71	241.43	0.50	120.71
4	Electrobomba Turbina Vertical@RE4 - 100HP	3	58.38	175.14	0.67	116.76
5	TF por VFD Siemens 6SL3220-3YE60-0CF0@RE1 - 500 HP	4	8.83	35.32	0.75	26.49
6	TF por VFD Siemens 6SL3220-3YE48-0UF0@RE2 - 200 HP	4	3.16	12.64	0.75	9.48
7	TF por VFD Siemens 6SL3220-3YE48-0UF0@RE6 - 200 HP	2	3.16	6.32	0.50	3.16
8	TF por VFD Siemens 6SL3220-3YE48-0UF0@EBE - 200 HP	1	3.16	3.16	1.00	3.16
9	TF por VFD Siemens 6SL3220-3YE42-0UF0@RE4 - 100 HP	3	2.00	6.00	0.67	4.02
10	TF por VFD Siemens 6SL3220-3YE42-0UF0@EBE - 100 HP	3	2.00	6.00	1.00	6.00
11	FAP TCI HarmonicGuard® Passive@RE1 - 500 HP	4	3.73	14.92	0.75	11.19
12	FAP TCI HarmonicGuard® Passive@RE2 - 200 HP	4	1.49	5.96	0.75	4.47
13	FAP TCI HarmonicGuard® Passive@RE6 - 200 HP	2	1.49	2.98	0.50	1.49
14	FAP TCI HarmonicGuard® Passive@RE4 - 100 HP	3	0.74	2.22	0.67	1.49
15	FAP TCI HarmonicGuard® Passive@EBE - 100 HP	3	0.74	2.22	1.00	2.22
16	Polipasto Eléctrico de 3 kW+ Trolley de 0,75 kW de 5TN - Cisterna de Bombeo	2	3.75	7.50	1.00	7.50
17	Tableros TPCL-01 y TPCL-02 (Pre y post cloración)	2	4.10	8.20	1.00	8.20

18	Tablero TBAP-abastecimiento de agua potable para PTAP con equipo de bombeo de 25 HP	2	3.00	6.00	0.50	3.00
19	Actuador de Válvula Mariposa-Modulo 1	31	1.00	31.00	0.48	15.00
20	Actuador de Compuerta - Modulo 1	4	1.00	4.00	0.50	2.00
21	Actuador de Válvula Mariposa-Modulo 2	31	1.00	31.00	0.48	15.00
22	Actuador de Compuerta - Modulo 2	4	1.00	4.00	0.50	2.00
23	Actuador de Válvula Mariposa-Modulo 3	31	1.00	31.00	0.48	15.00
24	Actuador de Compuerta - Modulo 3	4	1.00	4.00	0.50	2.00
25	Actuador de Válvula compuerta-Sedimentadores	24	1.00	24.00	0.50	12.00
26	Actuador de Válvula DN 900mm - Sedimentador	2	1.00	2.00	0.50	1.00
27	Prensa Tornillo-Planta de Tratamiento de lodos	2	2.20	4.40	0.50	2.20
28	Bomba para agua de lavado -Planta de Tratamiento de lodos	2	1.00	2.00	0.50	1.00
29	Medidor de caudal para lodos - Planta de Tratamiento de lodos	2	0.01	0.02	1.00	0.02
30	Medidor de caudal para Polímeros - Planta de Tratamiento de lodos	2	0.01	0.02	1.00	0.02
31	Sensor de presión -Planta de Tratamiento de lodos	4	0.001	0.002	1.00	0.002
32	Compresor -Planta de Tratamiento de lodos	2	1.10	2.20	0.50	1.10
33	Bomba de lodos-Planta de Tratamiento de lodos	2	5.60	11.20	0.50	5.60
34	Bomba de tornillo excéntrico - Planta de Tratamiento de lodos	2	0.55	1.10	0.50	0.55
35	Agitador para Solución de Polímero-Planta de Tratamiento de lodos	2	1.10	2.20	1.00	2.20
36	Polipasto 2TN-Planta de Tratamiento de lodos	1	2.80	2.80	1.00	2.80
37	Tablero eléctrico-Planta de Tratamiento de lodos	1	5.00	5.00	1.00	5.00
38	Agitador para Sulfato de aluminio - Sala de dosificación	2	1.10	2.20	1.00	2.20
39	Agitador para Solución de Polímero -Sala de dosificación	2	1.10	2.20	1.00	2.20
40	Agitador para Solución de Sulfato de cobre -Sala de dosificación	2	1.10	2.20	1.00	2.20

41	Bomba dosificadora de sulfato de aluminio-Sala de dosificación	2	1.00	2.00	0.50	1.00
42	Bomba dosificadora de sulfato de Cobre -Sala de dosificación	2	1.00	2.00	0.50	1.00
43	Bomba dosificadora de Polímero-Sala de dosificación	2	1.00	2.00	0.50	1.00
44	Elevador-Sala de dosificación	1	7.46	7.46	1.00	7.46
45	Tablero eléctrico-Sala de dosificación	1	8.00	8.00	1.00	8.00
46	Reservorio Elevado	1	1.00	1.00	1.00	1.00
47	Tablero eléctrico-Reservorio Elevado	1	5.00	5.00	1.00	5.00
48	Bomba dosificadora de sulfato de aluminio- Sala de dosificación y almacén (dosificación de espesamiento de lodos)	2	1.00	2.00	0.50	1.00
49	Tablero eléctrico - Dosificación de espesamiento de lodos	1	5.00	5.00	1.00	5.00
50	Tablero Bomba de lodos TBS-01, para equipos de bombeo de 15 HP c/u	2	3.00	6.00	0.50	3.00
51	Tablero de Bomba de lodos TBS-02, para equipos de bombeo de 7.5 HP c/u.	2	2.00	4.00	0.50	2.00
52	Actuador de Compuerta -Caja de repartición de agua Cruda	3	1.00	3.00	0.33	1.00
53	Actuador de Válvula Compuerta -Caja de repartición de agua Cruda	1	1.00	1.00	1.00	1.00
54	Actuador de compuerta -Cámara de contacto de cloro N°1 y N°2	8	1.00	8.00	0.50	4.00
55	Actuador de Válvula Mariposa - Cámara de contacto de cloro N°1 y N°2	2	1.00	2.00	0.50	1.00
56	Actuador de Válvula Mariposa - Cisterna de Bombeo N°1 y N°2	2	1.00	2.00	0.50	1.00
57	Lavador de gas Cloro	1	0.75	0.75	1.00	0.75
58	Polipasto Eléctrico de 3 kW+ Trolley de 0,4 kW de 2TN -Sala de Cloración	2	3.40	6.80	1.00	6.80
59	Tablero eléctrico-Sala de cloración	1	19.27	19.27	1.00	19.27
60	Bomba de lodos-Cisterna de lodos	2	0.75	1.50	0.50	0.75
61	Medidor de caudal bomba de lodos -Cisterna de lodos	1	0.01	0.01	1.00	0.01
62	Actuador de Válvula compuerta - Planta de Lodos	6	1.00	6.00	0.50	3.00

63	Tablero eléctrico-Planta de lodos	1	10.00	10.00	1.00	10.00
64	Tablero eléctrico-Sala de Laboratorio	1	10.00	10.00	1.00	10.00
65	Tablero electrico-Administracion y comedor	1	3.00	3.00	1.00	3.00
66	Tablero Aire acondicionado - Administración y comedor	1	5.00	5.00	1.00	5.00
67	Tablero eléctrico- Taller de Maestranza y almacén	1	5.00	5.00	1.00	5.00
68	Tablero de vigilancia TDCV	4	1.00	4.00	1.00	4.00
69	Tablero eléctrico- Vestuario	1	4.00	4.00	1.00	4.00
70	Alumbrado Exterior	45	0.05	2.25	1.00	2.25
71	Bomba sistema contra incendios	1	50.00	50.00	1.00	50.00
72	Equipo SCRUBBER	1	15.00	15.00	1.00	15.00
73	Tablero UPS -SCADA	1	10.00	10.00	0.80	8.00
Máxima PRP de planta de tratamiento de agua potable proyectada (PTAP)						1,872.72
Subtotal						1,872.72

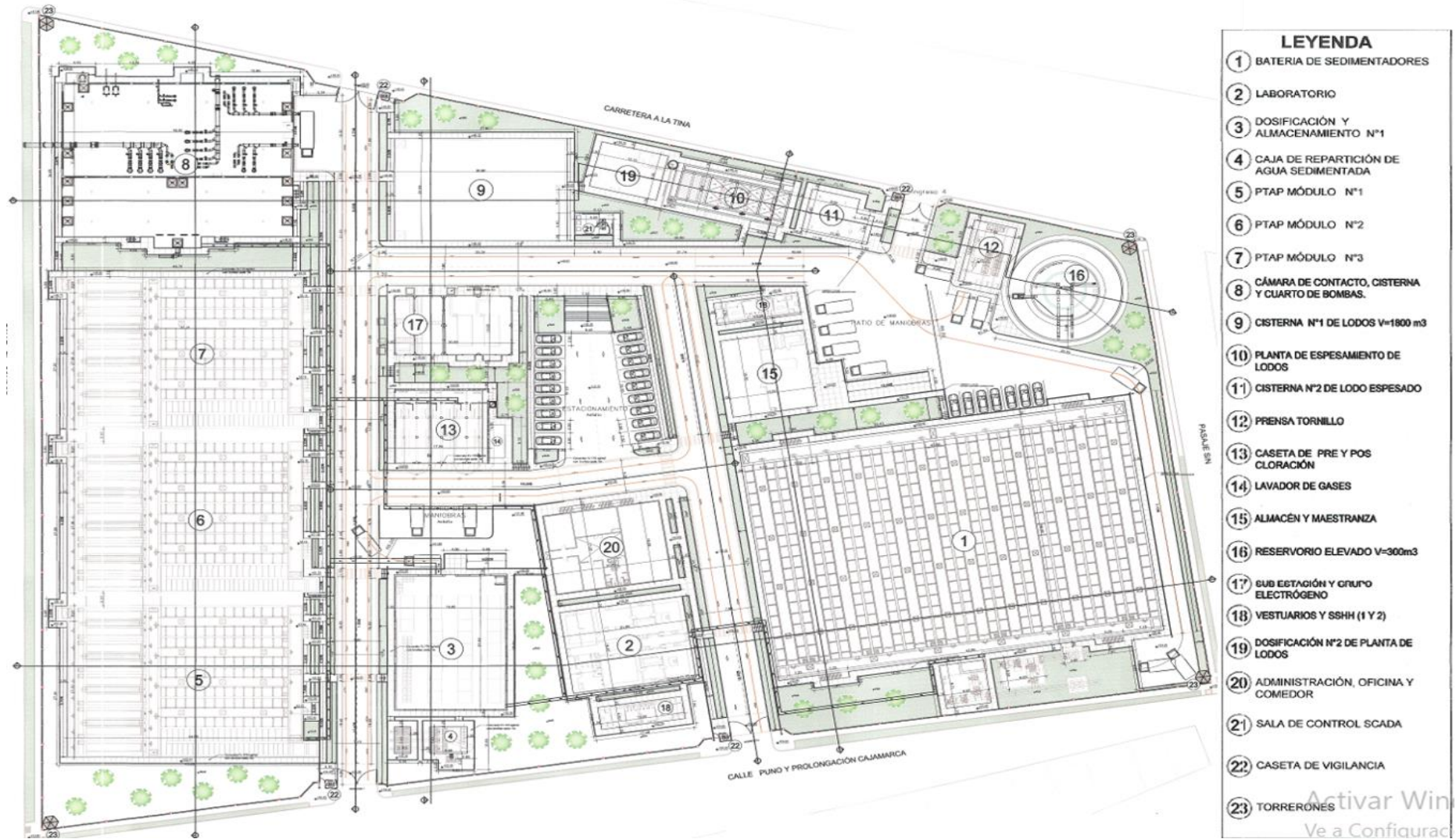
Cuadro de cargas de estación de bombeo para emergencia						
Item	Equipos	Cant. (unid)	Potencia unitaria (kw)	Potencia instalada (kw)	FD	Máxima demanda (kw)
1	Tablero TD Estación de Emergencia	1	2.00	2.00	1.00	2.00
2	Electrobomba horizontal de 200 hp Estación de Emergencia	1	121.61	121.61	1.00	121.61
3	Electrobomba horizontal de 100 hp Estación de Emergencia	3	64.57	193.71	1.00	193.71
Máxima PRP estación de emergencia						317.31
Subtotal						317.31
Máxima PRP (PLANTA PTAP + estación de emergencia) (kw)						2,190.03

## Apéndice E Equipos

Ítem	Descripción	Cantidad	Pi unitaria (kw)	Pi total (kw)	PR unitaria (kw)	PR total (kw)	Factor de demanda	PRP máxima (kw)	
	Equipos							440V	220V
1	BOMBA: P. absorbida (PRP) = 177.80 HP MOTOR: 200 HP (200 HP X 0.746 KW/HP) =149.20 kW	1	149.20	149.20	132.64	132.64	1.00	132.64	
2	Tablero General 440 V	1	2.00	2.00	2.00	2.00	0.80	1.60	
3	Tablero de Fuerza 440 V, comando de variador de frecuencia 200 hp 440 V	1	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	2.00	
4	Tablero con filtro de armónicos pasivo marca TCI modelo HGPO200AW900000 de 200 HP, con contactor de aislamiento y módulo	1	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	2.00	
5	TRANSFORMADOR TRIFASICO EN SECO IMPREGNADO EN BARNIZ DIELECTRICO 15KVA 440/220VAC	1	2.00	2.00	2.00	2.00	0.80	1.60	
6	Tablero General 220 V	1	1.50	1.50	1.50	1.50	0.80		1.20
7	Tablero de control	1	1.50	1.50	1.50	1.50	0.80		1.20
8	Tablero de distribución, circuitos de iluminación y tomacorrientes - tensión 220 voltios TDB-01	1	1.50	1.50	1.50	1.50	0.80		1.20
9	Tablero de distribución, circuitos de iluminación y tomacorrientes - tensión 220 voltios TDB-02	1	1.50	1.50	1.50	1.50	0.80		1.20
10	Tablero de distribución, circuitos de iluminación y tomacorrientes - tensión 220 voltios TDB-03	1	1.50	1.50	1.50	1.50	0.80		1.20



## Apéndice F Zonas PTAP Sullana



## Apéndice G Generator Set Rating Example

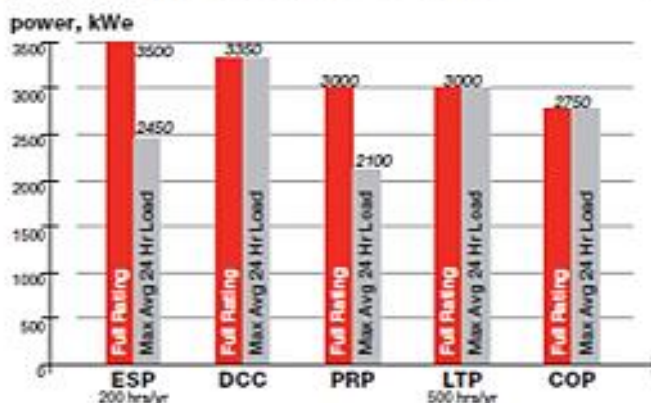
### Generator Set Rating Example

Figure 5 shows the multiple ratings offered on a Cummins diesel generator set model C3500 D6E. All the rating shown are based on a lagging power factor of 0.8 per the ISO standard. This generator set model is built with a diesel engine with a total displacement of 95 liters. This example is shown to illustrate the fact that the same generator set model may be offered with multiple ratings. Or, conversely stated, generator sets with different ratings don't necessarily mean different machines.

Note that there is an inverse relationship between the generator set rating and allowable generator set runtime. The higher the rating, the lower the number of hours the generator set is allowed to run in a year. This is due to an inverse relationship between engine life and the engine load. Simply stated, the harder you run the engine, the shorter the engine life (mean time between overhaul – MTBO) is going to be. Therefore, a higher average engine load resulting from a higher rated generator rating is compensated by limiting the number of hours the generator set can run over a given year.

Out of the five ratings shown in the graph, all except the DCC (Data Center Continuous) are based on the standard ISO 8258 generator set ratings definition.

**FIGURE 5: GENSET NAMEPLATE RATING**



Cummins generator set model C3500D6E – 95L diesel engine platform